**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA**

CAROLINA QUEIROZ PEREIRA BORGES

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE CASO
DO AQUARTELAMENTO DA COMISSÃO REGIONAL DE OBRAS DO
ESTADO DE SÃO PAULO**

SÃO PAULO

2020

CAROLINA QUEIROZ PEREIRA BORGES

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE CASO DO
AQUARTELAMENTO DA COMISSÃO REGIONAL DE OBRAS DO ESTADO DE
SÃO PAULO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Profª Drª Virginia Parente

Versão Corrigida
(Versão original disponível na Biblioteca do Instituto de Energia e Ambiente e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP)

SÃO PAULO

2020

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Queiroz, Carolina Pereira Borges.

Eficiência energética em edificações: estudo de caso do aquartelamento da Comissão Regional de Obras do Estado de São Paulo. / Carolina Pereira Borges Queiroz; orientadora: Virginia Parente. – São Paulo, 2020.

117 f.: il; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

1. Eficiência energética. 2. Edifícios públicos. 3. Edifícios militares. Título.

Elaborado por Maria Penha da Silva Oliveira CRB-8/6961

Nome: QUEIROZ, Carolina Pereira Borges.

Título: Eficiência Energética em edificações: estudo de caso do Aquartelamento da Comissão Regional de Obras do estado de São Paulo.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovada em: 29/out./2020.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Luciano José da Silva

Instituição: Universidade Federal de Viçosa

Julgamento: Aprovada

Dr. Rinaldo Caldeira

Instituição: Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo

Julgamento: Aprovada

Profª Drª Maria Inês Tavares Matos Teodoro

Instituição: Universidade Federal do Mato Grosso do Sul

Julgamento: Aprovada

Profª Drª Virginia Parente
Presidente da Banca

Instituição: Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo

Assinatura:

AGRADECIMENTOS

Cumprir esta árdua missão acadêmica de escrever uma dissertação de mestrado para este renomado Instituto da Universidade de São Paulo, não foi fácil. Somente com o apoio que tive, durante estes últimos anos, pude concluir este trabalho. Dessa maneira, tenho que agradecer primeiro à Deus. Foi Ele que me capacitou desde o início da minha trajetória acadêmica até a conclusão deste trabalho. Agradeço ainda ao meu marido, Lucas Borges, aos meus pais, Rinaldo e Cláudia, e a minha irmã, Karina Pereira, por me incentivarem a não desistir, mesmo com todas as dificuldades enfrentadas e por me assessorarem emocionalmente nesta tarefa. Agradeço ainda à minha orientadora, Profa. Virginia Parente, por me dar a oportunidade de ser sua orientanda e por transmitir sua experiência com ensinamentos que engrandeceram minha dissertação. Além disso, agradeço também a ela por toda a paciência e parceria durante o desenvolvimento deste trabalho. Estendo, por fim, minha gratidão pelo suporte recebido a todos os professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo e aos meus colegas do Aquartelamento do Cambuci pelo crescimento proporcionado em nossos desafios diários.

RESUMO

QUEIROZ, Carolina Pereira Borges. **Eficiência Energética em edificações: estudo de caso do Aquartelamento da Comissão Regional de Obras do estado de São Paulo**. 2020. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 2020.

O setor de edificações foi responsável por uma fatia de cerca de 52% do consumo de energia elétrica no Brasil, no ano de 2019. No caso específico das edificações do poder público brasileiro, dados levantados pela Empresa de Planejamento Energético informam que, naquele mesmo ano, essas edificações responderam por cerca de 3,3% do total de energia elétrica consumida no país, equivalendo aproximadamente 15.800 GWh (EPE, 2020). Em se tratando de construções públicas do Exército Brasileiro, no período de 2016 a 2019, o consumo foi cerca de 1.250 GWh (MP, 2020). Impulsionado pelo crescimento da demanda por energia elétrica, o governo brasileiro tem atuado em diversas linhas de ação, dentre as quais é possível citar a criação de certificações e de programas voltados para Eficiência Energética (EE), especialmente no que se refere ao setor público. Uma dessas ações de maior destaque se concretizou por meio do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, no qual há uma vertente, o Subprograma Edificações (*PROCEL EDIFICA*). Sob este contexto, a presente dissertação foi desenvolvida com o objetivo de investigar – à luz da metodologia do *PROCEL EDIFICA* – o nível de EE de um Aquartelamento do Exército Brasileiro localizado na cidade de São Paulo e, sendo o caso, propor melhorias. Os resultados obtidos por meio da análise empreendida indicam que o nível de EE está aquém do nível ideal estabelecido pelo referido Programa, de modo a haver espaço para propostas de melhoria na eficiência dos *sistemas da envoltória, de condicionamento de ar e de iluminação* analisados. Por se tratar de uma edificação do Exército Brasileiro, os reflexos do estudo tendem a ganhar escala no território nacional. Isso porque as propostas de melhoria de eficiência apresentadas nesta pesquisa podem ser consideradas para aplicação em outras construções existentes no país, seguindo as adequações de acordo com zonas bioclimáticas em que estão inseridas. Em consequência, as edificações do Exército Brasileiro conseguirão atingir um nível mais elevado de eficiência energética, liberando recursos para serem aplicados em suas atividades fins.

Palavras-chave: eficiência energética; edificações públicas; Exército Brasileiro, *PROCEL EDIFICA*.

ABSTRACT

The building sector in Brazil was responsible for a share of 52% of the total power consumption in the country. Considering only the government buildings, data obtained by the *Empresa de Planejamento Energético* pointed out, that in year 2018, those buildings had demanded about of 3.3% of total electrical power consumed in Brazil, which was 15,800 GWh (EPE, 2020). From 2016 up to 2019, the electricity consumed by the Brazilian Army buildings reached of 1,250 GWh (MP, 2020). Brazilian government has been taking several measures, including the creation of an accreditation and saving program oriented towards *energy efficiency* (EE), especially dedicated to the public sector, the so called National Program of Electrical Energy Conservation (a free translation of *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica*). Within this Program, there is a subsection called Edification Subprogram (*PROCEL EDIFICA*). In this context, this dissertation aimed to analyze the EE level of a Brazilian Army premises at the State of São Paulo, employing the *PROCEL EDIFICA* methodology and, if suitable, to propose optimizations. The results from this analysis indicated that the EE level of the Brazilian Army building that was examined was below the optimum level established by the Program, pointing that there was room for improvements in building envelope, air conditioning and lighting systems. As this building belongs to Brazilian Army, the study results can achieve national scale, since the improvements proposed can be considered for other Army buildings, taking into consideration the necessary peculiarities the climate zone where these building were inserted. Due to this, the Brazilian Army buildings can achieve a higher level of energy efficiency, saving resources to be applied in its end activities.

Keywords: energy efficiency; government buildings; Brazilian Army; *PROCEL EDIFICA*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cronologia de políticas públicas de eficiência energética relevantes no Brasil.	26
Figura 2. Pontuações máxima e média mundial e a pontuação brasileira quanto as ações de EE no setor de edificações, indústria e transporte.	28
Figura 3. Economia de energia elétrica decorrente das ações do PROCEL no período de 2014 a 2018 em bilhões de kWh.	29
Figura 4. Eficiência por uso final esperada para 2040 em edificações decorrentes de ações de EE.	31
Figura 5. Zonas Bioclimáticas do Brasil.	33
Figura 6. Partes da edificação que compõe a envoltória.	35
Figura 7. Composição percentual do valor final da tarifa de energia elétrica.	40
Figura 8. Percentual de despesas de custeio administrativo do Comando do Exército Brasileiro 2016-2019.	41
Figura 9. Classificação LEED de acordo com a pontuação	44
Figura 10. Certificado de desempenho energético de Reino Unido.	45
Figura 11. Certificado de desempenho energético de Portugal.	47
Figura 12. Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal.	49
Figura 13. ENCE geral de projeto.	51
Figura 14. ENCE geral da edificação construída.	52
Figura 15. Programa EB Sustentável.	54
Figura 16. Estrutura metodológica do estudo de caso	58
Figura 17. Representação dos Ângulos horizontal (AHS) e vertical (AVS) de sombreamento em aberturas.	69
Figura 18. Aquartelamento da Comissão Regional de Obras do Estado de São Paulo.	77
Figura 19. Pavimento térreo do <i>Aquartelamento do Cambuci</i>	77
Figura 20. Pavimento superior do <i>Aquartelamento do Cambuci</i>	78
Figura 21. Orientação das fachadas do <i>Aquartelamento do Cambuci</i>	79
Figura 22. Fachada Sul do <i>Aquartelamento do Cambuci</i>	81
Figura 23. Fachada Leste do <i>Aquartelamento do Cambuci</i>	81
Figura 24. Fachada Oeste do <i>Aquartelamento do Cambuci</i>	81
Figura 25. Características construtivas das paredes externas do <i>Aquartelamento do Cambuci</i>	82
Figura 26. Características construtivas da cobertura do <i>Aquartelamento do Cambuci</i>	82
Figura 27. Luminária com duas lâmpadas fluorescentes tubulares e com reator.	84
Figura 28. Luminária com duas lâmpadas fluorescentes compactas.	84
Figura 29. Equipamento de ar condicionado, marca <i>Gree</i> Selo PROCEL “A”	86
Figura 30. Consumo de energia elétrica (kWh) médio mensal do Aquartelamento.	88
Figura 31. Custo médio da fatura de energia elétrica (R\$) mensal do Aquartelamento.	88
Figura 32. Proposta de material construtivo para cobertura.	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Consumo de energia elétrica (GWh) por classe de consumo	32
Tabela 2. Tarifas médias por classe de consumo (R\$/MWh)	40
Tabela 3. Equivalente Numérico (<i>EqNum</i>) de cada nível de eficiência	60
Tabela 4. Classificação geral do nível de eficiência	61
Tabela 5. Espessura mínima (cm) de isolamento de tubulações para o aquecimento de água	62
Tabela 6. Limites da relação entre percentual de abertura zenital e fator solar de vidros para coberturas.....	66
Tabela 7. Parâmetros mínimos e máximos para o índice de consumo da envoltória	69
Tabela 8. Limites do índice de consumo da envoltória (<i>ICenv</i>) por níveis de EE.....	70
Tabela 9. Pré-requisitos necessários para cada nível de EE no sistema de iluminação	71
Tabela 10. Limites máximos aceitáveis de densidade de potência de iluminação (DPI) para o nível de eficiência pretendido – Método da área do edifício, de acordo com o RTQ-C	72
Tabela 11. Levantamentos das áreas do Aquartelamento	78
Tabela 12. Cálculo do volume total do <i>Aquartelamento do Cambuci</i>	78
Tabela 13. Levantamento das áreas das aberturas existentes nas fachadas	80
Tabela 14. Levantamento das áreas das fachadas e o percentual de aberturas existentes	80
Tabela 15. Características construtivas da envoltória do <i>Aquartelamento do Cambuci</i>	83
Tabela 16. Ambientes iluminados e a potência elétrica instalada (W) por ambiente	85
Tabela 17. Características dos aparelhos de condicionamento de ar <i>split</i> existentes no <i>Aquartelamento do Cambuci</i>	86
Tabela 18. Ambientes internos do <i>Aquartelamento do Cambuci</i> condicionados e de permanência transitória	87
Tabela 19. Potência elétrica (W) total instalada no sistema energético de iluminação do Aquartelamento	89
Tabela 20. Consumo de energia elétrica (kWh) mensal do sistema energético de iluminação do Aquartelamento	90
Tabela 21. Parâmetros utilizados para o cálculo do <i>ICenv</i> do Aquartelamento	91
Tabela 22. Percentual de Abertura das Fachadas do Aquartelamento	91
Tabela 23. Ângulo vertical e Ângulo horizontal de sombreamento do Aquartelamento.....	92
Tabela 24. Limites dos intervalos dos níveis de EE do Aquartelamento	92
Tabela 25. Verificação dos pré-requisitos específicos do sistema da envoltória do <i>Aquartelamento do Cambuci</i>	93
Tabela 26. Densidade de potência elétrica de iluminação limite para escritório por nível de EE.....	94
Tabela 27. Potência elétrica de iluminação limite para o Aquartelamento por nível de EE.....	94
Tabela 28. Verificação dos pré-requisitos do sistema de iluminação do <i>Aquartelamento do Cambuci</i>	95
Tabela 29. Ponderação do <i>EqNum</i> para cada equipamento de ar existente no <i>Aquartelamento do Cambuci</i>	96
Tabela 30. Classificação geral do nível de EE do <i>Aquartelamento do Cambuci</i>	97
Tabela 31. Análise dos pré-requisitos gerais previstos no RTQ-C para o <i>Aquartelamento do Cambuci</i>	98
Tabela 32. Índice de consumo da envoltória do Aquartelamento por zona bioclimática	101
Tabela 33. Limites de eficiência dos índices de consumo da envoltória por zona bioclimática.....	101
Tabela 34. Proposta de melhoria do sistema de condicionamento de ar no Aquartelamento	102
Tabela 35. Ponderação do <i>EqNum</i> de cada equipamento de ar com a substituição proposta para o <i>Aquartelamento do Cambuci</i>	102
Tabela 36. Proposta de melhoria para o sistema de iluminação do Aquartelamento	104
Tabela 37. Potência elétrica (w) total proposta para o sistema energético de iluminação do Aquartelamento	104
Tabela 38. Consumo de energia elétrica (kWh) mensal da proposta para o sistema energético de iluminação do Aquartelamento.....	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Área útil dos ambientes condicionados;
Aenv	Área da envoltória;
AHS	Ângulo horizontal de sombreamento;
ANC	Área Não Condicionada
ANEEL	Agência Nacional Energia Elétrica
APT	Área de permanência transitória;
Apcob	Área de projeção da cobertura;
Ape	Área de projeção do edifício;
AQUA	Alta Qualidade Ambiental;
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers;</i>
AU	Área útil;
AVS	Ângulo vertical de sombreamento;
B	Bonificações
BEN	Balanco Energético Nacional;
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method;</i>
CA	Condicionamento de Ar;
CNMAD	Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento;
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural;
DPI	Densidade de Potência de Iluminação;
EB	Exército Brasileiro;
EE	Eficiência Energética;
EPE	Empresa de Pesquisa Energética;
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia;
EqNum	Equivalente numérico;
EqNumCA	Equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;
EqNumDPI	Equivalente numérico do sistema de iluminação;
EqNumEnv	Equivalente numérico da envoltória;
EqNumV	Equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente;
FA	Fator Altura;
FF	Fator Forma;
FS	Fator Solar;
ICenv	Indicador de consumo da envoltória;
INMETRO:	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia;
kWh	Quilowatt-hora;
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design;</i>
LED	<i>Light Emitting Diode;</i>
MPOG	Ministério de Planejamento, Desenvolvimento e Gestão;
Mt	Milhões de toneladas;
OM	Organização Militar;
ONU	Organização das Nações Unidas;
PAF	Percentual de Abertura de fachada;
PAFo	Percentual de Abertura de fachada oeste;
PAFt	Percentual de Abertura de fachada total;
PAZ	Percentual de Abertura Zenital;
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem;
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética;
PROCEL EDIFICA	Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações;

PROCEL	Programa Nacional de Eficiência Energética;
PT	Pontuação Total;
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Público;
Ucob	Transmitância térmica da cobertura;
Upar	Transmitância térmica das paredes;
Vtot	Volume total da edificação;
ZB	Zona-bioclimática.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contexto e relevância do tema	13
1.2	Questão central e hipótese	16
1.3	Objetivos principal e secundários.....	17
1.4	Abordagem metodológica e estrutura do trabalho	17
2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	20
2.1	Panorama das políticas de eficiência energética	20
2.2	Resultados da implementação de medidas de eficiência energética	26
2.3	Consumo de energia elétrica em edificações	31
2.4	Certificações ambientais e programas de eficiência energética em edificações	42
3	ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DO <i>AQUARTELAMENTO DO CAMBUCI À</i>	
	LUZ DA LITERATURA	56
3.1	Estrutura metodológica da análise.....	56
3.2	Referencial metodológico do <i>PROCEL EDIFICA</i>	59
3.3	Características da edificação analisada	76
3.4	Análise do nível de EE do Aquartelamento do Aquartelamento.....	90
3.5	Propostas de melhorias	99
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	106
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113

1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação versa acerca do tema eficiência energética em edificações, bem como sobre certificações ambientais sustentáveis e programas de eficiência existentes no setor de edificações. O tema escolhido decorre do fato de o consumo de energia elétrica nesse segmento ter crescido nos últimos anos, juntamente com o célere desenvolvimento tecnológico de materiais construtivos e de equipamentos que, por conseguinte, podem permitir um uso mais eficiente da energia.

Neste contexto, a presente pesquisa busca realizar um estudo de caso em uma edificação da Administração Pública Federal do Exército Brasileiro, especificamente, uma Organização Militar (OM), a fim de verificar o seu nível de Eficiência Energética (EE). A edificação escolhida é o *Aquartelamento da Comissão Regional de Obras do Estado de São Paulo*, o qual será chamado, para efeito deste trabalho, de *Aquartelamento do Cambuci*, por se situar no bairro de mesmo nome na capital paulista.

Neste capítulo introdutório apresentam-se, inicialmente, o contexto e a relevância do tema da eficiência energética em que se insere a presente pesquisa. Também são explicitadas a questão central a ser respondida pela dissertação, bem como a hipótese investigada ao longo do trabalho. Ademais, são detalhados os objetivos do estudo. Por fim, o presente capítulo se encerra com uma descrição introdutória acerca da abordagem metodológica e da estrutura capitular que ordena o restante do texto.

1.1 Contexto e relevância do tema

O crescimento acentuado do consumo de energia – seja em virtude do aquecimento econômico da sociedade, seja em decorrência da melhoria da qualidade de vida da população – trouxe também a preocupação com o uso eficiente da eletricidade. Isto porque, associado a esse crescimento, há a possibilidade de esgotamento de recursos vinculados à produção de energia, os impactos ao meio ambiente provenientes dessa atividade de produção, bem como o aumento dos gastos com tarifas de energia elétrica. No tocante aos impactos, tem-se a mudança climática decorrente da emissão de gases do efeito estufa oriundos do uso de combustíveis fósseis para a geração de energia (TEODORO, 2017).

O setor de edificações, frente a essa conjuntura de aumento do consumo de energia elétrica, teve destaque com grandes consumidores, tais como as edificações comerciais, residenciais e públicas. No ano de 2018, a participação desse setor no consumo mundial de energia elétrica foi de aproximadamente 40% do total (IEA, 2019). No cenário nacional, em relação ao mesmo ano, o consumo de eletricidade pelas edificações foi de 50,5% do total (EPE, 2019). Esses fatos supramencionados direcionam o presente estudo a verificar o modo como medidas de eficiência energética podem atuar efetivamente neste setor.

Sob este contexto, surge a necessidade do uso eficiente da energia elétrica, de maneira que a expansão do consumo possa ser contida sem que haja o comprometimento da qualidade de vida e do desenvolvimento econômico da sociedade. Em virtude disso, foram criadas pelo governo de cada país linhas de ações – tais como leis, normativas e programas de incentivos –, a fim de que este objetivo pudesse ser atingido.

No âmbito nacional, as políticas públicas e os programas de EE têm atuado desde a década de 80 com a finalidade de reduzir e de tornar mais eficiente o consumo de eletricidade. Um desses programas, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) foi criado com a responsabilidade de desenvolver ações que visassem à eficiência energética nos mais diversos setores do país. No ano de 2018, os ganhos energéticos decorrentes das ações desse programa foram de aproximadamente 22,99 bilhões de kWh (PROCEL, 2019).

Um subgrupo desse programa – o *PROCEL EDIFICA* – foi criado com o intuito racionalizar o consumo de energia das construções. Esse subgrupo teve por meta implementar o conceito de eficiência energética nas edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas existentes em todo território nacional. Por meio desse programa, os edifícios comerciais, de serviços e públicos passaram a ser certificados com um selo de etiquetagem que informa o nível de EE que possuem; esse selo é emitido pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) em conjunto com o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).

O PROCEL, em parceria com administradores públicos de todas as esferas governamentais, tem incentivado não somente o uso de equipamentos mais eficientes, mas também o desenvolvimento de projetos e de ações práticas de uso de energia, visando combater o desperdício e, por conseguinte, elevar a EE nas construções públicas.

No tocante às edificações públicas do Exército Brasileiro (EB), desde 2001, tem-se enfatizado a importância desse assunto. Um exemplo disso foi a aprovação da Norma para Sistematização dos Procedimentos de Conservação de Energia na Força Terrestre, com base na Portaria nº 501 do Gabinete do Comandante do Exército à época. Tal portaria teve como finalidade estruturar e regular as atividades de uma Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE), no âmbito da força terrestre nacional, definindo tanto a sistemática de organização como procedimentos, no intuito principal de racionalizar o consumo de energia elétrica das organizações militares (EXÉRCITO BRASILEIRO, 2001).

Anos após a instituição dessa portaria, com o surgimento do programa *PROCEL EDIFICA*, o EB realizou, no ano de 2013, em Brasília, no Distrito Federal, um treinamento técnico com militares para a formação de consultores para etiquetagem desse programa, a fim de, iniciar, desta forma, o processo de implementação de soluções que buscassem alcançar o nível máximo de EE nas novas construções (EXÉRCITO BRASILEIRO, 2019).

O governo brasileiro, ciente da relevância do tema e da necessidade de adesão ao *PROCEL EDIFICA*, no intuito de incentivar o processo de certificação das edificações, elaborou a Instrução Normativa SLTI nº 2/2014. Tal instrução, determinada pelo Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG), estabeleceu que edifícios da Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional novos ou submetidos a grandes reformas fossem obrigatoriamente certificados quanto aos seus níveis de EE. Além disso, o nível de certificação estabelecido para essas construções era o de maior eficiência, cuja classificação é como nível A.

Em decorrência desse incentivo e da sequência de investimento em capacitação, cujo escopo era a realização de projetos mais eficientes e obras militares mais sustentáveis, no ano de 2019, o Exército lançou o Programa EB Sustentável. Esse programa foi elaborado por intermédio de órgãos internos relacionados ao setor de construção civil do EB, o Departamento de Engenharia de Construção (DEC) e a Diretoria de Obras Militares (DOM). Sob esse programa são realizadas gestões de todos os assuntos que se relacione com o tema.

Dentre alguns assuntos abordados nesse programa, citam-se o consumo de água e de energia, a geração de resíduos, e os materiais sustentáveis que englobam licitações sustentáveis existentes em todas as OM da federação brasileira. Em se tratando do consumo de energia elétrica, a gestão que vem sendo realizada abrange os levantamentos históricos de consumo em

cada OM. A partir da análise desses dados, é possível realizar, junto às concessionárias locais, ajustes nos contratos de fornecimento de energia, além de instruir e capacitar militares com a finalidade de planejar e controlar esse consumo. Deste modo, a partir desse planejamento e controle, podem ser implementadas melhorias nos aquartelamentos, de modo a otimizar o uso de energia elétrica, com a consequente diminuição nos gastos da União.

Tais fatos motivaram a realização do estudo de caso de um edifício da Administração Pública Federal, especificamente, do Exército Brasileiro. A análise da eficiência energética do *Aquartelamento do Cambuci*, localizado no município de São Paulo, traz lições para os demais aquartelamentos do território nacional, de mesma funcionalidade e com elementos construtivos semelhantes. Isto porque, ainda que em uma OM sejam diversas as formas de uso final da energia elétrica atrelada à atividade-fim institucional (logística, saúde, operacional, escolas de formação, normativa, técnica etc.), quando se avalia atividades administrativas, todas apresentam semelhantes consumos de energia elétrica.

Com base no resultado encontrado, é possível verificar se há espaço para otimização no nível de EE classificado para o edifício analisado, bem como no consumo de energia elétrica faturado da construção. O impacto dessa otimização faz com que seja mais eficiente o uso final de energia em construções públicas, aspecto que, consequentemente, permite melhor uso do recurso público destinado às despesas referentes à energia elétrica das edificações em todo território brasileiro.

1.2 Questão central e hipótese

Como questão central desta pesquisa, indaga-se se o *Aquartelamento do Cambuci* atende aos requisitos técnicos do maior nível de eficiência energética, os quais são estabelecidos pelo *PROCEL EDIFICA* e se encontram especificados no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Esses requisitos avaliam os sistemas individuais – *da envoltória, de iluminação e de condicionamento de ar* – da edificação. Deste modo, caso seja negativa a resposta a essa questão, questiona-se, adicionalmente, se há, sob o ponto de vista energético, possibilidade para otimização da infraestrutura existente e para quais sistemas os esforços devem ser dirigidos.

Neste contexto, a hipótese a ser investigada pela pesquisa é a de que o *Aquartelamento do Cambuci* não atende aos requisitos técnicos estabelecidos para a certificação de nível

máximo de EE em todos os seus sistemas individuais. Se assim for, haverá espaço para que haja otimização tanto no nível de EE encontrado quanto no uso final da energia elétrica e, conseqüentemente, haverá redução nos dispêndios referentes a esse consumo.

1.3 Objetivos principal e secundários

Frente aos aspectos apresentados anteriormente em relação à necessidade do uso eficiente de energia elétrica em edificações públicas, a presente pesquisa tem como objetivo principal analisar o estudo de caso referente a um dos edifícios da Administração Pública Federal do Exército Brasileiro, o *Aquartelamento da Comissão Regional de Obras do Estado de São Paulo*, de forma a verificar se o nível de EE dessa edificação encontra-se satisfatório e, em caso negativo, indicar quais sistemas de consumo energético devem ser aprimorados. Como objetivos adjacentes ou secundários, tem-se:

- i. Realizar uma revisão da literatura acerca das políticas públicas relativas à eficiência energética em edificações;
- ii. Detalhar as certificações ambientais sustentáveis e os programas mais relevantes de EE no mundo e no Brasil;
- iii. Analisar o consumo de energia elétrica do *Aquartelamento do Cambuci*, bem como sua representatividade financeira;
- iv. Verificar alternativas técnicas que possam efetivamente aprimorar o nível de EE deste Aquartelamento.

1.4 Abordagem metodológica e estrutura do trabalho

Para o desenvolvimento desta dissertação, a metodologia recorre a três abordagens, quais sejam: (i) *revisão da literatura*; (ii) *estudo de caso*; e (iii) *análise crítica e proposições*. Na *revisão da literatura* foram levantadas informações acerca da temática de EE. Inicialmente, tratou-se de algumas políticas públicas – no mundo e no Brasil – relativas à EE e aos resultados que a aplicação de tais políticas tem trazido para a redução no consumo energético em edificações. Adicionalmente, foca-se no setor de construção civil, com a devida identificação dos sistemas energéticos de maior influência sobre consumo de energia em edifícios comerciais e públicos. Também é dada atenção às certificações sustentáveis e aos programas mais relevantes de EE existentes nesse setor.

Em seguida, um *estudo de caso* é realizado à luz do referencial metodológico de um dos programas de EE apresentados na revisão da literatura – o *PROCEL EDIFICA*. Esse referencial é aplicado a uma edificação do Exército Brasileiro, a saber: o *Aquartelamento da Comissão Regional de Obras do Estado de São Paulo*. Dessa maneira, torna-se possível verificar o nível de EE dessa construção.

A terceira abordagem, correspondente à *análise crítica* que contempla uma reflexão sobre os resultados para, em seguida, propor melhorias para elevar o nível de EE encontrado no Aquartelamento. Tais proposições, se direcionaram para os sistemas energéticos da construção, bem como para o consumo de energia elétrica e ao custo a eles associados.

Desse modo, para seguir essa metodologia, esta dissertação encontra-se estruturada em quatro capítulos. O primeiro deles corresponde a este capítulo introdutório, no qual buscou-se fornecer uma visão geral do contexto em que se insere este estudo, bem como explicitar a relevância do tema a ser abordado. Ainda neste primeiro capítulo, foram apresentados: (i) o objetivo principal e os secundários a serem alcançados com o desenvolvimento do trabalho; (ii) a questão central a ser respondida bem como a hipótese a ser verificada; e (iii) a abordagem metodológica aplicada na pesquisa bem como a sua estrutura capitular.

O segundo capítulo, a seguir, dedica-se à revisão da literatura relativa ao tema e traz um breve histórico do panorama da Eficiência Energética no Brasil e no exterior, com as políticas públicas voltadas a esse quesito. Também aborda alguns dos resultados que vêm sendo alcançados em decorrência da implementação de medidas de eficiência, assim como o que ainda se espera alcançar num futuro próximo. Com enfoque em EE nas edificações, são apresentados os sistemas de maior consumo de energia elétrica nos edifícios comerciais e públicos e os dispêndios financeiros atrelados a esse consumo. Em consequência, também são abordados certificações e programas mais relevantes de EE – no âmbito nacional e internacional – voltados a construções sustentáveis.

O capítulo terceiro descreve, inicialmente, a estrutura metodológica do estudo de caso de forma mais detalhada. Posteriormente, apresenta o referencial metodológico do programa de EE escolhido – voltado para edificações – o *PROCEL EDIFICA*, a ser utilizado na análise desta pesquisa. Sobre a edificação do *Aquartelamento da Comissão Regional de Obras do Estado de São Paulo*, objeto do estudo de caso, são levantados suas características construtivas e seus sistemas energéticos – *da envoltória, de iluminação e de condicionamento de ar*. Em seguida,

são verificados os níveis de EE de cada um desses sistemas supracitados e da edificação do Aquartelamento como um todo. Ainda neste capítulo, a questão central do trabalho é respondida, qual seja, se o *Aquartelamento do Cambuci* atende aos requisitos técnicos de maior nível de eficiência de acordo com a metodologia do *PROCEL EDIFICA*. Esse capítulo se completa com as propostas de melhoria para os sistemas energéticos analisados do Aquartelamento, a fim de atuar no nível de EE encontrado, no consumo de energia elétrica e no custo a ele associado.

Por fim, as considerações finais são sumarizadas no capítulo quatro. Ademais, esse quarto capítulo destaca as contribuições realizadas, bem como sinaliza as limitações encontradas no desenvolvimento da pesquisa e indica caminhos para trabalhos futuros.

2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O presente Capítulo dedica-se à revisão da literatura, com foco no conhecimento relativo à Eficiência Energética (EE) em edificações. Parte-se de uma apresentação do conceito e importância da EE, seguindo-se para um breve panorama do seu histórico no mundo e no Brasil, bem como abordando as políticas públicas relacionadas a esse tema. Alguns reflexos da atuação dessas políticas são também apresentados, tanto no cenário mundial como no nacional. Em seguida, é abordada a EE no setor da construção civil com detalhamento dos sistemas energéticos de maior consumo de energia elétrica em construções e dos dispêndios financeiros médios a eles associados. Por fim, as certificações sustentáveis e os programas de EE de maior relevância existentes nesse setor são apresentados.

2.1 Panorama das políticas de eficiência energética

O conceito de Eficiência Energética (EE) pode ser definido de várias maneiras. Um deles, por exemplo, trata da relação entre os serviços energéticos e a energia primária para produzi-los. De acordo com Lamberts, *et al.* (2014), a Eficiência Energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. O uso eficiente da energia está no centro de qualquer estratégia para garantir um crescimento econômico seguro, sustentável e inclusivo.

Para o caso das edificações, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais relacionadas, por exemplo, ao nível de conforto dos seus ocupantes e ao uso final da energia, - como iluminação, cocção e outros serviços energéticos -, com menor consumo. Além disso, considera-se também a fase de construção do edifício com menor uso de energia.

O uso eficiente da energia traz benefícios à sociedade e ao meio ambiente. Alguns deles são apresentados pela Agência Internacional de Energia, como o aumento da segurança energética e da disponibilidade de energia, a redução do preço da energia, a contribuição para a produtividade industrial e para a redução da pobreza, o alívio na saúde e no bem-estar da população, a criação e a manutenção de empregos, bem como o gerenciamento de recursos e a valorização de ativos (CALDEIRA, 2016).

2.1.1 Cenário internacional

A Eficiência Energética (EE) é capaz de trazer uma segurança energética para a sociedade frente a sua crescente demanda de energia, e uma redução dos impactos ao ambiente. Desse modo, o uso eficiente da energia passou a ser uma preocupação no cenário mundial. As comunidades, científica, acadêmica, política; e econômica, dentro de suas respectivas competências, começaram, então, a atuar no sentido de interferir no ritmo acelerado do uso dos recursos naturais e da degradação ambiental; e no modelo de desenvolvimento dos países (CALDEIRA, 2011).

Na década de 1970, a Conferência das Nações Unidas, em Estocolmo, foi o primeiro marco histórico, dentre os eventos mundiais relativos ao tema em questão. Esse evento foi organizado para tratar exclusivamente das questões ambientais globalmente e foi marcada por ser a primeira grande Conferência a tratar da relação homem e meio ambiente. Um dos principais objetivos desse evento era convergir a atenção do governo e da opinião pública para a importância dos problemas oriundos dessa relação. A Conferência ressaltou o fato de que os impactos ambientais, oriundos das ações de um país, podem afetar o mundo inteiro (FERRARI, 2014).

A Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), criada pela Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), surgiu na década seguinte. Essa Comissão tinha como objetivo sugerir regras de cooperação internacional para balizar as políticas e as ações de EE nos países promovendo as transformações necessárias. Ainda nesta década, em 1985, a Convenção de Viena teve como foco principal a Proteção da Camada de Ozônio. Nessa Convenção foi determinado o Protocolo de Montreal, que prescreveu padrões para a redução progressiva de produtos nocivos à camada de ozônio, considerando sua fabricação e seu consumo (ESTRELA, POTT, 2017).

Dentre os marcos históricos da década de 1990, destaca-se a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, a Rio-92. Essa Conferência foi considerada o ápice da Agenda Ambiental Global, após vinte anos do primeiro evento. Lançou-se, à época, uma nova concepção de desenvolvimento sustentável com a adoção das Convenções de Diversidade Biológica e de Mudanças Climáticas. Além disso, foi elaborado um conjunto de resoluções relativas ao tema chamado de Agenda 21, firmado com o objetivo

de criar um modelo novo para o desenvolvimento sustentável, padrões de consumo e de produção (KOHN *et al.*, 2017).

Ainda na década de 1990, o Protocolo de Quioto foi estabelecido em 1997, durante a 3ª Conferência das Partes da Convenção do Clima. Foi determinado por esse Protocolo que os níveis de emissão dos gases do efeito estufa deveriam ser reduzidos. Essa diminuição seria de 5% em relação aos valores emitidos em 1990, e deveria ser atingida entre os anos de 2008 e 2012. O segundo período do acordo, pós-2012, determina a redução de 20% a 30% até 2030 e 60% a 80% até 2050.

Esse Protocolo seguiu o princípio das responsabilidades diferenciadas. Isso porque os países desenvolvidos, apesar de possuírem grande parte do estoque de poluentes dispersos na atmosfera, em função do crescimento econômico que já tiveram, não são os principais responsáveis pelas emissões. Os países emergentes por registrarem baixa eficiência energética, em relação aos países desenvolvidos, e por terem maior espaço para crescerem economicamente, tem níveis de emissões associados a esse crescimento superior aos países desenvolvidos (ESTEVEZ *et al.*, 2017).

Outro marco importante desta década trata de Construção Sustentável. A construção civil ganhou um documento específico sobre o tema em 1999 com a divulgação da Agenda 21 para a Construção Sustentável. Nela foram apresentadas recomendações, tomando por base as práticas de construção adotadas nos países europeus, e os desafios a serem enfrentados pela arquitetura e engenharia. Entre esses desafios pode-se citar o incentivo à educação ambiental para os profissionais, o desenvolvimento de métodos de avaliação do progresso do setor, entre outros (MARTINS, 2019).

A Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, a Rio+10, ocorrida em 2002 na África do Sul e a Conferência das Nações Unidas em 2012, a Rio+20, no Rio de Janeiro foram alguns marcos históricos que se sucederam. A Cúpula teve como foco debates a respeito das soluções propostas pela Agenda 21. Já a Conferência objetivou renovar os compromissos políticos com o desenvolvimento sustentável avaliando progressos e possibilidades de melhorias nas decisões de cúpulas anteriores.

Foi abordado o termo Construção Sustentável nas Nações em Desenvolvimento. Estabeleceram-se diretrizes com as práticas construtivas adotadas no Brasil. Destacou-se a necessidade de uma transformação organizacional, envolvendo as características das

edificações a serem produzidas, a gestão do processo de projeto e o setor da construção civil como um todo. Houve a necessidade de se definir padrões para a melhoria da qualidade ambiental. Desse modo surgiram os métodos que auxiliam aos projetos com essa qualidade ambiental: os selos verdes e as certificações sustentáveis (MARTINS, 2019).

O Acordo de Paris foi um dos marcos históricos mais recentes, ocorrido no ano de 2015 na França, na 21ª Conferência das Partes. Dentro do contexto do desenvolvimento sustentável, esse acordo objetivou reduzir emissões de gases do efeito estufa com maior comprometimento dos países participantes. O compromisso estava associado ao aumento da temperatura média global.

No caso do Brasil, o país comprometeu-se a reduzir 37% do total das emissões do ano de 2005 até o ano de 2025, e até o ano de 2030, 43%. Além disso, com relação a matriz energética nacional, foi acordado que o Brasil deverá ter aproximadamente 45% da participação de fontes de energia renováveis na sua matriz energética até 2030 (MMA, 2019).

Diante desse contexto, diversos países implementaram programas e iniciativas relacionados à eficiência energética que foram adaptadas à realidade de cada país com a finalidade de alcançarem as metas estabelecidas. Além disso, medidas reguladoras foram elaboradas para que cada estado pudesse incentivar o seu próprio mercado a focar na maior eficiência, especialmente em edificações e nos equipamentos.

2.1.2 Cenário nacional

A implementação de medidas de Eficiência Energética (EE) no Brasil teve seu início a partir da década de 1980. Nesse período vivia-se a pós-crise do petróleo e a crise da dívida externa. Dessa maneira, foram formuladas leis de incentivo à eficiência energética para aumentar a geração de energia por fontes renováveis. Essas políticas mostraram-se bem-sucedidas, porém, as políticas nacionais direcionadas para o uso de medidas de eficiência energética foram moderadamente bem-sucedidas.

Com isso, em 1981, foi criado o Programa Conserve. Esse programa buscava promover a conservação de energia na indústria, o desenvolvimento de produtos eficientes e a substituição de energéticos importados por fontes nacionais. O Programa de Mobilização Energética (PME)

foi lançado em seguida. Esse programa foi caracterizado por um conjunto de ações direcionadas à conservação de energia e, à substituição de derivados de petróleo por fontes renováveis de energia (ALTOÉ *et al.*, 2017).

Ainda na década de 1980, foram criados o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). O PBE teve como finalidade inicial a divulgação de informações sobre o nível de eficiência energética de equipamentos elétricos por meio de um selo emitido pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). O PROCEL, desenvolvido pela ELETROBRAS, em parceria com o PBE, teve como missão promover o uso racional de energia elétrica em todo país (ELETROBRAS, 2013).

Na década seguinte, o Programa Nacional da Racionalização do uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural (CONPET) foi lançado pela Petrobrás. Dentre seus objetivos, tratou de promover o uso racional de recursos energéticos no país, focado em fontes de energia não renováveis. Os produtos etiquetados pelo PBE, que apresentassem o melhor desempenho energético em sua categoria, poderiam receber o Selo PROCEL e o Selo CONPET, esse para o caso dos aparelhos a gás (ALTOÉ *et al.*, 2017).

No ano de 2001, o país foi marcado por uma crise energética. Frente a reservatórios hidrelétricos, que se mostraram insuficientes para dar conta da geração de energia ao longo daquele ano, ultrapassando o período de baixa pluviosidade, um corte administrado de 20% da demanda foi proposto e imposto a todos os setores do país.

Nesse contexto, ocorreu no país um marco regulatório, o Decreto n. ° 4.059/2001 que promulgou a Lei de Eficiência Energética (Lei n. ° 10.295/2001). Esta lei dispôs sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, objetivando desenvolver, difundir e estimular a eficiência energética no país. Foi determinado que:

Os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país, bem como edificações construídas, fossem estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica a ser fixada nos termos deste Decreto, sob a coordenação do Ministério de Minas e Energia. (BRASIL, 2001).

A fim de haver uma formulação de indicadores de eficiência energética em vários setores da economia foi criado o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência

Energética (CGIEE). Esse comitê foi composto por Agências Reguladoras, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio do Exterior; Ministério da Ciência e Tecnologia, PROCEL e CONPET.

Com a finalidade de viabilizar a implementação da Lei de Eficiência Energética (Lei n.º 10.295/2001), no que concerne a edificações, foi criado em 2003, um Grupo Técnico para efficientização das edificações no país (GT-Edificações). Esse Grupo Técnico buscou a elaboração e a regulamentação de procedimentos para a avaliação da Eficiência Energética das edificações visando o uso racional da energia elétrica.

Corroborando com este objetivo, ainda no ano de 2003, o PROCEL criou um subgrupo direcionado para racionalizar o consumo de energia nas edificações denominado *PROCEL EDIFICA*. Esse subgrupo teve por meta estimular e difundir os conceitos de Eficiência Energética nas edificações e contribuir para expansão do parque habitacional do país de modo eficiente (CEPEL, 2014).

No ano de 2006, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) foi criada pelo Governo Federal. Tal empresa teve como finalidade conduzir estudos e pesquisas para subsidiar o planejamento do setor energético, a formulação, o planejamento e a implementação de ações no âmbito da política energética nacional pelo Ministério de Minas e Energia.

No ano seguinte, foi realizado o primeiro desses estudos, o estudo de planejamento integrado dos recursos energéticos, o Plano Nacional de Energia (PNE) 2030. Esse plano forneceu os subsídios para a formulação de uma estratégia de expansão da oferta de energia econômica e sustentável com vistas ao atendimento da evolução da demanda, segundo uma perspectiva em longo prazo (MME, 2013).

No ano 2011, sob a responsabilidade do Ministério Minas e Energia (MME), foi elaborado e consolidado o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf). Esse Plano teve como objetivo analisar o potencial de redução de consumo de energia; apresentar propostas de ações; financiar iniciativas de Eficiência Energética, como os programas de cooperação internacional; e definir métodos para verificação e medição dos projetos (SOUZA, 2012).

O PNEf estabeleceu metas de economia de energia para serem atingidas pelo país entre os anos de 2023 e 2030, seguindo seus objetivos. É esperado pelo plano que seja alcançada uma taxa de redução do consumo anual de energia de aproximadamente 0,6% (CALDEIRA, 2016).

Além dessas metas, considerando a eficiência energética em eletricidade, o Brasil também precisará alcançar uma economia projetada para 4.255 GWh para o ano de 2030 (MME, 2013).

Finalizando o panorama de algumas políticas públicas de destaque desenvolvidas no país, pode-se citar a Instrução Normativa SLTI n.º 2/2014, determinada pelo MPOG no ano de 2014. Com a finalidade de tornar mais efetiva as medidas de eficiência no setor da construção civil pública, foi estabelecido por essa Instrução, que os edifícios da Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, novos ou submetidos a *retrofit*, fossem obrigatoriamente certificados quanto nível EE, de acordo com o programa do *PROCEL EDIFICA*. Além disso, essas construções deveriam atingir o nível máximo de EE do programa, nível A (MPOG, 2014). As políticas públicas e os programas de EE mais relevantes estão representados na Figura 1, apresenta em ordem cronológica.

Figura 1. Cronologia de políticas públicas de eficiência energética relevantes no Brasil.

Fonte: Elaboração própria.

2.2 Resultados da implementação de medidas de eficiência energética

As políticas públicas e os programas governamentais, criados dentro e fora do Brasil, que se relacionam ao tema eficiência energética, têm trazido resultados de economia de energia mundialmente. A demanda de energia elétrica, o uso de combustíveis fósseis para a geração de energia e as emissões de gases do efeito estufa foram alguns dos indicadores que sofreram reduções. Isso porque todos os países têm se comprometido com o uso eficiente da energia no presente e num futuro próximo.

A demanda mundial de energia, de acordo com os dados apresentados pela Agência Internacional de Energia (IEA), teve uma taxa de expansão de crescimento de 2010 a 2018 de 1,4%. Na década anterior esse valor foi 2,7%. Existe uma tendência de enfraquecimento entre a ligação do crescimento do produto interno bruto (PIB) e do aumento dessa demanda. Como cada vez mais tem-se investido em ações de EE, espera-se que o valor dessa taxa seja ainda

menor para os próximos anos. Os países que mais se destacaram na diminuição da demanda foram a China, Índia e África (IEA, 2019).

No caso do uso de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural, para a geração de energia, notou-se que as importações desses combustíveis no mundo reduziram. No período de 2000 a 2018, a redução foi em torno de 20% do valor que era esperado para o mesmo período. Esse resultado permitiu uma maior segurança energética aos países importadores (IEA, 2019).

Contribuindo com o aumento dessa segurança, houve uma maior participação na produção mundial de energia das fontes renováveis. Ainda que essas fontes representem apenas 2% da produção mundial, essa taxa vem crescendo ao longo dos anos. No ano de 2017, considerando a energia solar fotovoltaica, eólica, geotérmica e solar, o crescimento foi próximo de 34,8%, 18%, 7% e 3,5% respectivamente.

O uso de combustíveis fósseis para geração de energia está diretamente ligado às emissões de gases de CO₂ no meio ambiente. Com o aumento da substituição do uso do carvão para o uso de gás na geração de energia em 2018, reduziu-se a intensidade no uso do carvão. Em consequência dessa substituição, incentivada por políticas públicas, foram evitadas as emissões de aproximadamente 95 Mt CO₂. Os países que mais se destacaram com essa redução foram China e Estados Unidos. Além disso, com o uso de fontes de energia renováveis expandindo, no ano de 2018, 215 Mt CO₂ puderam ser evitadas com a transição do uso dessas fontes no setor de energia (IEA, 2019).

Anualmente, o Conselho Americano de Economia e Eficiência de Energia (ACEEE) emite um relatório com uma pontuação internacional atrelada às ações de EE de vinte e cinco países. A pontuação considera as políticas públicas e as performances atuantes no consumo de energia de cada país tanto no setor de edificações, de transporte, da indústria e quanto nos esforços nacionais. A Figura 2 compara a pontuação do Brasil com a pontuação média e máxima dos demais países do mundo. No ano de 2018, a Alemanha e a Itália destacaram-se em primeiro lugar, enquanto o Brasil ateu-se a vigésima posição (ACEEE, 2018).

Figura 2. Pontuações máxima e média mundial e a pontuação brasileira quanto às ações de EE no setor de edificações, indústria e transporte.

Fonte: ACEEE (2018).

Para a pontuação do setor de construções civil foram considerados oito indicadores. De maneira geral, esses indicadores associam-se à intensidade da energia utilizada nos edifícios comerciais e residenciais; aos códigos e às normas, que regulam a eficiência de equipamentos e da energia usada nos edifícios; às políticas que incentivam e exigem eficiência energética, e àquelas que exigem classificação, rotulagem e divulgação de informações sobre o consumo de energia da construção.

Nesse setor, a maior pontuação ficou com a Espanha, por possuir menor intensidade do uso da energia, seguida da França, Holanda e Reino Unido. A França apresentou pontuação máxima nos códigos de energia e na categoria de modernização. O Brasil alcançou a décima oitava posição no ranking mundial (ACEEE, 2018).

Ainda que haja espaço para aumentar a pontuação do Brasil no cenário nacional, os impactos das ações de EE dentro do país têm sido expressivos. Isso porque, dentre os incentivadores dessas ações no país está o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), coordenado pelo MME e executado pela ELETROBRAS. Esse programa tem sido o principal agente destinado a promover o uso eficiente de energia elétrica e a combater os desperdícios.

Anualmente o PROCEL emite um relatório com resultados importantes de economia de energia nos mais diversos setores do país. No ano de 2018, foi registrada uma economia de

energia cerca de 23 bilhões de kWh, o que representa 4,7% do total da energia consumida no país. Esse resultado possibilitou que dois Mt CO₂ não fossem emitidos nesse ano. Os ganhos energéticos anuais decorrentes das ações do PROCEL, desde 2014 até 2018, foram aproximadamente de 82 bilhões de kWh. A Figura 3 apresenta esses dados no referido período (PROCEL, 2019).

Figura 3. Economia de energia elétrica decorrente das ações do PROCEL no período de 2014 a 2018 em bilhões de kWh.

Fonte: PROCEL (2019).

No setor da construção civil, de maneira geral, os projetos de eficiência energética em edificações analisam todos os sistemas energéticos presentes nessas construções. Em décadas passadas, esses projetos se baseavam apenas na tomada de medidas simples por parte dos usuários que utilizavam a edificação (BENAVIDES, 2014).

Teodoro (2012) define que para que uma edificação seja considerada eficiente energeticamente, ela deve ser capaz de manter as condições de conforto e utilização habituais tendo em contrapartida um menor consumo de energia. Desse modo, a Eficiência Energética nas edificações poderia ser traduzida em redução de custos aos usuários e redução de custos para a sociedade.

Sendo assim, analisando os efeitos das ações de EE nas edificações, os resultados foram apresentados baseados nos impactos do *PROCEL EDIFICA*. A ELETROBRAS, por meio desse programa, desenvolveu atividades focando na divulgação e nos estímulos à aplicação dos conceitos de EE em edificações. Essas atividades contribuíram com a expansão, de forma

eficiente, do setor de edificações no Brasil reduzindo os custos operacionais na construção, na utilização e na manutenção dos imóveis.

Dentre todas as atividades que o *PROCEL EDIFICA* tem atuado nesse setor, citam-se seis vertentes, a capacitação humana, as tecnologias, a disseminação, subsídios à regulamentação, habitação e eficiência energética e suporte, que trata do marketing e financiamento. Os resultados obtidos no setor da construção, desde o ano de 2015, representam um consumo energia evitado estimado de 19 GWh. Esse valor foi proveniente do conjunto de edificações construídas agraciadas com o Selo PROCEL Edificações (PROCEL, 2019).

Além dos resultados já alcançados, existem expectativas futuras quanto ao uso eficiente da energia em edificações, no cenário internacional. Analisando o caso das edificações, espera-se que até o ano de 2040 a demanda da energia permaneça estável mesmo com a expectativa de 60% de aumento do setor da construção civil. Isso porque os edifícios construídos em 2040 poderão ser até 40% mais eficientes dos que são hoje.

No caso das edificações públicas, com o aumento da Eficiência Energética, o consumo de eletricidade por uso final, como por exemplo, iluminação, ventilação, refrigeração entre outros usos, seria reduzido. Os investimentos em edifícios e equipamentos eficientes, no ano de 2017, foram de U\$ 140 bilhões de dólares. Em 2040, estima-se que esse valor seja de U\$ 360 bilhões de dólares (IEA, 2018).

Dentre as formas de uso final da energia elétrica, que apresentam maior espaço para efficientização, em edificações destacam-se o aquecimento de ambientes e o destinado ao cozimento de alimentos, como mostra a Figura 4.

Figura 4. Eficiência por uso final esperada para 2040 em edificações decorrentes de ações de EE.
Fonte: IEA (2018).

2.3 Consumo de energia elétrica em edificações

O consumo energético de uma edificação é contabilizado considerando todo o seu ciclo-de vida. Esse ciclo trata desde a fase do pré-uso, que inclui todos os processos até a construção do edifício; do uso, também chamada de energia operacional, com a utilização das instalações, a realização de manutenção e reformas necessárias; e pós-uso, que trata de demolição, transporte dos resíduos e destinação final do edifício. Porém, de acordo com Yokoo e Yokoyama (2016) os impactos decorrentes da energia pré-uso e pós-uso não são regulados na maioria dos países, ao contrário dos impactos do uso operacional.

A energia operacional também está relacionada ao consumo de energia elétrica de uma edificação para atender às necessidades de conforto e bem-estar dos seus ocupantes. Manter as condições do ambiente adequada, com um sistema de iluminação e de condicionamento de ar eficientes, possibilitar o uso de equipamentos elétricos eficientes para desenvolvimento de suas atividades e a cocção para preparação de alimentos são alguns dos exemplos (TEODORO, 2017).

No ano de 2019, a EPE apresentou através do Anuário Estatístico de Energia Elétrica, os dados referentes ao consumo de energia elétrica no Brasil por classe de consumo. No caso específico das edificações brasileiras, os dados informaram que, no ano de 2018, foram consumidos cerca de 242 TWh de energia elétrica. Desse valor, as edificações do poder público, foram responsáveis pelo consumo aproximado de 6,3% no mesmo ano. Analisando o

crescimento do setor do poder público, entre o ano de 2017 e 2018, houve um crescimento em torno de 0,2 %, conforme informações contidas na Tabela 1. Porém, apesar de ter tido esse aumento, nota-se que, em se tratando dos últimos quatro anos, o setor reduziu em média 0,8% do seu consumo (EPE, 2019).

Tabela 1. Consumo de energia elétrica (GWh) por classe de consumo

Classe de consumo	2015	2016	2017	2018	Δ% (2018/2015)
Residencial	131190	132872	134368	137615	4,7%
Industrial	169289	165314	167398	169625	0,2%
Comercial	90768	87873	88292	88631	-2,4%
Rural	25899	27266	28136	29168	11,2%
Poder Público	15196	15096	15052	15076	-0,8%
Iluminação Pública	15333	15035	15443	15690	2,3%
Serviço Público	14730	14969	15196	15778	6,6%
Consumo próprio	3304	3355	3277	3238	-2,0%
Brasil	465709	461780	467162	474821	1,9%

Fonte: EPE (2019).

No caso das edificações nacionais comerciais e públicas a energia elétrica operacional tem seu maior consumo voltado para a climatização de ambientes. O uso de aparelhos de ar condicionado é responsável por aproximadamente 48% do consumo de energia elétrica nesses edifícios. O uso de iluminação artificial corresponde ao segundo maior consumo com 23%, seguido por 15% dos equipamentos de escritório e 14% de outras cargas (LAMBERTS, *et al.*, 2014). Diante desses dados, para ser possível tornar o uso da energia operacional mais eficiente, alguns fatores capazes de influenciar nesse consumo final de energia elétrica começaram a ser analisados.

O consumo da energia elétrica operacional por uso final é influenciado não só pelos hábitos de uso da energia pelos ocupantes e pela eficiência dos equipamentos instalados no edifício, como por outros fatores. Dentre eles, pode-se citar a geografia e o clima no qual se insere a construção, o tipo do edifício, residencial ou comercial, público ou privado, os materiais construtivos utilizados na fase de construção, entre outros (TEODORO, 2012).

Inicialmente, destacam-se a atuação das variações climáticas e das propriedades físicas e térmicas da envoltória dos edifícios. Isso porque a envoltória pode afetar o conforto térmico e a conservação da energia da construção provenientes das transferências de calor do ambiente interno da edificação com o ambiente externo. No período de inverno, por exemplo, podem ocorrer perdas térmicas do interior para o exterior devido às baixas temperaturas externas. Já

no verão, a temperatura interna aumenta devido a maior absorção de calor das radiações solares pela construção (COTA, 2014).

Segundo Carlo (2002) em ambientes muito urbanizado, existe a ocorrência de um fenômeno chamado de *ilha de calor*. Esse fenômeno associa-se ao aumento da carga térmica urbana, ambiente externo, que acaba exigindo maior atuação de um sistema de resfriamento dos edifícios, no ambiente interno, para que haja conforto térmico dos ocupantes. Considera-se que, em regiões onde a população seja maior que 100 mil habitantes, para cada aumento de 1°C na temperatura externa da construção, ocorre um aumento de 2,6% a 3,6% da carga elétrica máxima do edifício para que o conforto possa ser alcançado.

Ainda considerando a questão térmica, o território brasileiro, com toda sua extensão, apresenta uma diversidade climática enorme. Desse modo as construções necessitam ter características adequadas para cada local no qual estão inseridas a fim de terem o melhor desempenho térmico. Em 2005, foi estabelecida a Norma Brasileira de Desempenho Térmico das Edificações, NBR 15220-3 pela ABNT, que também determinou as oito zonas bioclimáticas do Brasil. A Figura 5 a seguir indica essas oito zonas.

Figura 5. Zonas Bioclimáticas do Brasil

Fonte: ABNT (2005).

Segundo Lamberts *et al.* (2015), fez-se necessário que os projetos arquitetônicos apresentassem estratégias de modo a integrar a arquitetura e o meio ambiente, tirando proveito de aspectos como clima, vegetação, topografia, desenho urbano e soluções técnicas mais eficientes. A exemplo disso pode-se citar os casos de uso de sistemas naturais de condicionamento, de iluminação e sistemas artificiais os mais eficientes possíveis.

Nesse contexto, surgiu a necessidade do desenvolvimento de uma arquitetura bioclimática, que foi definida a partir de uma metodologia quadripartida: clima, biologia, tecnologia e arquitetura, para elaboração de projetos. Esse conceito inter-relaciona os dados do clima externo da construção e a zona de conforto para o usuário através da concepção de um gráfico bioclimático (BARRETO, 2016).

Desta maneira, a fase inicial de um projeto de um novo edifício tem sua importância. Durante essa fase irão se ajustar alguns parâmetros como a localização bioclimática, a orientação da construção, as características da envoltória. A eficiência dos materiais presentes no sistema da envoltória de um edifício poderá resultar num melhor desempenho térmico e energético da edificação (MACIEL, 2018).

O sistema da envoltória de uma construção engloba as características das fachadas, da cobertura e das aberturas de uma edificação. As fachadas correspondem as superfícies verticais ou com inclinação superior a um ângulo de 60° em relação a horizontal, inclui as superfícies opacas, as paredes translúcidas, transparentes e vazadas, os cobogós e vãos de entrada. Os fechamentos opacos ou transparentes existentes nas fachadas interferem na absorção da radiação solar. A orientação das fachadas também pode influenciar na eficiência do edifício.

As aberturas são consideradas toda e qualquer parte da fachada que possui, na sua composição, material transparente ou translúcido, que permite a passagem de luz, ou radiação solar, direta ou indireta, para o interior da edificação. As janelas, portas de vidro e paredes de bloco de vidro são alguns dos exemplos de aberturas em uma construção (ELETROBRAS, 2016).

As características da cobertura e das paredes, como a capacidade da *transmitância térmica* dos seus materiais construtivos, as cores e a *absortância térmica* de suas superfícies, bem como os dispositivos de *iluminação zenital*, permitem que o ganho de calor do edifício seja minimizado ou não (TAVARES, 2011). A Figura 6 apresenta quais as partes de uma

construção são consideradas como envoltória, de acordo com o PROCEL. Os pisos e as paredes em contato com o solo não fazem parte da envoltória (ELETROBRAS, 2016).

Figura 6. Partes da edificação que compõe a envoltória.

Fonte: ELETROBRAS (2016).

Algumas características do sistema envoltória de um edifício podem influenciar no consumo de energia elétrica do sistema de iluminação. Isso porque é possível conceber, durante a fase inicial do projeto, o aproveitamento da iluminação natural através de aberturas posicionadas nas fachadas.

As fachadas com grandes vãos, por exemplo, passaram a ser utilizadas, com os avanços de materiais e de tecnologias, nos projetos arquitetônicos com o objetivo de admitirem maior participação da luz do dia nos ambientes internos dos edifícios. Essas aberturas foram projetadas com a finalidade de atender as atividades desenvolvidas em cada ambiente (PEREIRA, 2017).

O uso adequado entre a iluminação natural e a iluminação artificial pode minimizar o consumo de energia elétrica na fase operacional do edifício sem que haja perda de qualidade da iluminância. Isso é possível porque já existe disponível, por exemplo, equipamentos eletrônicos capazes de variar o fluxo luminoso das lâmpadas. Dessa maneira, permite-se que o usuário ajuste o nível de iluminação em função da contribuição da iluminação natural no ambiente, o chamado *dimmer* eletrônico (LAMBERTS *et al.*, 2014).

Além disso, o próprio setor de iluminação artificial passou por avanços com o uso de tecnologias mais eficiente. A utilização de lâmpadas de *Light Emitter Diode* (LED), as

conhecidas lâmpadas LED, são um exemplo desse avanço. Elas vieram para substituir as lâmpadas fluorescentes e constituem dispositivos semicondutores com gases que são revestidos com diferentes materiais de fósforo.

Dentre os benefícios oriundos do uso de lâmpadas LED pode-se citar principalmente o consumo de energia elétrica menor, em comparação ao das lâmpadas até então existentes. Além disso, possuem durabilidade elevada e despreocupação com o descarte pós-uso, tendo em vista que o LED é produzido com materiais atóxicos ao meio ambiente (BATISTA *et al.*, 2015).

Além da influência das fachadas de um edifício na eficiência do *sistema de iluminação*, o *sistema da envoltória* também interfere no *sistema de condicionamento de ar*. Isso porque uma de suas funções é minimizar as trocas de calor entre ambiente externo e interno trazendo conforto térmico aos ocupantes, o que pode afetar significativamente no consumo energético geral da edificação (HALAWA *et al.*, 2018).

O *sistema de condicionamento de ar* destaca-se como o maior responsável pelo consumo de energia elétrica nas edificações comerciais e públicas, durante sua fase operacional. Desse modo, a utilização de traços físicos da construção para minimizar isso é indispensável. A aplicação da técnica passiva chamada de ventilação natural, por exemplo, poderia trazer esse benefício. Essa ventilação pode ocorrer por meio de dois sistemas físicos, da ventilação cruzada e do efeito chaminé, ambos oriundos da diferença de pressão.

No primeiro sistema, a direção e a intensidade dos ventos devem aproveitar a concepção arquitetônica para que a ventilação ocorra com o fluxo de vento por aberturas opostas, sem obstáculos, na edificação. O outro sistema refere-se à variação de temperatura, que permite o fenômeno da convecção, em que o ar mais quente sobe e o ar mais frio desce. A forma de aberturas e elementos vazados nas partes altas da edificação fazem com que o ar mais quente seja exaurido num fluxo vertical também conhecido como “efeito chaminé” (RODRIGUES, 2015).

A combinação entre um sistema de automação predial e o de ventilação natural pode permitir, por exemplo, que as aberturas sejam utilizadas da melhor forma para o aproveitamento dessa técnica passiva. A implementação de algoritmos para controlar a temperatura, a umidade e a qualidade do ar no interior dos edifícios, conforme a hora do dia, podem complementar essa combinação de sistemas tornando-a mais eficiente. Com a instalação de detectores de vento e de chuva também pode-se prevenir que as janelas fiquem abertas em condições adversas.

Além dessa combinação de sistemas, a utilização de aparelhos de ar-condicionado, modernos e eficientes, contribuem para diminuição do consumo de energia elétrica do sistema de condicionamento de ar da edificação. Os avanços tecnológicos dos aparelhos de ar condicionado trouxeram um corte entre 30 e 60 %, dependendo do fabricante, nos gastos com eletricidade.

O funcionamento desses equipamentos é baseado em sistemas de expansão direta, quando o condicionador recebe diretamente do recinto ou através de dutos a carga de ar frio ou quente, e de expansão indireta, quando o condicionador utiliza um meio intermediário para retirar a carga térmica transmitida pelo ar frio ou quente. Os modelos mais conhecidos existentes no mercado são os do tipo janela, *split* e *self contained*.

Em virtude do desconforto acústico dos aparelhos tipo janela, sinalizado pelo mercado consumidor, os fabricantes investiram em pesquisa para que a unidade evaporadora ficasse separada da unidade condensadora, diminuindo o ruído proveniente do processo de compressão. Assim, surgiram os aparelhos do tipo *split*.

Para promover uma diminuição do consumo de energia do ar-condicionado *split*, desenvolveu-se uma nova tecnologia chamada de *inverter* ou *VRF* (Volume de Refrigerante Variável). Enquanto no aparelho de ar-condicionado *split* do modelo convencional o compressor possui apenas duas opções, ou ligado ou desligado, o ar-condicionado do tipo *inverter* funciona de maneira similar, porém o seu compressor nunca é desligado (MESTRIA; VARGAS, 2015).

Nos aparelhos do tipo *split*, quando é necessário resfriar o ambiente o compressor é ligado e opera com a sua potência máxima, em watts. Ao atingir a temperatura ambiente desejada, o compressor é desligado. Já nos aparelhos *split inverter*, a tecnologia *inverter* conta com a presença de um inversor de frequência que controla a velocidade do motor do compressor fazendo com que ele gire a velocidades baixas para manter a temperatura constante no ambiente (FERREIRA *et al.*, 2015).

A empresa *Toshiba* foi a primeira fabricante a incorporar a tecnologia *inverter* em seus aparelhos de ar-condicionado, no ano de 1981. Alguns outros fabricantes tratam de atributos que comprovam maior eficiência dos modelos *inverter* em relação ao modelo convencional. O fabricante *Pioneer*, cita que o modelo *inverter* é capaz de reduzir a temperatura ambiente mais

rapidamente, chegando a utilizar apenas 30% do tempo necessário para o aparelho convencional. Além disso, a precisão no controle da temperatura para o modelo convencional chega a variar entre $\pm 3^\circ$ Celsius, enquanto a precisão no controle para o aparelho com a tecnologia *inverter* é de $\pm 0,5^\circ$ Celsius.

O fabricante *Daikin*, por exemplo, informa que seus aparelhos com a tecnologia *inverter* são 30% mais econômicos no consumo de energia elétrica do que os aparelhos convencionais. Outros fabricantes informam que essa economia chega a 40%. Alguns aparelhos da *Samsung* possuem uma função chamada *Smart Inverter*, que de acordo com a empresa, chegam a apresentar uma economia de até 60% em relação aos modelos convencionais (FERREIRA *et al.*, 2015).

Diante dos aspectos apresentados, nota-se que a eficiência do consumo de energia elétrica em uma edificação associa-se a vários fatores. Dentre eles, as características do seu *sistema de envoltória, de iluminação e de condicionamento de ar*, e suas interconexões.

2.3.1 Dispendios financeiros com o consumo de energia elétrica

Para tratar dos dispêndios com energia elétrica faz-se necessário apresentar uma visão geral de como é tarifado o uso dessa energia. A composição dessa tarifa depende de várias externalidades. Um exemplo delas, que já ocorreram no Brasil, trata da crise econômica no setor elétrico, na década de 1980. Essa crise foi agravada pela dívida externa do país e culminou em políticas econômicas de cortes dos gastos estatais. Como consequência desse fato, houve uma redução artificial das tarifas, a fim de combater à inflação, e a utilização das empresas para captar recursos necessários.

Dessa maneira, o setor ficou seriamente afetado não havendo mais condições de promover os investimentos adequados ao setor energético. Ainda nesse contexto, em 1990, o setor elétrico brasileiro passou por uma fase de reestruturação. Essa reestruturação, de modo geral, buscou maneiras de privatizar o setor elétrico parcialmente, segmentar a geração, a transmissão e a distribuição da energia, criando órgãos de controle e coordenação do sistema elétrico. Com isso, o setor de transmissão foi aberto para investimentos privados, nacionais e estrangeiros, o que também afetou a tarifação da energia (PARENTE, 2016).

O mecanismo de uso das bandeiras tarifárias também precisa ser citado, como um exemplo de externalidade. A necessidade do despacho de usinas térmicas para geração de energia, no ano de 2012, fizeram com que um valor financeiro fosse acrescido as contas de energia elétrica dos consumidores cativos devido aos custos adicionais que os geradores de eletricidade tiveram para atender a demanda da sociedade.

Essas bandeiras foram definidas pela ANEEL através da Resolução Normativa nº 464/2011 (MORAES, 2018). Segundo Caldeira (2016), nessa época, os níveis dos reservatórios de água para geração hidroelétrica eram incertos, o que levou o país a realizar despachos dessas usinas e repassar o custo ao consumidor através da bandeira tarifária.

De maneira geral, entre os valores que compõem o custo da eletricidade, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), considera-se o valor gasto para a geração, para o transporte da energia, que engloba transmissão e distribuição, e os encargos sociais. Cada uma dessas parcelas de valor pode sofrer variações, em virtude de externalidades, que impactam na tarifa final da energia.

A parcela relativa à geração da energia pode ser alterada, por exemplo, em virtude dos acordos estabelecidos entre as empresas distribuidoras de energia e as geradoras. Com relação ao transporte, mudanças de custo podem ocorrer devido ao número de consumidores e suas demandas ou até mesmo em virtude do comprimento da rede que as concessionárias atendem.

Acerca dos encargos sociais, esses sofrem reajustes anuais e revisões tarifárias em períodos diferentes para cada concessionária. Além dessas modificações, a energia é faturada de acordo com cada tipo de consumidor, dependendo da classe de fornecimento de tensão de energia que ele recebe, por meio de modalidades tarifárias específicas. Como exemplo disso, citam-se as diferenças entre as tarifas cobradas ao consumidor residencial, comercial, industrial e público (SCHUTZE; REZENDE, 2015).

O modo de comercialização da energia, seja no mercado cativo ou mercado livre, também influencia na tarifa de energia elétrica. O mercado cativo trata do contrato de fornecimento do consumidor final da energia diretamente com as distribuidoras, já no mercado livre esse contrato é entre o consumidor e as geradoras de energia, tornando o custo da energia mais barata ao consumidor nesse último caso (MARTIGNAGO, *et al.*, 2017).

A Figura 7 apresenta como é, de modo geral, composto o valor final da tarifa de energia elétrica cobrada ao consumidor final, no caso do mercado cativo.

Figura 7. Composição percentual do valor final da tarifa de energia elétrica.

Fonte: Adaptado de ANEEL (2016).

No ano de 2019, a EPE apresentou através do Anuário Estatístico de Energia Elétrica, dados relacionados ao comportamento do valor médio da tarifa de energia por classe de consumo nos últimos cinco anos no Brasil. Nota-se que o setor residencial, comercial e o poder público tiveram um crescimento aproximado de 70%, de 2014 a 2018, nesse valor. A Tabela 2 apresenta os valores em R\$/MWh de cada classe de consumo nesse referido período (EPE, 2019).

Tabela 2. Tarifas médias por classe de consumo (R\$/MWh)

Classe de consumo	2015	2016	2017	2018	$\Delta\%$ (2018/2015)
Residencial	427,9	454,3	453,5	511,7	16,4%
Industrial	374,9	392,9	397,1	451,7	17,0%
Comercial	415,7	444,8	446,7	504,1	17,5%
Rural	293,4	307,1	313,7	348,7	15,9%
Poder Público	421,5	455,2	457,9	516,2	18,3%
Iluminação Pública	252,5	259,4	268,0	307,0	17,8%
Serviço Público	327,7	344,5	346,0	385,9	15,1%

Fonte: Modificado de EPE (2019).

Com relação às despesas financeiras associadas ao uso da energia elétrica pelas edificações do setor público, consultou-se o Boletim de Despesas de Custeio Administrativos, lançado pelo Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG). Esse boletim,

lançado em dezembro do ano de 2019, informou que dentre as despesas de custeio administrativos da Administração Pública, nos últimos oito anos, os serviços de energia elétrica tiveram um crescimento médio de 52%, comparado com as demais despesas (MPOG, 2019).

No caso das edificações da Administração Pública, especificamente pertencentes ao Exército Brasileiro (EB), os custeios administrativos com energia elétrica representam uma das despesas associada à manutenção da vida vegetativa das OM. Os recursos que são destinados ao EB e às demais forças armadas para esses custos provém do Ministério da Defesa (MD). Para a gestão desses recursos, em virtude da dimensão da força terrestre, a Secretaria de Economia e Finanças (SEF) tem um órgão de apoio técnico normativo, a Diretoria de Gestão Orçamentária (DGO).

No ano de 2019, segundo dados do Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão, o Comando do Exército despendeu cerca de R\$ 115.000.000,00 dos recursos públicos para os dispêndios com serviço de energia elétrica. No período de 2016 a 2019, o gasto acumulado com esse serviço foi cerca de seis vezes esse valor. Além disso, de acordo com a DGO, entre as despesas de apoio administrativo, o gasto com energia elétrica corresponde a cerca de 10% de todas as despesas discricionárias do Comando do Exército (SEF, 2019).

A Figura 8 informa o quanto cada item de despesa representou aos custos do Comando do Exército no período de 2016 a 2019. Os serviços de energia elétrica foram o segundo maior item de despesa, cerca de 9% do total, perdendo apenas para os custos com materiais de consumo da força terrestre com aproximadamente 56% (MP, 2020).

Figura 8. Percentual de despesas de custeio administrativo do Comando do Exército Brasileiro 2016-2019.

Fonte: Modificado de Ministério do Planejamento, MP (2020).

Desta maneira, é necessária a busca pela efetividade da despesa e a racionalização dos gastos públicos pelos seus gestores. Essa premissa toma maior vulto principalmente em momentos de restrições orçamentárias. Diante disso, torna-se fundamental uma adequação das Organizações Militares para a racionalização dos gastos com energia elétrica, sem comprometer a segurança e capacidade operacional militar (CASTRO, 2018).

Em virtude do exposto, ressalta-se a importância da eficiência energética nas edificações, considerando seus benefícios. A implementação das políticas públicas e programas de incentivos a construções sustentáveis contribuem para que seja alcançada essa eficiência desejada.

2.4 Certificações ambientais e programas de eficiência energética em edificações

A necessidade de eficiência no setor da construção civil fez surgir sistemas de certificações ambientais sustentáveis e de programas de EE em edificações. Esses são destinados a fazer funcionar, na prática, as políticas públicas de EE existentes nesse setor. Após os eventos, como a criação da Agenda 21 na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, a Eco'92, no Rio de Janeiro, esses sistemas aumentaram (MOURA, 2017).

As certificações ambientais voltadas para a sustentabilidade em edifícios tem sido uma tendência mundial com a finalidade de expandir a Eficiência Energética no uso de energia das edificações, reduzindo, assim, o consumo de energia. É possível destacar um conjunto amplo e diverso de certificações que possuem objetivos essencialmente similares que, em função de seu país de origem, distinguem-se por empregarem diferentes critérios para atestar quais edifícios são sustentáveis, eficientes.

No cenário internacional pode-se destacar o primeiro sistema de certificação de edificações BREEAM, o *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*, de origem britânica. Surgiu no ano de 1990 e teve sua última versão disponibilizada ao público em 2016. Nesse certificado são avaliados critérios como: o design da construção, sua construção e a operação com medição de parâmetros de desempenho.

Para obter-se a classificação final, o edifício deve atender a um sistema com metas pré-definidas que são pontuadas. As categorias consideradas nesse sistema tratam da energia, da saúde, do bem-estar, da inovação, do uso da terra e da água, dos materiais, da gestão, da

poluição, do transporte e do desperdício. Para obter essa certificação, a construção deve obter ao menos 30% dos pontos totais, caso obtenha 45%, 55%, 70% ou 80% dos pontos totais, o projeto ou construção receberá o selo de Bom, Muito Bom, Excelente e Extraordinário, respectivamente (*Good, Very Good, Excellent e Outstanding* em tradução livre) (AWADH, 2017).

O certificado BREEAM engloba projetos de cinco padrões técnicos. O primeiro, chamado de Comunidades, é voltado para projetos de grande escala com a finalidade de fornecer estrutura de apoio para planejadores, autoridades locais e investidores, antes das etapas de detalhamento de projeto e da construção. O segundo relaciona-se a certificação de obras de infraestrutura. Nesse caso busca-se melhorar os impactos econômicos e sociais e reduzir os danos ao meio ambiente dessas obras.

As novas edificações e as edificações em uso são mais dois dos padrões técnicos considerado pelo BREEAM. As novas construções são avaliadas quanto sua concepção, construção, a utilização prevista e o futuro desenvolvimento. São atendidos nesses casos os edifícios públicos, privados, residenciais e comerciais. Verifica-se ainda, se as características sustentáveis planejadas foram executadas. Quanto as edificações em uso, o método de avaliação baseia-se na melhora da sustentabilidade do edifício através do aumento da sua eficiência operacional.

Por fim, o padrão técnico da remodelação e de adaptação. Através da reforma e adaptação de um edifício, são avaliados e mitigados os danos ambientais. A relação da construção com o desempenho ambiental, considerando o meio externo, a estrutura, os serviços essenciais, os serviços locais e o design interior do edifício, é certificada (ROCHA, 2016).

Outra certificação de destaque no cenário mundial tem origem americana, com uma versão adaptada para a realidade brasileira, a certificação conhecida como LEED, *Leadership in Energy and Environmental Design*. Essa certificação surgiu em 1998 através do Conselho americano de Construções Sustentáveis (tradução livre de *US Green Building Council*) e é atualmente o sistema mais popular para classificação de prédios sustentáveis no mundo (AWADH, 2017).

A última revisão do LEED – versão 4 – apresentada em 2014, possui quatro diferentes níveis: *Certified; Silver; Gold; Platinum*. Cada uma delas é representada em função da

pontuação obtida pela edificação, conforme Figura 9. Além disso, a certificação LEED é dada a diferentes setores, como por exemplo, construções novas, projetos de *retrofit* completo e bairros sustentáveis.

Figura 9. Classificação LEED de acordo com a pontuação
Fonte: GBC BRASIL (2017).

Para que um dado projeto ou construção seja caracterizado como sustentável, de acordo com a certificação LEED, é necessário que uma quantidade de pontos totais mínimos considerando os seguintes critérios: localidade sustentável, uso eficiente da água, atmosfera e energia, materiais e recursos, inovação no design e prioridade regional, sejam atingidos.

Vale ressaltar que na versão 4, a pontuação foi redistribuída de forma a priorizar as ações relacionadas com os seguintes temas, em ordem de importância: mudanças climáticas (35%); saúde (20%); recursos hídricos (15%); biodiversidade (10%); recursos naturais (10%); economia verde (5%); e comunidade (5%) (GBC BRASIL, 2017).

O certificado LEED pode ser concebido na conclusão da obra, via auditoria que verifica se os pré-requisitos e a pontuação, obtidos na fase de projeto, se mantêm. Esse certificado é o único concebido e é válido por dois anos, podendo ser renovado após reavaliação que levam em consideração a fase de operações.

Em se tratando dos programas de eficiência energética em edificações, têm-se alguns destaques no cenário mundial. No caso do Reino Unido, criou-se o Programa de Eficiência Energética com o selo *Display Energy Certificate* (DEC). Esse selo tornou-se obrigatório para os edifícios públicos e através dele são informados os dados do consumo energético e das emissões de gases do efeito estufa da construção. A classificação varia do nível A, mais eficiente, até o nível G de menor eficiência. A Figura 10 representa o selo DEC (DCLG, 2015).

Figura 10. Certificado de desempenho energético de Reino Unido.

Fonte: DCLG (2015).

Em Portugal tem-se o Programa para a Eficiência Energética em Edifícios (P3E). Nesse programa foram criados o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios e o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. Esses regulamentos indicam os níveis de desempenho de edifícios e foram fundamentais para a atuação do P3E no país (CARLO; LAMBERTS, 2010). A Figura 11 apresenta o modelo do selo emitido para o caso dos edifícios de comércio e de serviço de Portugal (SCE, 2019).

Figura 11. Certificado de desempenho energético de Portugal.

Fonte: SCE (2019).

No Brasil, o governo, dentro das linhas de ação desenvolvidas voltadas para EE, lançou as certificações e os programas de EE. A primeira certificação de destaque no cenário nacional é conhecida como Alta Qualidade Ambiental (AQUA). Esse certificado é resultado de uma parceria entre a Fundação Vanzolini e o *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*, Instituto Francês referência mundial na construção civil, com a cooperação dos professores do Departamento de Engenharia de Produção e de Engenharia de Construção Civil da Politécnica da Universidade de São Paulo.

A certificação AQUA é uma adaptação da certificação francesa HQE, *Haute Qualité Environnementale*, para a realidade brasileira. Ela pode ser definida como um processo de gestão de projeto que permite um novo empreendimento ou um empreendimento reformado ter qualidade ambiental (MACIEL; NASCIMENTO, 2010).

De acordo com a certificação francesa a qualidade ambiental estaria relacionada à

[...] qualidade ambiental do edifício e dos seus equipamentos (em produtos e serviços) e os restantes conjuntos de operação, de construção ou adaptação, que lhe conferem aptidão para satisfazer as necessidades de dar resposta aos impactos ambientais sobre o ambiente exterior e a criação de ambientes interiores confortáveis e sãos (PINHEIRO, 2006, p. 171).

O desempenho ambiental de uma construção, na certificação AQUA, é avaliado considerando a natureza arquitetônica, a técnica e sua gestão. O sistema de gestão do empreendimento (SGE) e o referencial de qualidade ambiental do edifício (QAE) constituem os instrumentos dessa certificação (MACIEL; NASCIMENTO, 2010).

Diferentemente do sistema de certificação LEED, o sistema AQUA estabelece catorze critérios de análise e, em cada um deles, a edificação pode receber a qualificação de bom, superior ou excelente. O programa de necessidades, o projeto e a construção no seu estado final são as fases analisadas nesse processo. O uso e a operação da edificação não são etapas contempladas nesse processo, porém são incorporados elementos que facilitam o desempenho ambiental pós-obra (MACIEL; NASCIMENTO, 2010).

No que tange a gestão de energia, o processo verifica o uso de energias renováveis; a redução do consumo de energia não renovável; a concepção arquitetônica, que favoreça a iluminação natural; e a produção de água quente. O certificado final é válido por um ano não havendo possibilidade de renovação. A justificativa para a não renovação é o fato de todos os elementos necessários ao bom desempenho já se encontrarem na edificação.

Outra certificação brasileira, porém, criada exclusivamente para a realidade da construção habitacional nacional, é chamada de Selo Casa Azul. Esse selo constitui uma classificação socioambiental de empreendimentos residenciais da Caixa Econômica Federal e foi desenvolvido por uma equipe multidisciplinar da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em parceria com as Universidades Federal de Santa Catarina e Estadual de Campinas.

O Selo Casa Azul tem três níveis de classificação: bronze, prata e ouro. O empreendimento é analisado quanto às soluções eficientes aplicadas à construção, ao uso, à ocupação e à manutenção da edificação. Dentre os objetivos desse selo, pode-se citar o incentivo ao uso racional dos recursos naturais, a redução do custo de manutenção dos edifícios e das despesas mensais dos usuários, bem como a conscientização das vantagens de uma construção sustentável (GRÜNBERG *et al.*, 2014). A Figura 12 apresenta os selos dessa certificação brasileira.

Figura 12. Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal.

Fonte: CBCS (2010).

Considerando os programas de eficiência energética em edificações no Brasil, pode-se citar o *PROCEL EDIFICA*. Esse programa é uma vertente desenvolvida pelo PROCEL direcionada para as edificações nacionais. O principal objetivo desse programa é identificar o nível de Eficiência Energética desses edifícios. Esses níveis variam desde o mais eficiente, nível A de EE, até o menos eficiente, nível E de EE.

O nível de EE pode ser identificado tanto na fase de projeto quanto na construção final, e também no caso das construções reformadas. Lembrando-se que em todos estes casos, os edifícios devem atender a todas as normas da ABNT vigentes e aplicáveis (MACIEL; NASCIMENTO, 2010).

São avaliados, no caso dos edifícios comerciais e públicos, os critérios de eficiência para três sistemas da construção, *o da envoltória, de iluminação e de condicionamento de ar*. No caso das construções residenciais, verifica-se o *sistema da envoltória*, de aquecimento de água e os sistemas das áreas comuns, como elevadores, bombas centrífugas, entre outros. A classificação geral do edifício é determinada pela ponderação dos níveis de EE obtidos pelos sistemas individuais, que estão relacionados ao desempenho *da envoltória, do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento de ar*, sendo 30%, 30% e 40% respectivamente.

A classificação geral com o nível de EE encontrado para o projeto ou construção é identificado por uma etiqueta. Essa etiqueta, chamada de Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), é emitida através de uma parceria entre o INMETRO e o PBE, que possui uma vertente para edificações chamada de PBE Edifica. Caso os três sistemas supracitados tenham nível A de EE, essa etiqueta recebe o nome de Selo PROCEL de Edificações. A Figura 13 apresenta o modelo da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para a fase de projeto. A Figura 14 apresenta o modelo da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para a fase da construção finalizada.

INMETRO PBE Edifica		Eficiência Energética Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas	
Edificação: XXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX Endereço: XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX Cidade/UF: XXXXX/XX Zona Bioclimática: X Portaria RTO-C: XXXXX Portaria RAC: XXXXX Método de avaliação: XXXXX Data da ENCE de projeto: XX/XX/XXXX		<div> Etiqueta PROJETO </div> <div> Etiqueta EDIFICAÇÃO CONSTRUÍDA </div>	
<div> <p>Mais eficiente</p> <div> <div>A</div> <div>B</div> <div>C</div> <div>D</div> <div>E</div> </div> <p>Menos eficiente</p> </div> <div> </div>			
<div> <p>O nível de eficiência energética alcançado deve ser confirmado pela</p> <p>ETIQUETA DA EDIFICAÇÃO CONSTRUÍDA</p> </div>			
Pré-requisitos gerais <ul style="list-style-type: none"> - Circuitos elétricos - Aquecimento de água Bonificações: X,XX <ul style="list-style-type: none"> - Racionalização de água: x,xx - Aquecimento solar de água: x,xx - Energia eólica: x,xx - Energia solar fotovoltaica: x,xx - Sistemas de cogeração e inovações técnicas ou de sistemas: x,xx - Elevadores: x,xx 		Envoltória Área total: xxx,xx m² Iluminação Edificação ou parcela Área iluminada: xxx,xx m² Condicionamento de ar Edificação ou parcela Tipo: xxxxxxxxxxxxxx ANC: xxx,xx m³ AC: xxx,xx m³ EqNumV: xx,x
Observações: <p>1 - A Etiqueta de Projeto tem validade de 5 anos ou até a conclusão da construção da edificação</p> <p>2 - Para verificar a validade da etiqueta consulte a página eletrônica do INMETRO: www.inmetro.gov.br</p>

Figura 13. ENCE geral de projeto.

Fonte: INMETRO (2010).

Figura 14. ENCE geral da edificação construída.

Fonte: INMETRO (2010).

Para o processo de classificação do nível de EE de edificações, no ano de 2009 foram criados dois regulamentos: (i) o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos conhecido como “RTQ-C”, com as documentações complementares; e (ii) o Regulamento da Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, conhecido como “RAC-C”. Em seguida foi criado um Manual de aplicação do RTQ-C com o objetivo de facilitar a aplicação desse regulamento. Dois anos depois, em 2011, divulgaram-se os regulamentos destinados às residências, o “RTQ-R” e o “RAC-R”.

Vale ressaltar que os regulamentos brasileiros de eficiência energética, RTQ-C e RTQ-R, estão sofrendo modificações desde 2012 devido a limitações encontradas nesses regulamentos ora vigentes. No caso do RTQ-C, a nova proposta considera, dentre outras modificações, o consumo de energia primária da edificação, bem como o impacto de emissões de CO₂ da mesma. A determinação da classe de Eficiência Energética da construção passaria a considerar a energia primária proveniente do consumo das energias elétrica e térmica (CB3E, 2017).

O programa *PROCEL EDIFICA* é reconhecido como uma metodologia de identificação da classificação do desempenho, tendo em vista que mesmo as construções com os piores desempenhos podem ser etiquetadas. Diante desse contexto, como forma de incentivar as construções à atingirem nível máximo de eficiência, ou seja, o nível A, no ano de 2014, surgiu a certificação chamada Selo PROCEL de Edificações. Esse Selo faz parte do programa *PROCEL EDIFICA*. Essa certificação é concedida apenas para os edifícios que obtiverem a maior classificação de eficiência. Para o caso das construções novas e reformadas do âmbito da Administração Pública Federal tal selo tem caráter compulsório, conforme determina a Instrução Normativa nº 2/2014 do MPOG.

No território nacional já haviam sido etiquetados pelo Selo PROCEL de Edificações cerca de 102 projetos e 70 edificações construídas até o ano de 2016. Dentre as edificações construídas e os projetos que já etiquetados pelo método RTQ-C no Brasil nesse período, o maior número de projetos encontrava-se localizado no estado de São Paulo. Considerando as construções prontas, o estado de São Paulo também se destacou juntamente com o estado da Bahia (LAMBERTS, 2017).

Incentivado pelo *PROCEL EDIFICA*, o Exército Brasileiro criou o Programa EB Sustentável no ano de 2019. Esse programa é uma iniciativa da Força Terrestre para atuar no uso eficiente de energia e de água, de materiais sustentáveis e na redução de resíduos e poluição gerados no âmbito das Organizações Militares. As diretrizes do programa foram descritas em um Caderno de Orientações: Ações para Redução de Custos com Energia Elétrica e Água em Organizações Militares e Próprios Nacionais Residenciais do Exército (DOM, 2019). A Figura 15 mostra o logotipo que identifica o programa.

Figura 15. Programa EB Sustentável.
Fonte: DOM (2019).

Com relação ao uso eficiente da energia, o programa estabelece soluções para a redução dos dispêndios com energia. Dentre elas o controle do consumo de energia, a gestão da energia, a aplicação de medidas de eficiência energética em edificações existentes e novas, a implantação de geração distribuída e de sistemas isolados de energia.

Antes da criação desse programa, existiam iniciativas independentes no sistema militar. Os ajustes no contrato de fornecimento de energia, as mudanças de hábitos dos usuários militares, a instalação de banco de capacitores, o uso de aquecedores solares, a substituição de lâmpadas existentes por LED, a etiquetagem por meio do programa *PROCEL EDIFICA* e a geração de energia fotovoltaica são alguns dos exemplos dessas iniciativas.

Com relação ao consumo e a gestão da energia, o programa orienta que cada OM realize um estudo das demandas de fornecimento de energia contratadas baseado nas análises das faturas de energia elétrica durante o período mínimo de um ano dessas organizações.

Em se tratando da implementação de medidas de eficiência para edificações novas e existentes pode-se citar a utilização de lâmpadas LED que possuam Selo PROCEL “A” no sistema de iluminação. Além disso, para o sistema de climatização, enfatizam-se a aquisição de

equipamentos com Selo PROCEL “A”, mudanças no modo de uso dos equipamentos e o correto dimensionamento dos equipamentos por ambiente no qual estão instalados. Para o caso das câmaras frias, de equipamentos eletrônicos e de chuveiros elétricos, a cartilha determina maneiras de utilização desses que reduzem o consumo de energia elétrica. Além disso, é proposto que os chuveiros elétricos sejam substituídos, sempre que possível, por sistemas de aquecimento de água por energia solar (DOM, 2019).

Em se tratando da geração distribuídas, a Diretoria de Obras Militares (DOM) tem incentivado projetos que utilizem essa alternativa de geração de energia elétrica. Algumas Organizações Militares já têm realizado esse tipo de geração. Dentre elas destacam-se o Hospital Militar de Área de Campo Grande, no estado de Mato Grosso do Sul, com uma potência instalada de 13kW e com 25 MWh gerados por ano e o Quartel General do Exército em Brasília, no Distrito Federal, com 92kW de potência instalada e com 150 MWh gerados por ano.

Com relação a etiquetagem de edificações, no sistema militar existem duas construções com o Selo PROCEL Edificações. Uma delas refere-se ao nível de EE de uma edificação construída, o Pavilhão Comando do 5º Regimento de Carros de Combate em Rio Negro e a outra, ao nível de EE do projeto do Pavilhão Comando do 34º Batalhão de Infantaria Mecanizado em Foz no Iguaçu, ambos no estado do Paraná.

No caso da edificação construída etiquetada, ressalta-se o uso da água da chuva para vasos sanitários, mictórios e torneiras do jardim e a contribuição da luz natural. Para o projeto, supracitado, considerou-se o uso de equipamentos eficientes, para o sistema de condicionamento de ar, e o sistema de iluminação, contou com a contribuição da luz natural (DOM, 2019).

Por se tratar de um programa incipiente, não é possível ainda verificar resultados das medidas de eficiência estabelecidas. Há um amplo espectro de organizações militares existentes que ainda não implementaram as ações de EE. Quanto à eficiência em fase de projeto, arquitetos e engenheiros militares estão sendo capacitados para que os novos projetos atendam aos requisitos estabelecidos pelo *PROCEL EDIFICA* e também possam ser etiquetados com o maior nível de EE, o nível A.

3 ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DO AQUARTELAMENTO DO CAMBUCI À LUZ DA LITERATURA

Para a realização da análise do nível de eficiência energética do *Aquartelamento do Cambuci*, o Capítulo 3 inicia-se com a apresentação da estrutura metodológica da pesquisa. O referencial metodológico do programa de EE escolhido, o *PROCEL EDIFICA*, é descrito de forma detalhada. Posteriormente, o objeto do estudo de caso, o *Aquartelamento da Comissão Regional de Obras do Estado de São Paulo*, tem suas características construtivas levantadas, bem como a dos seus sistemas energéticos— *da envoltória, de iluminação e de condicionamento de ar*.

Em seguida, é verificado o nível de EE parcial para cada um destes sistemas supracitados e para a edificação do Aquartelamento como um todo. Com isso, ainda neste Capítulo, a questão central do trabalho é respondida, qual seja, se o *Aquartelamento do Cambuci* atende aos requisitos técnicos de maior nível de eficiência, de acordo com a metodologia do *PROCEL EDIFICA*. Este capítulo se encerra com as propostas de melhorias para os sistemas energéticos analisados do Aquartelamento, a fim de que o mesmo possa funcionar ao nível de EE desejável; com redução do consumo de energia elétrica da construção e do dispêndio financeiro a ele associado.

3.1 Estrutura metodológica da análise

A abordagem metodológica utilizada no estudo de caso partiu inicialmente da escolha da metodologia de avaliação de EE que seria empregada na análise. Assim, selecionou-se um dos programas de EE existentes, o *PROCEL EDIFICA* por seu caráter objetivo e prático e por sua vertente voltada à construção civil. Isso foi feito após terem sido apresentadas as certificações sustentáveis e os programas de eficiência em edificações de maior relevância.

O passo a passo da metodologia do programa escolhido para analisar o nível de EE está descrito no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). O detalhamento desse passo a passo será apresentado nas subseções a seguir.

A partir daí, segue-se para a análise do objeto desse estudo de caso escolhido, que é o *Aquartelamento da Comissão Regional de Obras de São Paulo*. Para essa edificação são identificadas as características gerais e específicas dos três sistemas – *sistema da envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar*. Tendo sido feita essa identificação, é realizada a análise parcial do nível de EE do Aquartelamento, referente a cada um dos sistemas supracitados. Por fim, é possível obter-se o nível geral de EE final, à luz do *PROCEL EDIFICA*.

Com base no resultado da análise, são propostas melhorias para o nível de EE obtido e para a diminuição do consumo de energia elétrica. Essa proposta também tem como consequência positiva a redução dos recursos públicos destinados ao pagamento pelos serviços de energia elétrica do Aquartelamento. A Figura 16 resume as etapas metodológicas seguidas.

Figura 16. Estrutura metodológica do estudo de caso

Fonte: Elaboração própria.

3.2 Referencial metodológico do *PROCEL EDIFICA*

O referencial metodológico do programa do *PROCEL EDIFICA*, para edificações públicas, encontra-se descrito no RTQ-C. Ele foi estabelecido pela Portaria n. ° 372/2010 e pelas Portarias complementares n. ° 17/2012, 299/2013 e 126/2014 do INMETRO. Foi elaborado, ainda em 2010, um manual para facilitar o entendimento do método de cálculo apresentado no referencial metodológico descrito no RTQ-C. Esse manual teve sua versão atualizada em junho de 2016, baseada nas portarias citadas.

A finalidade do RTQ-C é especificar os requisitos técnicos necessários para a classificação do nível de EE dos edifícios. Essa classificação trata do nível de EE dos *sistemas da envoltória, de iluminação e de condicionamento de ar* da construção, separadamente, que resultam numa classificação geral da edificação. Para essa classificação geral, considera-se, além desses sistemas, uma variável relativa a bonificações, que são pontos extras que variam de 0 a 1 e equivalem ao uso de estratégias que elevam o nível de EE da edificação.

Pode-se utilizar mais de uma estratégia visando alcançar um ponto de bonificação. Os sistemas podem ser utilizados simultaneamente em porcentagens menores que as citadas no RTQ-C, pois a pontuação será calculada de forma proporcional à economia comprovada e as bonificações de cada sistema serão somadas de forma alcançar no máximo um ponto (ELETROBRAS, 2016, p.84).

Dentre os edifícios classificados nesse regulamento estão os comerciais, de serviços e públicos: escolas; instituições ou associações de diversos tipos; hospitais; postos de saúde; clínicas; bancos; escritórios e edifícios empresariais; e instituições ou organizações públicas municipais, estaduais e federais.

Segundo o manual do RTQ-C, existem dois métodos possíveis para que seja realizada a classificação do nível de EE de um edifício. O primeiro deles, chamado de método prescritivo, é um procedimento analítico que consiste na aplicação de equações matemáticas para os edifícios condicionados. Estas equações têm parâmetros bem definidos com dados de entrada relacionados às características construtivas da *envoltória, da iluminação e do condicionamento do ar* da edificação. A classificação final do nível de EE é obtida com a pontuação total final resultante dessas equações. Segundo Carlos e Lamberts (2010), esse método é simplificado, porém é aplicado a maioria das edificações do Brasil, sendo comerciais, de serviços e públicas, e em qualquer cidade desde que definida a zona bioclimática na qual a edificação está inserida.

O segundo método é o chamado de simulação. Associado ao método prescritivo, ele simula o desempenho termo energético de edifícios condicionados e não condicionados. Ele realiza, dessa forma, uma comparação de desempenho entre uma edificação real e outra hipotética, por meio do uso de um software específico (BARRETO, 2016). De acordo com o manual de aplicação do RTQ-C, essa metodologia é a mais utilizada para os casos de maior liberdade nos projetos de construção, com inserção de inovações tecnológicas e de novas soluções não previstas inicialmente no RTQ-C, por exemplo.

Ambos os métodos devem atender aos requisitos relativos ao desempenho da envoltória, à eficiência e potência instalada no sistema de iluminação e à eficiência do sistema de condicionamento de ar individualmente. A análise do nível de EE da envoltória obriga que seja realizada considerando a edificação inteira, já para os outros dois sistemas, o nível pode ser estabelecido por pavimento ou conjunto de salas.

Com a análise do nível de EE de uma edificação, utilizando uma das metodologias prevista no RTQ-C, é possível que a construção obtenha uma etiqueta identificando o seu nível de EE. Essa etiqueta, conhecida como Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), é emitida pelo INMETRO, através seu Programa Brasileiro de Etiquetagem. Essa classificação, representada na ENCE, pode atingir até cinco níveis de eficiência. Esses níveis são obtidos pela aplicação do Regulamento, tanto para as classificações parciais dos sistemas supracitados – *envoltória, iluminação e condicionamento de ar* – quanto para a classificação geral. Os níveis variam do mais eficiente, nível A, para o menos eficiente nível E. Cada um desses níveis é identificado por um equivalente numérico (*EqNum*), conforme a Tabela 3 (ELETROBRAS, 2016).

Tabela 3. Equivalente Numérico (*EqNum*) de cada nível de eficiência

Nível de EE	<i>EqNum</i>
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: ELETROBRAS (2016).

A classificação geral do edifício é calculada de acordo com um percentual de cada classificação parcial dos sistemas, somadas às bonificações, que resultam numa pontuação total

(PT). O percentual, em questão, é atribuído da seguinte forma: 30% para o sistema da envoltória, 30% para o sistema de iluminação e 40% para o sistema de ar condicionado de ar. A equação (1) apresenta como é calculada a pontuação final da construção.

$$PT = 0,30 * \left\{ \left(EqNumEnv * \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} * 5 + \frac{ANC}{AU} * EqNumV \right) \right\} + 0,3 * (EqNumDPI) + \quad (1)$$

$$0,4 * \left\{ \left(EqNumCA * \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} * 5 + \frac{ANC}{AU} * EqNumV \right) \right\} + b$$

Dentre as variáveis utilizadas na equação citam-se os equivalentes numéricos de cada um dos sistemas individuais, associados ao nível de EE parcial de cada um. Esses equivalentes são: o Equivalente Numérico da Envoltória (*EqNumEnv*), o Equivalente Numérico da Densidade de Potência de Iluminação (*EqNumDPI*) e o Equivalente Numérico do Condicionamento de Ar (*EqNumCA*). As bonificações são representadas pela variável *b*. O Equivalente Numérico de Ventilação (*EqNumV*) trata de ambientes não condicionados, ou ventilados naturalmente. Porém, só é necessário calculá-lo se existirem, na edificação, ambientes de permanência prolongada que tenham ventilação natural. O número de pontos obtidos na equação (1) definirá a classificação geral do nível de EE do edifício, conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Classificação geral do nível de eficiência

Pontuação Total	Classificação final
$\geq 4,5$ a $5,0$	A
$\geq 3,5$ < $4,5$	B
$\geq 2,5$ < $3,5$	C
$\geq 1,5$ < $2,5$	D
< $1,5$	E

Fonte: ELETROBRAS (2016).

Após a classificação do nível de EE final do edifício, para ele ser elegível a etiquetagem, alguns pré-requisitos mínimos gerais devem ser cumpridos. O primeiro deles relaciona-se aos circuitos elétricos da construção. Para ser enquadrado no nível A ou B, deve haver a separação de circuitos elétricos por uso final da energia ou um equipamento que possa fazer a medição de consumo de energia elétrica desses circuitos separadamente. Esse equipamento seria um analisador de energia.

O segundo deles relaciona-se ao aquecimento de água em edificações em que mais de 10% da demanda de energia elétrica é destinada a esse fim. Para obter o nível A, 100% da demanda de água quente deve ser atendida por um sistema de aquecimento solar, aquecedores a gás do tipo instantâneo, sistema de aquecimento de água por bombas de calor ou caldeira a gás. Para o nível B, 70% ou mais da demanda deve ser atendida por uma dessas quatro opções.

Já para o nível C, os edifícios devem possuir os sistemas de aquecimento solar e a gás para atender até 70% da demanda de água e serem complementados por sistemas elétricos. No caso dos edifícios que tenham apenas aquecimento de água por sistema elétricos, o nível máximo que podem atingir é o C, desde que atendam aos pré-requisitos a seguir, quando for o caso:

- Aquecedores elétricos de passagem, chuveiros elétricos e torneiras elétricas devem possuir eficiência energética superior a 95%; participar do Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE/INMETRO, e possuir potência menor ou igual a 4.600W;
- Aquecedores elétricos de hidromassagem devem possuir eficiência energética superior a 95%; participar do Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE/INMETRO; e possuir potência menor ou igual a 5.000W;
- Aquecedores elétricos por acumulação (boiler) devem possuir etiqueta com classificação A, segundo regulamento específico do PBE/INMETRO.

O terceiro, e último pré-requisito geral, trata do isolamento de tubulações hidráulicas, destinadas ao aquecimento de água, que deve ser atendido pelos níveis A e B. Nesse pré-requisito, é especificado o isolamento térmico que as tubulações metálicas para água quente devem possuir. A espessura mínima, em centímetros (cm), está informada na Tabela 5, de acordo com o diâmetro nominal da tubulação, em milímetro (mm). Para tubulações não metálicas, a espessura mínima do isolamento deve ser de 1,0 cm, para qualquer diâmetro nominal de tubulação, com condutividade térmica entre 0,032 W/m.K e 0,040 W/m.K (INMETRO, 2012).

Tabela 5. Espessura mínima (cm) de isolamento de tubulações para o aquecimento de água

Temperatura da água (°C)	Condutividade do isolamento		Diâmetro nominal da tubulação	
	Condutividade térmica (W/m.K)	Temperatura de ensaio (°C)	< 40 mm	≥ 40 mm
T ≥ 38	0,032 a 0,040	38	1,0 cm	2,5 cm

Fonte: INMETRO (2012).

Após a verificação dos pré-requisitos gerais que são atendidos ou não pela construção, é possível obter a classificação final do edifício quanto ao seu nível de EE.

Para iniciar a análise dos níveis de EE parciais da construção, conforme o RTQ-C, alguns parâmetros físicos da edificação precisam ser levantados. Dentre eles tem-se a Área de projeção do edifício (A_{pe}), que é a média das áreas dos pavimentos da construção, excluindo-se subsolos, e a Área total construída (A_{tot}), que é a soma das áreas do piso dos ambientes fechados da construção, medidas externamente, em metros quadrados (m^2).

Além desses parâmetros, tem-se: a Área da envoltória da construção (A_{env}), que é a soma das áreas das fachadas, e a Área de projeção da cobertura (A_{pcob}), que é a área da projeção horizontal da cobertura no plano horizontal. Por fim, o Volume total da edificação (V_{tot}), que é o volume, em metros cúbicos (m^3), delimitado pelos fechamentos externos do edifício (fachadas e cobertura), com exceção de pátios internos descobertos (ELETROBRAS, 2016).

As subseções a seguir apresentam o método de cálculo dos equivalentes numéricos para cada um dos três sistemas analisados no RTQ-C, de acordo com o índice de consumo de cada um. Além disso, são descritas algumas bonificações que podem melhorar a pontuação final do edifício e, conseqüentemente, o seu nível de EE. A classificação geral inclui todos os sistemas mais bonificações e refere-se ao edifício completo.

3.2.1 Método de cálculo do nível de EE para o sistema da envoltória

O método de cálculo para obter o nível eficiência do *sistema da envoltória*, a partir da obtenção do Equivalente Numérico da Envoltória ($EqNumEnv$) e dos pré-requisitos específicos desse sistema, que necessitam ser atendidos, é apresentado a seguir.

O *sistema da envoltória* trata das características físicas, essencialmente das fachadas e da cobertura de uma construção. Os pré-requisitos necessários para esse sistema são três. O primeiro deles está relacionado a *transmitância térmica* da cobertura e das paredes externas; o segundo às cores e à *absortância térmica* das superfícies externas e o terceiro à *iluminação zenital*. Para que o nível A de EE seja alcançado, os três pré-requisitos devem ser atendidos, para o nível B somente os dois primeiros e para o nível C e D somente o primeiro. Para verificar

em qual nível uma construção se enquadra, de acordo com os pré-requisitos atendidos, foram determinados limites pelo RTQ-C para cada um deles (CALDEIRA, 2011).

A *transmitância térmica*, da cobertura e de componentes opacos da fachada, corresponde a transmissão de calor em unidade de tempo em uma área unitária de elemento ou componente construtivo. Um dos métodos de cálculo de transmitância adotado pelo RTQ-C é o estabelecido na norma NBR 152202. A unidade de medida para a *transmitância térmica* (U) é “W/m²K” (ABNT, 2005).

Com relação a *absortância térmica* (α), segundo a norma NBR 15220-1, ela é calculada pelo “quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. ” (ABNT, 2005). Já a *iluminação zenital* está relacionada à porção de luz natural produzida pela luz que entra através dos fechamentos superiores dos espaços internos (ABNT, 2003).

Tratando-se dos limites para a *transmitância térmica* da cobertura de uma construção, para cada nível de EE, consideram-se os ambientes condicionados artificialmente e os não condicionados, bem como as zonas bioclimáticas. Dessa maneira, tem-se que:

- Nível A, a cobertura não pode ultrapassar, nas zonas bioclimáticas 1 (ZB-1) e 2 (ZB-2), o valor de transmitância 0,5W/m²K, para o caso de ambientes condicionados artificialmente, e 1,0W/m²K, para ambientes não condicionados. Nas zonas bioclimáticas de 3 (ZB-3) a 8 (ZB-8), esses valores são de 1,0W/m²K, para o caso de ambientes condicionados artificialmente e de 2,0W/m²K para ambientes não condicionados;
- Nível B, para as zonas 1 (ZB-1) e 2 (ZB-2) os valores são de 1,0 W/m²K e de 1,5W/m²K para o caso de ambientes condicionados artificialmente e para ambientes não condicionados, respectivamente. Nas zonas de 3 (ZB-3) a 8 (ZB-8) esses valores são de 1,5W/m²K e 2,0W/m²K, respectivamente;
- Níveis C e D, o valor máximo permitido para ambos os tipos de ambientes é de 2,0W/m²K.

Para o caso das coberturas, que possuam mais de um tipo de material construtivo em sua composição, o valor final da transmitância é determinado pela média ponderada das transmitâncias de cada um dos materiais existentes por suas áreas.

Com relação à *transmitância térmica* das paredes externas da construção, a zona bioclimática em que está localizada é o fator determinante dos limites de cada nível. Com isso tem-se que:

- Nível A, as zonas 1 (ZB-1) e 2 (ZB-2) tem transmitância média máxima admitida de $1,0\text{W/m}^2\text{K}$. Para as zonas 3 a 6 este valor é de $3,7\text{ W/m}^2\text{K}$. No caso das zonas 7 (ZB-7) e 8 (ZB-8), tendo as paredes capacidade térmica máxima de $80\text{kJ/m}^2\text{K}$, o valor máximo permitido é de $2,5\text{W/m}^2\text{K}$; e $3,7\text{W/m}^2\text{K}$ para as paredes com capacidade térmica máxima acima de $80\text{kJ/m}^2\text{K}$;
- Nível B, somente o valor das zonas 1 (ZB-1) e 2 (ZB-2) é alterado para transmitância média máxima admitida de $2,0\text{W/m}^2\text{K}$, as demais zonas seguem os valores estabelecidos no nível A;
- Níveis C e D seguem os limites máximos de $3,7\text{ W/m}^2\text{K}$ para as zonas de 1 (ZB-1) a 6 (ZB-6); e as demais zonas seguem os valores estabelecidos no nível A (ELETROBRAS, 2016).

O segundo pré-requisito deste sistema trata das cores e da *absortância térmica* para as paredes externas e para a cobertura da construção. No caso das paredes, para as zonas bioclimáticas 2 (ZB-2) a 8 (ZB-8), o nível A limita a *absortância* a valores menores que 0,5 para os materiais externos, onde incide radiação solar. Por se tratar de uma zona fria, a zona bioclimática 1 (ZB-1) não tem limitação quanto a *absortância* a fim de que a radiação seja aproveitada nos períodos de inverno.

O nível B só estabelece limites para a superfície da cobertura da construção. Nesse caso, deverão ser utilizadas cores de *absortância* também com valor menor que 0,5. Pode-se citar o uso, nessa situação, de telhas cerâmicas não esmaltadas, teto jardim ou reservatórios de água, por exemplo.

No que tange ao último pré-requisito, a *iluminação zenital*, só existem limites determinados para os níveis A e B de EE. Além disso, ambos estabelecem uma relação numérica entre o Fator Solar ¹(FS) de vidros e o Percentual de Abertura Zenital ²(PAZ) para coberturas.

¹ Fator Solar é a razão entre o ganho de calor que entra num ambiente através de uma abertura e a radiação solar incidente nesta mesma abertura;

² Percentual de Abertura Zenital é a relação entre a área de abertura zenital e a área total da cobertura (PRADO, 2018) .

Os limites para essa relação são apresentados na Tabela 6. Caso o percentual encontrado para construção seja maior que 5%, faz-se necessário o uso de simulação computacional.

Tabela 6. Limites da relação entre percentual de abertura zenital e fator solar de vidros para coberturas.

PAZ	0 a 2%	2,1 a 3%	3,1 a 4%	4,1 a 5%
FS	0,87	0,67	0,52	0,3

Fonte: INMETRO (2010).

Após a apresentação dos pré-requisitos específicos do *sistema de envoltória*, é descrito o método de cálculo para obtenção do $EqNumEnv$ e, conseqüentemente, o nível de EE parcial da construção nesse sistema. O primeiro passo do método é o cálculo o índice de consumo da envoltória ($ICenv$) do edifício. Existem duas equações possíveis, por zona bioclimática, para determinar esse índice.

A primeira é utilizada para os edifícios com Área de projeção (Ape) da construção maior que 500 m², a segunda para edifícios com Ape menor ou igual a 500 m². Para a primeira é determinado um Fator Forma (FF) mínimo limite e para a segunda um Fator Forma (FF) máximo limite, para a construção. Cada uma delas está descrita a seguir.

Para a zona bioclimática ZB-1: a equação (2) para área maior que 500m² e FF mínimo de 0,17; e a equação (3), área menor ou igual a 500m² e FF máximo de 0,6:

$$ICenv = 10,47 * FA + 298,74 * FF + 38,41 * PAFt - 1,11 * FS - 0,11 * AVS + 0,24 \quad (2)$$

$$* AHS - 0,54 * AHS * PAFt + 47,93$$

$$ICenv = -43,00 * FA - 316,62 * FF + 16,83 * PAFt + 7,39 * FS - -0,20 * AVS + 0,20 \quad (3)$$

$$* AHS + 132,5 * \frac{FA}{FF} - 77,00 * FA * FF - 0,92 * PAFt * FF * AHS$$

$$+ 182,66$$

Para as zonas bioclimáticas ZB-2 e ZB-3: equação (4) para área maior que 500m² e FF mínimo de 0,15; e equação (5) para área menor ou igual a 500m² e FF máximo de 0,7:

$$ICenv = -14,14 * FA - 113,94 * FF + 50,82 * PAFt + 4,86 * FS - 0,32 * AVS + 0,26 \quad (4)$$

$$* AHS - \left(\frac{35,75}{FF}\right) - 0,54 * PAFt * AHS + 277,98$$

$$ICenv = -175,30 * FA - 212,79 * FF + 21,86 * PAFt + 5,59 * FS - 0,19 * AVS + 0,15 \quad (5)$$

$$* AHS + 275,19 * \left(\frac{FA}{FF}\right) + 213,35 * FA * FF - 0,04 * PAFt * FS * AVS$$

$$- 0,45 * PAFt * AHS + 190,42$$

Para as zonas bioclimáticas ZB-4 e ZB-5: a equação (6) para área maior que 500m² e FF mínimo livre; e a equação (7) para área menor ou igual a 500m² e FF máximo de 0,75:

$$ICenv = 511,12 * FA + 0,92 * FF - 95,71 * PAFt - 99,79 * FS - 0,52 * AVS - 0,29 \quad (6)$$

$$* AHS - 380,83 * FA * FF + \left(\frac{4,27}{FF}\right) + 729,20 * PAFt * FS + 77,15$$

$$ICenv = 105,39 * FA - 207,12 * FF + 4,61 * PAFt + 8,08 * FS - 0,31 * AVS - 0,07 \quad (7)$$

$$* AHS - 82,34 * FA * FF + 3,45 * PAFt * FS - 0,005 * PAFt * FS * AVS$$

$$* AHS + 171,27$$

Para as zonas bioclimáticas ZB-6 e ZB-8: a equação (8) para área maior que 500m² e FF mínimo de 0,17; e a equação (9) para área menor ou igual a 500m² e FF máximo de 0,48:

$$ICenv = -160,36 * FA + 1277,29 * FF - 19,21 * PAFt + 2,95 * FS - 0,36 * AV - 0,16 \quad (8)$$

$$* AHS + 290,25 * FF * PAFt + 0,01 * PAFt * AVS * AHS - 120,58$$

$$ICenv = 457,47 * FA - 1641,37 * FF + 33,47 * PAFt + 7,06 * FS + 0,31 * AVS - 0,29 \quad (9)$$

$$* AHS - 1,27 * PAFt * AVS + 0,33 * PAFt * AHS + 718$$

Para a zona bioclimática ZB-7: a equação (10) para área maior que 500m² e FF mínimo de 0,17; e a equação (11) para área menor ou igual a 500m² e FF máximo de 0,6:

$$ICenv = -69,48 * FA + 1347,78 * FF + 37,74 * PAFt + 3,03 * FS - 0,13 * AVS - 0,19 * AHS + \left(\frac{19,25}{FF}\right) + 0,04 * \left(\frac{AHS}{PAFt * FS}\right) - 306,3 \quad (10)$$

$$ICenv = 457,47 * FA - 1641,37 * FF + 33,47 * PAFt + 7,06 * FS + 0,31 * AVS - 0,29 * AHS - 1,27 * PAFt * AVS + 0,33 * PAFt * AHS + 718 \quad (11)$$

Dentre as variáveis utilizadas no cálculo do índice de consumo da envoltória tem-se: o Fator Forma (FF), Fator Altura (FA) e Fator Solar (FS). O FF é a razão entre a Área total da envoltória (*Aenv*) e o Volume total da construção (*Vtot*), já o FA é a razão da Área de projeção da cobertura (*Apcob*) e a Área total construída (*Atot*).

As variáveis relativas ao Ângulo Vertical de Sombreamento³ (*AVS*) e ao Ângulo Horizontal de Sombreamento⁴ (*AHS*) correspondem as proteções solares horizontais e verticais respectivamente existentes nas aberturas. As aberturas existentes na envoltória da edificação, como por exemplo, as janelas de vidro e portas, também são variáveis desta equação. Considera-se abertura toda e qualquer parte da fachada cujo material é transparente ou translúcido, que permite a passagem de luz e/ou radiação solar direta e/ou indireta para o interior da edificação. Suas arestas podem estar em contato com materiais opacos, transparentes ou translúcidos (INMETRO, 2010). A Figura 17 representa o *AVS* e *AHS* numa abertura da fachada da construção.

³AVS é o ângulo formado entre dois planos que contêm a base da abertura, o primeiro é o plano vertical na base da folha de vidro (ou material translúcido) e o segundo plano é formado pela extremidade mais distante da proteção solar horizontal até a base da folha de vidro (ou material translúcido);

⁴ AHS é o ângulo formado entre dois planos verticais: o primeiro plano é o que contém a base da folha de vidro (ou material translúcido) e o segundo plano é formado pela extremidade mais distante da proteção solar vertical e a extremidade oposta da base da folha de vidro (ou material translúcido) (ELETROBRAS, 2016)

Figura 17. Representação dos Ângulos horizontal (*AHS*) e vertical (*AVS*) de sombreamento em aberturas.

Fonte: Modificado de ELETROBRAS (2016).

Ainda tratando das aberturas da edificação, o Percentual de Abertura nas Fachadas total (*PAF_t*) também é uma variável considerada no cálculo do índice de consumo da envoltória. Esse percentual é obtido pela razão entre a soma das áreas de abertura envidraçada, ou com fechamento transparente ou translúcido, de cada fachada e a área total de fachada da edificação.

Dentre todas as fachadas de uma construção, a fachada oeste está sujeita a um maior índice de insolação a altas temperaturas. Dessa maneira é necessário verificar se o Percentual de Abertura da Fachada Oeste (*PAF_o*) é 20% maior que o Percentual de Abertura Total (*PAF*) nas fachadas. Caso isso aconteça, a variável que deve ser utilizada na equação para o cálculo do índice de consumo da envoltória é o de percentual encontrado para *PAF_o*.

Após a determinação do índice de consumo da envoltória, determinam-se os índices de consumo máximo e mínimo para a volumetria da construção. Para isso, é utilizada a mesma equação do *IC_{env}*, com os valores estabelecidos na Tabela 7.

Tabela 7. Parâmetros mínimos e máximos para o índice de consumo da envoltória

Índice de Consumo	<i>PAF_t</i>	<i>FS</i>	<i>AVS</i>	<i>AHS</i>
mínimo	0,05	0,87	0	0
máximo	0,6	0,61	0	0

Fonte: INMETRO (2010).

Os intervalos de índice de consumo da envoltória, máximos e mínimos para cada nível de eficiência energética, são definidos conforme a Tabela 8. A variável i , utilizada, é calculada conforme a equação (12). O nível de EE é encontrado enquadrando-se o IC_{env} , calculado nos limites expressos da Tabela 8.

$$i = (IC_{máx} - IC_{mín}) \div 4 \quad (12)$$

Tabela 8. Limites do índice de consumo da envoltória (IC_{env}) por níveis de EE

Limites para Índice de consumo	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D	Nível E
mínimo	-	$IC_{máx} - 3i + 0,01$	$IC_{máx} - 2i + 0,01$	$IC_{máx} - i + 0,01$	$IC_{máx} + 0,01$
máximo	$IC_{máx} - 3i$	$IC_{máx} - 2i$	$IC_{máx} - i$	$IC_{máx}$	-

Fonte: INMETRO (2010).

Com as informações citadas, e verificados os pré-requisitos atendidos ou não, é possível identificar em qual nível de EE o *sistema da envoltória* da construção se enquadra. Consequentemente, obtém-se o valor para o Equivalente Numérico da Envoltória, $EqNumEnv$, utilizando-se a relação da Tabela 3 (INMETRO, 2010).

3.2.2 Método de cálculo do nível de EE para o sistema de iluminação

O método de cálculo para obter o nível eficiência da iluminação e, consequentemente, o valor do $EqNumDPI$, bem como os pré-requisitos específicos do *sistema de iluminação*, que necessitam ser atendidos por nível, são apresentados a seguir. Segundo o manual RTQ-C (ELETROBRAS, 2016) a iluminação artificial é essencial para o funcionamento dos edifícios comerciais, permitindo o trabalho em locais distantes da fachada e em horários em que a luz natural não atinge os níveis de iluminação mínimos adequados.

De acordo com o referido manual é vital garantir níveis corretos de iluminação dentro dos ambientes internos dos edifícios para permitir o desempenho das tarefas por seus usuários em condições de conforto e salubridade. Por outro lado, o sistema de iluminação artificial consome energia e gera carga térmica. Esse calor precisa ser retirado dos ambientes obrigando

um maior gasto energético do sistema de condicionamento de ar, aumentando desta forma o consumo geral de energia da edificação.

Um edifício com um sistema eficiente de iluminação fornece os níveis adequados de iluminâncias para cada tarefa, consome o mínimo de energia, e também gera a menor carga térmica possível. Quanto maior o nível de eficiência desejado para a construção, maior é o número de pré-requisitos exigido. Os pré-requisitos do sistema de iluminação estão relacionados: à divisão dos circuitos de iluminação, à contribuição de luz natural e ao desligamento automático do sistema de iluminação (ELETROBRAS, 2016).

Para que o sistema atinja o nível A de eficiência, os três pré-requisitos devem existir nas instalações da construção; para o nível B, os pré-requisitos de divisão de circuitos e de contribuição da luz natural; já o nível C, somente necessita-se da divisão dos circuitos. A Tabela 9 apresenta em resumo os pré-requisitos definidos por nível de EE desse sistema.

Tabela 9. Pré-requisitos necessários para cada nível de EE no sistema de iluminação

Pré requisitos específicos	Nível de Eficiência Energética
Divisão dos circuitos de iluminação por ambientes maiores que 250m ² Contribuição da luz natural dos ambientes internos Desligamento automático do sistema de iluminação	Nível A
Divisão dos circuitos de iluminação por ambientes maiores que 250m ² Contribuição da luz natural dos ambientes internos	Nível B
Divisão dos circuitos de iluminação por ambientes maiores que 250m ²	Nível C

Fonte: Elaboração própria.

Antes de analisar os pré-requisitos específicos para esse sistema, é necessário calcular o índice de consumo do *sistema de iluminação*. Para esse cálculo, o regulamento do RTQ-C apresenta dois métodos: o da área do edifício e o das atividades desenvolvidas.

O primeiro método é utilizado para os casos em que pelo menos 30% das atividades realizadas na edificação são iguais, ou, para os casos onde são realizadas até três atividades principais diferentes. O segundo método verifica a atividade de cada ambiente separadamente e é aplicado para os casos em que o primeiro método não é atendido. Em ambos, é considerada a Densidade de Potência total de Iluminação (*DPI*).

A Densidade de Potência total de Iluminação é definida como a razão entre a densidade de potência total instalada por área (W/m²) para cada 100 lux de iluminância. Dessa maneira, é

expresso o consumo de potência por unidade de área com a consideração da distribuição do fluxo luminoso. A *DPI* tornou-se o parâmetro para limitar os níveis de eficiência do *sistema de iluminação* (CARLO; LAMBERTS, 2010).

Para o estabelecimento desses limites, foi utilizada como base, e adaptada para a realidade brasileira, a Norma 90.1 da AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). Essa norma estabelece limites de densidade de potência de iluminação interna para o edifício completo e para os ambientes separadamente, de acordo com as atividades exercidas em ambos (CARLO; LAMBERTS, 2010).

Os limites dessa norma foram determinados com base em um levantamento de dados de cerca de 5.000 edificações comerciais nos Estados Unidos da América, com diferentes áreas, atividades, materiais construtivos, fontes energéticas e formas de uso. No Brasil, o primeiro levantamento de dados foi realizado em 2005 e publicado parcialmente pelo PROCEL em 2007 como uma pesquisa de mercado. A Tabela 10 apresenta os limites máximos aceitáveis de *DPI* para cada nível de eficiência pretendido, no caso do método da área do edifício, de acordo com o RTQ-C (INMETRO, 2010).

Tabela 10. Limites máximos aceitáveis de densidade de potência de iluminação (DPI) para o nível de eficiência pretendido – Método da área do edifício, de acordo com o RTQ-C

Função do Edifício	Densidade de Potência de Iluminação limite Nível A (W/m ²)	Densidade de Potência de Iluminação limite Nível B (W/m ²)	Densidade de Potência de Iluminação limite Nível C (W/m ²)	Densidade de Potência de Iluminação limite Nível D (W/m ²)
Academia	9,5	10,9	12,4	13,8
Armazém	7,1	8,2	9,2	10,3
Biblioteca	12,7	14,6	16,5	18,4
Bombeiros	7,6	8,7	9,9	11
Cinema	8,9	10,2	11,6	12,9
Comércio	15,1	17,4	19,6	21,9
Correios	9,4	10,8	12,2	13,6
Escola/Universidade	10,7	12,3	13,9	15,5
Escritório	9,7	11,2	12,6	14,1
Ginásio	10,8	12,4	14	15,7
Hospital	13	15	16,9	18,9
Hotel	10,8	12,4	14	15,7
Igreja/Templo	11,3	13	14,7	16,4
Restaurante	9,6	11	12,5	13,9

Fonte: Modificado de INMETRO (2010).

Apresentados os pré-requisitos específico do sistema e os métodos de cálculo existentes, inicia-se o procedimento para obtenção do nível de EE do *sistema de iluminação* e, conseqüentemente, o seu *EqNumDPI* associado. Para o caso do método da área do edifício, o primeiro passo é identificar a Densidade de Potência de Iluminação limite (*DPIL*), de acordo com a atividade desenvolvida conforme a Tabela 10. Em seguida, determina-se a área iluminada do edifício e a potência elétrica total instalada do seu sistema de iluminação. Essa potência é a soma das potências elétricas instaladas em cada ambiente. O terceiro passo consiste em obter a potência elétrica limite por nível de eficiência específico da edificação através da equação (13).

$$Pot.Lim = \text{Área do Edifício (m}^2\text{)} * DPIL \quad (13)$$

Com a informação da potência elétrica total instalada e da potência elétrica total limite, obtém-se o nível de EE do *sistema de iluminação*. Os pré-requisitos, citados anteriormente, são verificados nesta etapa final. De modo que, o *EqNumDPI* seja ponderado considerando se os pré-requisitos são atendidos ou não. Com o nível de EE parcial e a relação da Tabela 3, obtém-se o valor do *EqNumDPI*, a ser utilizado no cálculo da pontuação total da construção (ELETROBRAS, 2016).

3.2.3 Método de cálculo do nível de EE para o sistema de condicionamento de ar

A determinação do nível de eficiência de um *sistema de condicionamento de ar* depende tanto do nível de eficiência dos equipamentos, quanto do cumprimento dos pré-requisitos desse sistema previstos no RTQ-C. O *sistema de condicionamento de ar* possui pré-requisitos apenas para nível A de EE, caso os pré-requisitos não sejam atendidos, o nível de eficiência desse sistema não poderá atingir esse nível máximo.

No caso dos edifícios comerciais, de serviço ou público, determina-se que essas construções devam ser condicionadas, parcialmente condicionadas ou não condicionadas, em seus ambientes de permanência prolongada. Caso o edifício possua áreas não condicionadas ou ventiladas naturalmente, é necessário que se comprove que esses ambientes possuem temperaturas de conforto adequadas para obterem sua classificação geral (ELETROBRAS, 2016).

São dois os pré-requisitos definidos para esse sistema. Um deles define limites para o isolamento térmico das tubulações de fluido, tanto para condicionamento de ar quanto para aquecimento artificial. O outro pré-requisito é analisado quando existir na edificação um sistema de aquecimento artificial. Neste caso, cada equipamento desse sistema de aquecimento deve atender aos indicadores mínimos de eficiência energética. Esses indicadores são definidos para os sistemas (i) de bombas de calor, (ii) unitários de condicionamento de ar com ciclo reverso e (iii) os de aquecedores de acumulação a gás.

O RTQ-C avalia o desempenho do *sistema de condicionamento de ar* por meio da eficiência energética das máquinas instaladas e do cumprimento dos pré-requisitos. Dentre essas máquinas, existem as que são regulamentadas pelo INMETRO e as que não são.

Para o caso das regulamentadas, o método de cálculo utiliza a classificação do Selo PROCEL do equipamento, obtido nas tabelas do PBE/INMETRO, na página eletrônica do INMETRO, e identifica o equivalente numérico, *EqNumCA*, conforme Tabela 3, para cada equipamento. Deve-se considerar a última versão publicada na página eletrônica do INMETRO para identificação do Selo dos equipamentos. De acordo com a Portaria n.º 299 de 2013 do INMETRO, esse método é utilizado para os condicionadores de ar resfriados, com capacidade menor que 19kW e que são do tipo *split*. (INMETRO, 2013).

Para o caso de haver mais de um *sistema de condicionamento de ar* no edifício, os equivalentes numéricos de cada equipamento devem ser ponderados de acordo com a capacidade térmica de cada aparelho. Para a realização dessa ponderação, calcula-se inicialmente o coeficiente de ponderação (*Coef. Pond.*), segundo a equação (14). Para cada equipamento existe um *Coef Pond*. Esse coeficiente representa a razão entre a potência elétrica do equipamento (*Pot. Ep.*) e a potência elétrica total de todos os equipamentos de ar (*Pot. Ept.*) instalados na construção.

$$Coef. Pond = \left(\frac{Pot. Ep.}{Pot. Ept.} \right) \quad (14)$$

Para obter-se o valor do *EqNumPond* final de um equipamento, multiplica-se o valor do *Coef. Pond* calculado pelo seu *EqNum*. O valor do *EqNum* é obtido através da relação da Tabela 3, dado que o nível de EE do equipamento está identificado no seu Selo PROCEL. O *EqNumCA* é a soma de todos os *EqNumPond*, conforme equação (15).

$$EqNumCA = \sum_1^n Eq.Num * Coef.Pond, n = \text{número de equipamentos} \quad (15)$$

No caso dos aparelhos de ar condicionado que não são regulamentados, para que estes possam ser classificados quanto ao seu nível de EE, o método de cálculo é diferente do descrito anteriormente. Faz-se necessário, neste caso, que estes equipamentos atendam condições mínimas determinadas para cada nível, que dependem de alguns outros fatores. Dentre esses citam-se o controle de temperatura por zona, geral e por faixa de temperatura, aquecimento suplementar, aquecimento e resfriamento simultâneo, sistema de desligamento automático, isolamento de zonas, controle e dimensionamento do sistema de ventilação e dos sistemas hidráulicos, equipamentos de rejeição de calor e controle de velocidade do ventilador (BARRETO, 2016).

Após o cálculo do *EqNumCA* verifica-se os pré-requisitos que foram atendidos ou não pela edificação. Em seguida, utilizando-se a relação da Tabela 3, obtém-se o nível de EE parcial do *sistema condicionamento de ar* da construção.

3.2.4 Bonificações

No que tange as bonificações, que podem ser somadas a pontuação total de eficiência das edificações, conforme variável *b* da equação (1), estas são consideradas desde que sejam justificadas e comprovadas as economias energéticas. Para isso, são elaborados memoriais de cálculos que analisam a edificação com e sem bonificação. Os sistemas e os equipamentos que racionalizam o uso de água, os sistemas ou as fontes renováveis de energia, os sistemas de cogeração e as inovações técnicas, são algumas bonificações que constam no manual do RTQ-C.

Para o uso racional da água, a economia mínima deve ser de pelo menos 40% do consumo de água do edifício; as fontes renováveis para o aquecimento solar devem provar atendimento da demanda de energia igual ou superior a 70%, no caso do uso de fonte eólica ou fotovoltaica, estas devem oferecer uma economia de no mínimo 10% no consumo anual de energia elétrica da construção. Por fim, para o caso de cogeração ou de inovações tecnológicas, a economia mínima deve ser de 30% do consumo anual da edificação (ELETROBRAS, 2016).

3.3 Características da edificação analisada

Em todo território nacional existem *Aquartelamentos de Comissões Regionais de Obras* do Exército Brasileiro. Essas Comissões são compostas, em sua maioria, por engenheiros, civis e eletricitas, e arquitetos que desenvolvem atividades relacionadas à elaboração de projetos arquitetônicos, de projetos de instalações elétricas, de instalações hidráulicas, de estruturas, entre outros.

Além disso, são realizados processos licitatórios para contratações de empresas que executarão as obras projetadas. Após as contratações e o início das obras, também são responsáveis pela fiscalização da execução dessas obras. Quando não estão projetando, os profissionais destas Comissões realizam vistorias técnicas, apoiando outras Organizações Militares do Exército, dentre outras atividades.

Estas edificações estão localizadas em diversas regiões do Brasil como: Belém – PA; Manaus – AM; Recife – PE; Fortaleza – CE; Salvador – BA; Belo Horizonte – MG; Brasília – DF; Rio de Janeiro – RJ; São Paulo – SP; Curitiba – PR; Porto Alegre – RS; e Campo Grande –MS.

A construção escolhida para este estudo trata de uma edificação da Administração Pública Federal do Exército Brasileiro: o *Aquartelamento da Comissão Regional de Obras do Estado de São Paulo*, o qual será chamado, para efeito deste trabalho, de *Aquartelamento do Cambuci*, por se situar no bairro de mesmo nome na capital paulista, uma foto da referida edificação é apresentada na Figura 18.

Figura 18. Aquartelamento da Comissão Regional de Obras do Estado de São Paulo.

Fonte: a autora.

Os dados referentes aos parâmetros físicos do Aquartelamento – áreas e volume – que farão parte do cálculo do nível de EE parcial e final da construção foram levantados. Dentre eles tem-se: a Área total (A_{tot}) da construção de 1055 m^2 , que está distribuída nos dois pavimentos, o pavimento térreo, de 493 m^2 , e pavimento superior, de 562 m^2 . Esses pavimentos estão interligados através de escadas. As plantas baixas estão representadas na Figura 19 e na Figura 20.

Figura 19. Pavimento térreo do Aquartelamento do Cambuci.

Fonte: Elaboração própria.

As características dos três sistemas da edificação - *da envoltória, de iluminação e de condicionamento de ar* - influenciam tanto no nível de EE final do edifício quanto no consumo de energia elétrica da construção. Dessa maneira, são apresentadas, nas subseções a seguir, as características de cada sistema separadamente, bem como os dados do consumo de energia elétrica da edificação no período de janeiro de 2012 a dezembro de 2019.

3.3.1 Características do sistema da envoltória

Dentre as características da envoltória de uma construção existem algumas que influenciam no seu desempenho energético. Dentre elas pode-se citar a implantação, o entorno e a orientação da construção em relação ao sol; a forma do edifício; o dimensionamento e orientação das aberturas; a proteção solar nas aberturas e as características dos materiais construtivos, como visto na revisão da literatura.

Para a análise da EE da envoltória, identificou-se a zona bioclimática na qual está localizado o Aquartelamento. O estado de São Paulo, de acordo com a norma NBR 15220, que estabelece o zoneamento do país, está localizado na zona bioclimática 3 (ZB -3) (ABNT, 2005).

Com relação a orientação das fachadas da construção, nota-se a relevância desse fator quando se trata da análise da EE da envoltória. A Figura 21 apresenta a orientação do Aquartelamento de acordo com o posicionamento solar.

Figura 21. Orientação das fachadas do *Aquartelamento do Cambuci*.

Fonte: Elaboração própria.

A partir dessa orientação, as fachadas do Aquartelamento foram identificadas como fachada norte, sul, leste e oeste e tiveram seus dimensionamentos levantados. Para que se realize a análise do nível de EE da envoltória, foram também verificadas as dimensões das aberturas, janelas e portas das fachadas do Aquartelamento. Esses dados estão na Tabela 13 e na Tabela 14.

Tabela 13. Levantamento das áreas das aberturas existentes nas fachadas

Abertura	Área (m ²)
Porta (P1)	1,6
Porta (P2)	6,0
Janela (J1)	1,6
Janela (J2)	3,6
Janela (J3)	0,4

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 14. Levantamento das áreas das fachadas e o percentual de aberturas existentes

Fachada	Área (m ²)	Área total de Abertura na fachada (m ²)	Percentual de Abertura por fachada
Norte	306,4	112,0	36,6%
Sul	306,4	98,0	32,0%
Leste	113,0	8,8	7,8%
Oeste	113,0	9,6	8,5%

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 18 apresenta a fachada norte do edifício estudado, a Figura 22, a Figura 23 e a Figura 24 mostram as fachadas sul, leste e oeste respectivamente.

Figura 22. Fachada Sul do *Aquartelamento do Cambuci*.

Fonte: a autora.

Figura 23. Fachada Leste do *Aquartelamento do Cambuci*.

Fonte: a autora.

Figura 24. Fachada Oeste do *Aquartelamento do Cambuci*.

Fonte: a autora.

Para a realização da análise dos pré-requisitos específicos, previstos no RTQ-C para a envoltória de uma edificação, foram levantadas as características dos materiais construtivos que compõem as paredes externas e a cobertura do Aquartelamento. Dessa maneira identificou-se

a *transmitância térmica*, as cores e *absortância térmica*, o percentual de abertura zenital e o fator solar dos vidros existentes nas fachadas.

No Aquartelamento as paredes externas são de bloco cerâmico de espessuras de 19 cm, e capacidade térmica de 1,06 kJ/m². K, conforme a Figura 25. Já a cobertura é única e composta de telhas de fibrocimento com espessura de 1 cm e laje maciça de concreto de 10 cm de espessura, entre ambos há uma câmara de ar com espessura de 5 cm sem aberturas, conforme Figura 26.

Espessura (m)	Transmitância térmica W/(m ² .K)
	Argamassa interna	0,25
	Bloco cerâmico	0,14 x 0,19 x 0,29
	Argamassa interna	0,25
		1,98

Figura 25. Características construtivas das paredes externas do *Aquartelamento do Cambuci*.

Fonte: Adaptado de Lamberts *et al.* (2010).

Espessura (m)	Transmitância térmica W/(m ² .K)
	Laje maciça	0,1
	Câmara de ar	0,05
	Telha Fibrocimento	0,1
		2,06

Figura 26. Características construtivas da cobertura do *Aquartelamento do Cambuci*.

Fonte: Adaptado de Lamberts *et al.* (2010).

Desta maneira, a *transmitância térmica* da cobertura e das paredes externas são, respectivamente, 2,06 W/ (m². K) e 1,98 W/ (m². K).

Com relação às cores e *absortância* das paredes e da cobertura, os dados considerados foram obtidos a partir das informações do anexo V, da Portaria n. ° 50/2013 do INMETRO. A cor da pintura das paredes externas, amarelo canário, possui *absortância* 0,3 (INMETRO, 2013). No caso da cobertura, de telha fibrocimento, a *absortância* é de 0,8 (LAMBERTS *et al.*, 2010).

Nas fachadas, as aberturas são constituídas de janelas de vidro incolor de 4mm. Esses vidros possuem Fator Solar (FS) igual a 0,27, de acordo com o anexo V, da Portaria n. ° 50/2013 do INMETRO (INMETRO, 2013).

A *iluminação zenital* na construção, considera os Percentuais de Aberturas Zenitais (PAZ). Estas aberturas referem-se ao percentual de área de abertura zenital na cobertura (%) para o caso de superfícies com inclinação inferior a 60°. Para o Aquartelamento não existe abertura na cobertura que se caracterize como abertura zenital. A Tabela 15 apresenta o resumo das características construtivas citadas.

Tabela 15. Características construtivas da envoltória do *Aquartelamento do Cambuci*

Características construtivas	
transmitância térmica paredes externas (W/m ² .K)	1,98
absortância térmica paredes externas (α)	0,3
transmitância térmica cobertura (W/m ² .K)	2,06
absortância térmica cobertura (α)	0,8
iluminação zenital	não se aplica
Fator Solar (FS)	0,27

Fonte: Elaboração própria.

3.3.2 Características do sistema de iluminação

O *sistema de iluminação* do Aquartelamento é constituído por luminárias com lâmpadas fluorescentes instaladas em todos os ambientes. Existem dois modelos de luminárias e lâmpadas fluorescentes, algumas são tubulares com potência elétrica de 32 W e outras compactas com potência elétrica de 24 W. As luminárias são tipo sobrepor para os dois modelos. No caso das luminárias de sobrepor para as duas lâmpadas fluorescentes tubulares, existe ainda um reator

eletrônico acoplado à luminária com potência elétrica de 7 W. Somente nos ambientes do saguão de entrada e nos banheiros que estão instaladas as lâmpadas compactas. A Figura 27 e a Figura 28 apresentam os modelos de luminárias supracitadas existentes no *Aquartelamento do Cambuci*.

Figura 27. Luminária com duas lâmpadas fluorescentes tubulares e com reator.

Fonte: a autora.

Figura 28. Luminária com duas lâmpadas fluorescentes compactas.

Fonte: a autora.

A potência elétrica instalada do *sistema de iluminação* de cada ambiente do Aquartelamento foi levantada. A Tabela 16 mostra a potência total instalada por ambiente, de acordo com a quantidade e com o modelo das lâmpadas e luminárias.

Tabela 16. Ambientes iluminados e a potência elétrica instalada (W) por ambiente

Pavimento	Ambientes	Potência elétrica instalada (W)
Pavimento Térreo	Alojamentos	497
	Banheiros	142
	Saguão de entrada	368
	Salas Administrativas	1420
	Sala de Informática	284
	Escada e Circulação	497
	Secretaria	284
	Sala de Reunião	284
	Copa /Cozinha	307
Pavimento Superior	Auditório	426
	Sala de projetos	1349
	Sala da topografia	355
	Sala do comandante	710
	Alojamentos	994
	Banheiros	368
	Escada e Circulação	497
Potência elétrica total instalada (W)		8782

Fonte: Elaboração própria.

3.3.3 Características do sistema de condicionamento de ar

Para o *sistema de condicionamento de ar*, foram levantados os modelos dos equipamentos de ar condicionado e dos seus quantitativos em cada ambiente. O Aquartelamento não possui sistema de aquecimento artificial, não necessitando que os pré-requisitos de eficiência desse sistema sejam considerados. Além disso, a construção não possui sistema de condicionamento de ar central, sendo cada ambiente condicionado separadamente por equipamentos. Não existe nesta edificação ambientes de permanência prolongada sem que os mesmos estejam condicionados.

Por se tratar de uma edificação da Administração Pública Federal, os equipamentos existentes foram adquiridos por meio de processo licitatório. Todos esses equipamentos estão etiquetados de acordo com o nível de EE, segundo o PBE e o INMETRO, e são do modelo *split*. Os equipamentos possuem diferentes marcas, como *Elgin*, *Electrolux*, *Gree*, *Consul* entre outras.

Isto ocorre principalmente porque em um processo de licitação realizado pelo Poder Público, de fornecimento e de instalação dos equipamentos de ar condicionado, o fornecedor que ofertar o menor preço para a realização do serviço ganha o processo. Em virtude de os equipamentos de ar do Aquartelamento terem sido adquiridos em processos licitatórios diferentes, existe mais de uma marca e modelo instalados. A Figura 29 mostra um dos modelos de aparelho de ar condicionado tipo *split* instalado.

Figura 29. Equipamento de ar condicionado, marca *Gree* Selo PROCEL “A”.

Fonte: a autora.

A Tabela 17 contém as informações à cerca dos equipamentos de ar instalados nos ambientes do Aquartelamento. Os dados tratam da marca, a capacidade de refrigeração (Btu/h), o nível de EE e a potência elétrica (W), de cada aparelho (INMETRO, 2020). Com esses dados, foi possível calcular a potência elétrica total instalada (kW), na edificação estudada, que corresponde a 41,82 kW.

Tabela 17. Características dos aparelhos de condicionamento de ar *split* existentes no *Aquartelamento do Cambuci*

Marca	Capacidade de Refrigeração Nominal (BTU/h)	Nível de EE	Potência Elétrica (W)	Quantidade instalada (un)	Potência Elétrica total instalada (kW)
Cônsul	22000	A	1989	1	1,99
Electrolux	30000	D	3128	2	6,26
Electrolux	24000	D	2504	4	10,02
Electrolux	18000	C	1753	1	1,75
Electrolux	12000	B	1096	3	3,29
Elgin	9000	C	880	4	3,52
Gree	28000	D	3140	3	9,42
Gree	18000	A	1630	2	3,26
Samsung	24000	B	2320	1	2,32

Fonte: Elaboração própria.

Também foram levantadas para esse sistema: (i) a área útil dos Ambientes Condicionados (*AC*); (ii) a área útil de Ambientes Não-Condicionados (*ANC*); (iii) a Área de Permanência Transitória (*APT*); e (iv) a Área Útil (*AU*) da construção, todas elas medidas em m². Essas são variáveis que entram para o cálculo da pontuação total da EE de uma construção conforme indicado na equação (1). A variável *AC* considera que a área útil do ambiente condicionado artificialmente pode ser atendida por sistema de resfriamento e/ou aquecimento. Estão inclusos, nesse caso, ambientes fechados por cortinas de ar.

No caso dos Ambientes Não Condicionados, com área útil representada pela variável *ANC*, de permanência prolongada, deve ser comprovado o conforto térmico dos ocupantes nesses ambientes. As Áreas de Permanência Transitória, *APT*, não incluem ambientes condicionados, e nem garagens e estacionamentos. No Aquartelamento foram considerados, neste caso, o acesso ao telhado, o saguão de entrada, os banheiros e copa/cozinha. A Área Útil da construção, representada pela variável *AU*, é medida entre os parâmetros internos das paredes que delimitam o ambiente, excluindo garagens. A Tabela 18 informa esses dados do Aquartelamento.

Tabela 18. Ambientes internos do *Aquartelamento do Cambuci* condicionados e de permanência transitória

Ambientes condicionados	Área(m ²)
Alojamentos	155,55
Salas Administrativas	140,83
Sala de informática	12,63
Secretaria	26,72
Sala de Reunião	15,02
Auditório	41,74
Salas de Projetos	156,31
Sala de topografia	41,80
Sala do Comandante	102,26
Ambientes de permanência transitória	Área(m ²)
Banheiros	40,73
Saguão de entrada	83,00
Copa/Cozinha	23,12
Acesso ao telhado	1,76

Fonte: Elaboração própria.

3.3.4 Levantamento de dados de consumo de energia elétrica

Para analisar os dispêndios financeiros associados ao consumo de energia elétrica faturado (kWh), do Aquartelamento, foram levantadas as faturas de energia elétrica da construção. O período analisado foi de janeiro a 2012 a dezembro de 2019. A Figura 30 apresenta o consumo de energia elétrica médio mensal nesse período.

Figura 30. Consumo de energia elétrica (kWh) médio mensal do Aquartelamento.

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 31 informa os custos médios associados a esse consumo no mesmo período.

Figura 31. Custo médio da fatura de energia elétrica (R\$) mensal do Aquartelamento.

Fonte: Elaboração própria.

Nota-se que os meses que apresentaram o maior consumo de energia elétrica são os meses do período do verão, que se inicia em dezembro e termina em fevereiro. Durante essa estação do ano, o uso dos equipamentos de ar condicionados é mais frequente. O mês de janeiro aparece como a exceção, já que a maioria dos militares está de férias sendo menor o efetivo que está trabalhando no Aquartelamento.

Após o levantamento desse consumo, por limitações da pesquisa, foi estimado o percentual relativo à participação do *sistema de iluminação* do Aquartelamento no consumo final de energia elétrica. Com essa estimativa busca-se verificar a possibilidade de otimização do uso final da energia elétrica para esse sistema, o que consequentemente reduziria o consumo e dispêndios a ele associados. Para isso, considerou-se que a frequência de utilização das instalações do *Aquartelamento do Cambuci* é de cinco dias semanais, sendo de segunda-feira a quinta-feira o horário de 8:00h da manhã as 17:00h da tarde e sexta-feira o horário de 8:00h da manhã as 12:00h da tarde. Outrossim, foi considerado que, durante todo esse período, todas as lâmpadas estiveram acesas, para facilitar a realização dessa análise.

O levantamento de dados relativos à quantidade de luminárias existentes; a potência elétrica de cada uma delas e a potência elétrica (W) total instalada, estão representados na Tabela 19.

Tabela 19. Potência elétrica (W) total instalada no sistema energético de iluminação do Aquartelamento

Modelos de lâmpadas e reator	Potência elétrica (W)	Quantidade instalada	Potência elétrica total instalada (W)
Lâmpada tubular fluorescente	32	224	7168
Lâmpada compacta fluorescente	24	29	696
Reator eletrônico	7	112	784

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 20 apresenta as potências elétricas (W) totais instaladas, horas (h) de uso mensais e o consumo de energia elétrica (kWh), mensal do sistema. O consumo foi calculado utilizando-se a equação (16) onde *Pot* representa a variável da Potência elétrica instalada, *n* o número de lâmpadas e *h* horas de consumo mensal de utilização.

$$C = Pot * n * h \quad (16)$$

Tabela 20. Consumo de energia elétrica (kWh) mensal do sistema energético de iluminação do Aquartelamento

Modelos de lâmpadas e reator	Potência elétrica total instalada (W)	Horas de uso mensal (h)	Consumo mensal de energia elétrica (kWh)
Lâmpada tubular fluorescente	7168	178	1275,90
Lâmpada compacta fluorescente	696	178	123,89
Reator eletrônico	784	178	139,55

Fonte: Elaboração própria.

Com as informações da Tabela 20, nota-se que o sistema energético de iluminação tem o consumo estimado de 1540 kWh por mês. Esse valor representa cerca de 30 % do valor médio mensal do consumo de energia elétrica do Aquartelamento, no período de 2012 a 2019, que foi de 5183 kWh. Considerando-se que no referido período a tarifa média de energia cobrada foi cerca de R\$ 0,48/kWh, o custo associado ao uso de energia elétrica para o *sistema de iluminação* representa cerca de R\$ 739,00.

Esse levantamento detém importância, pois, por se tratar de um edifício da Administração Pública Federal, os recursos públicos despendidos com serviços de energia elétrica devem ser geridos da melhor forma possível. Desse modo, faz-se necessário que o uso final da energia elétrica nos ambientes internos da construção seja o mais eficiente.

3.4 Análise do nível de EE do Aquartelamento do Aquartelamento

Após o levantamento das características construtivas e dos sistemas energéticos será analisado o nível de EE geral do *Aquartelamento da Comissão Regional de Obras de São Paulo*. Para isso, inicialmente os sistemas energéticos – *da envoltória, de iluminação e de condicionamento de ar* – terão seus níveis de EE analisados individualmente. As análises serão balizadas pelo referencial metodológico previsto no *PROCEL EDIFICA* e descrito no RTQ-C, como apresentados anteriormente.

3.4.1 Análise do nível de EE do sistema da envoltória

A análise do nível de EE do *sistema da envoltória* do *Aquartelamento do Cambuci* inicia-se com o cálculo do Índice de Consumo da energia da envoltória (*ICenv*), conforme

previsto no RTQ-C. Para calcular esse índice, utiliza-se a equação (4), já que o Aquartelamento está localizado na zona bioclimática 3 (ZB-3) e possui área de projeção da edificação maior que 500m². São necessárias para esse cálculo: a Área total da envoltória (A_{env}), que é a soma das áreas das fachadas da construção; o fator forma (FF), que é a relação da Área da envoltória (A_{env}) e o Volume da construção (V_{tot}); o Fator Altura (FA), que é a relação entre a Área de projeção da cobertura (A_{pcob}); a Área total do edifício (A_{tot}) e o Fator Solar (FS) dos vidros existentes nas aberturas das fachadas. A Tabela 21 apresenta esses parâmetros para o caso do Aquartelamento.

Tabela 21. Parâmetros utilizados para o cálculo do IC_{env} do Aquartelamento

Parâmetros utilizados	
A_{env} (m ²)	838,800
FF	0,199
FA	0,530
FS	0,270

Fonte: Elaboração própria.

Outra variável fundamental para o resultado do Índice de Consumo da envoltória é o Percentual de Abertura das Fachadas total (PAF_t) do Aquartelamento. A Tabela 22 apresenta o PAF por fachada da edificação, utilizando os dados levantados na Tabelas 13 e na Tabela 14. O PAF_t calculado é de 27,2% da área total das fachadas, que é de 838,8m². No caso somente da fachada oeste, PAF_{to} , esse percentual é de 8,5%. Com previsto no RTQ-C, como o PAF_{to} calculado é menor que o PAF_t , a variável a ser utilizada no cálculo do índice de consumo da envoltória é o PAF_t .

Tabela 22. Percentual de Abertura das Fachadas do Aquartelamento

Fachada	Área (m ²)	Área total de Abertura na fachada (m ²)	Percentual de Abertura da Fachada
Norte	306,4	112,0	36,6%
Sul	306,4	98,0	32,0%
Leste	113,0	8,8	7,8%
Oeste	113,0	9,6	8,5%
Total	838,8	228,4	27,2%

Fonte: Elaboração própria.

Em se tratando dos Ângulos Verticais (*AVS*) e Ângulos Horizontais (*AHS*) de Sombreamento nas aberturas da edificação, no caso do Aquartelamento os sombreamentos variam entre as aberturas existentes no pavimento térreo e no pavimento superior. A Tabela 23 apresenta o *AVS* e o *AHS* para as aberturas da fachada norte, sul, leste e oeste e os valores obtidos para esses ângulos finais após a ponderação por área de fachada do Aquartelamento.

Tabela 23. Ângulo vertical e Ângulo horizontal de sombreamento do Aquartelamento

Fachadas	Área total abertura(m ²)	AVS	AHS
Norte	112	19,53°	10,58°
Sul	98	19,06°	12,24°
Leste	8,8	33,91°	10,62°
Oeste	9,6	40,60°	10,62°
Total	228,4	20,77°	11,3°

Fonte: Elaboração própria.

Com as variáveis supracitadas determinadas para o caso do Aquartelamento, obteve-se o Índice de Consumo da envoltória (*ICenv*) e consequentemente os valores limites, mínimos e máximos, do Índice de Consumo por nível de EE. Utilizando-se a equação (4), o Índice de Consumo da envoltória da construção foi de 77,93. Os valores limites de cada nível de EE, calculados por meio da equação (4) e da equação (12), com as informações da Tabela 7 e Tabela 8, para o Aquartelamento estão apresentados na Tabela 24.

Tabela 24. Limites dos intervalos dos níveis de EE do Aquartelamento

Limites de eficiência	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D	Nível E
mínimo	-	81,39	88,06	94,74	101,41
máximo	81,38	88,05	94,73	101,40	-

Fonte: Elaboração própria.

Verifica-se que o *ICenv* do Aquartelamento se enquadra no nível A de eficiência, porque o *ICenv* de 77,93 é menor que o limite máximo determinado para o nível A de EE da envoltória, conforme Tabela 24. Desse modo, o nível de EE do *sistema da envoltória* seria nível A. Entretanto, os pré-requisitos específicos definidos para este sistema, previstos no RTQ-C, precisam ser verificados, se são atendidos ou não pelo edifício.

Com relação ao primeiro pré-requisito, que trata da *transmitância térmica* das paredes externas e da cobertura, o Aquartelamento não se enquadrar nos limites previstos para o nível

A de EE no caso da sua cobertura. Isso porque, a cobertura possui *transmitância térmica* de $2,06 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, enquanto o limite para o nível A é de $1,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ e para o nível D é de $2,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

O segundo pré-requisito relativo a *absortância térmica* da cobertura também não atende o limite definido para o nível A de EE. Já que a cobertura apresenta valor 0,8 para esse pré-requisito sendo o valor limite menor que 0,5. Com relação ao terceiro, e último pré-requisito específico desse sistema, a *iluminação zenital*, no caso do *Aquartelamento* ele não é aplicado, visto que sua cobertura é única sem aberturas entre o ambiente externo e interno. A Tabela 25 apresenta, em resumo, a análise desses pré-requisitos, da envoltória, para este estudo de caso estabelecidos no RTQ-C.

Tabela 25. Verificação dos pré-requisitos específicos do sistema da envoltória do *Aquartelamento do Cambuci*

Análise dos pré-requisitos específicos para sistema da envoltória	
Transmitância térmica das paredes externas	Atende nível A de EE
Transmitância térmica da cobertura	Atende nível E de EE
Absortância térmica das paredes externas	Atende nível A de EE
Absortância térmica da cobertura	Não atende nível A de EE
Iluminação zenital	Não se aplica

Fonte: Elaboração própria.

Dessa maneira, a eficiência energética final do *sistema da envoltória* do *Aquartelamento do Cambuci* atende o nível E de eficiência. O *EqNumEnv* associado a esse nível tem o valor igual a um, conforme visto na Tabela 3 na página.60.

3.4.2 Análise do nível de EE do sistema de iluminação

O nível de EE do *sistema de iluminação*, do *Aquartelamento do Cambuci*, foi classificado a partir do cálculo do valor da Densidade de Potência de Iluminação (*DPI*) seguido da análise dos pré-requisitos específicos previstos para esse sistema, para obtenção do *EqNumDPI*.

Para isso, foi escolhido o método da área do edifício descrito no RTQ-C. Esse método avalia, de forma conjunta, todos os ambientes do edifício e atribui um único valor de Densidade

de Potência limite para o *sistema de iluminação*. Esse método foi escolhido, porque uma única atividade é exercida no Aquartelamento, a de escritório.

De posse dos dados como a Área total (A_{tot}) da construção de 1055 m² e a potência elétrica total instalada na edificação, de 8782 watts, calcula-se a Densidade de Potência de Iluminação limite do *Aquartelamento do Cambuci* para cada nível de EE. A Tabela 10 apresenta os limites de Densidade de Potência de Iluminação, em watts por metro quadrado (W/m²), para a atividade de escritório, que é a atividade principal do Aquartelamento.

Para verificar qual a potência elétrica limite instalada, em watts (W), de cada nível de EE do *sistema de iluminação*, multiplicou-se a área total (m²) do Aquartelamento pelos dados da Tabela 26, conforme equação (13). Os resultados obtidos estão na Tabela 27.

Tabela 26. Densidade de potência elétrica de iluminação limite para escritório por nível de EE

Densidade de potência elétrica de iluminação limite (W/m ²): Atividade de escritório			
Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
9,7	11,2	12,6	14,1

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 27. Potência elétrica de iluminação limite para o Aquartelamento por nível de EE

Potência elétrica de iluminação limite (W): Aquartelamento			
Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
10233,5	11816,0	13293,0	14875,5

Fonte: Elaboração própria.

A potência elétrica total do *sistema de iluminação* da edificação, de 8782 W, por ser menor que a potência elétrica de iluminação limite do edifício calculada para o nível A de EE, de 10233,5 W, faz com que o *sistema de iluminação* do Aquartelamento se enquadre nesse mesmo nível de EE.

Após esse cálculo, verificou-se quais, dos pré-requisito previstos no RTQ-C para esse sistema, são atendidos. O primeiro pré-requisito trata da divisão de circuitos elétricos. No Aquartelamento, todos os ambientes fechados por paredes ou divisórias até o teto possuem pelo menos um dispositivo de controle manual para o acionamento independente da iluminação interna do ambiente.

O segundo pré-requisito, que tem relação com a contribuição da luz natural, também é atendido pelo edifício. Isto porque os ambientes, com abertura (s) voltada (s) para o ambiente externo ou para átrio não coberto ou de cobertura translúcida e que contenham mais de uma fileira de luminárias paralelas à (s) abertura (s), podem ser acionadas manualmente pelos usuários das instalações, com acionamento somente da fileira de luminárias mais próximas às janelas. Sendo assim o aproveitamento da luz natural disponível acontece.

O terceiro pré-requisito relativo ao desligamento automático do *sistema de iluminação* para ambientes maiores que 250 m², não se aplica. Isso porque o objeto de estudo da pesquisa, não apresenta ambientes internos com áreas maiores que 250 m². A Tabela 28 apresenta a análise desses pré-requisitos.

Tabela 28. Verificação dos pré-requisitos do sistema de iluminação do *Aquartelamento do Cambuci*

Análise dos pré-requisitos específicos para sistema de iluminação	
Divisão dos circuitos elétricos internos com acionamento independentes	Atende ao nível A de EE
Contribuição da luz natural nos ambientes internos	Atende ao nível A de EE
Desligamento automático para ambientes internos maiores que 250m ²	Não se aplica

Fonte: Elaboração própria.

Desse modo, por atender a todos os pré-requisitos, o nível de EE do *sistema de iluminação* do *Aquartelamento do Cambuci* mantém-se no nível A de EE. Associado a este nível tem-se o *EqNumDPI* com valor final igual a cinco, conforme Tabela 3 na página 60.

3.4.3 Análise do nível de EE do sistema de condicionamento de ar

O *sistema de condicionamento de ar* é classificado a partir do valor calculado para o *EqNumCA*, analisado os pré-requisitos desse sistema posteriormente. Como todos os equipamentos de ar condicionado do *Aquartelamento* são avaliados pelo PBE, cada um deles possui um Equivalente Numérico, associado ao seu respectivo nível de EE conforme relação estabelecida na Tabela 3, na página 60.

Pelo fato de o Aquartelamento possuir mais de um equipamento de ar, é necessário calcular o Coeficiente de Ponderação (*Coef. Pond*), conforme equação (14) e o Equivalente Numérico Ponderado (*EqNumPond*) de cada equipamento. Após a soma do *EqNumPond* de todos os equipamentos, obtém-se o valor do *EqNumCA*, de acordo com a equação (15).

A Tabela 29 apresenta os dados referentes ao Equivalente Numérico de cada equipamento instalado, conforme o nível de EE; as potências elétricas (kW) totais instaladas, os coeficientes de ponderação (*Coef.Pond*), bem como os Equivalentes Numéricos, de cada equipamento de ar, Ponderados (*EqNumPond*) do *Aquartelamento do Cambuci*.

Tabela 29. Ponderação do *EqNum* para cada equipamento de ar existente no *Aquartelamento do Cambuci*

Marca	Capacidade de Refrigeração Nominal (BTU/h)	Nível de EE	Equivalente Numérico (<i>EqNum</i>)	Potência Elétrica total instalada (kW)	Coeficiente de Ponderação (<i>Coef. Pond</i>)	Equivalente Numérico Ponderado (<i>EqNumPond</i>)
Cônsul	22000	A	5	1,99	0,05	0,24
Electrolux	30000	D	2	6,26	0,15	0,30
Electrolux	24000	D	2	10,02	0,24	0,48
Electrolux	18000	C	3	1,75	0,04	0,13
Electrolux	12000	B	4	3,29	0,08	0,31
Elgin	9000	C	3	3,52	0,08	0,25
Gree	28000	D	2	9,42	0,23	0,45
Gree	18000	A	5	3,26	0,08	0,39
Samsung	24000	B	4	2,32	0,06	0,22

Fonte: Elaboração própria.

O somatório dos *EqNumPond*, calculados e informados na Tabela 29, determinou o *EqNumCA* de valor final igual a 2,77. A relação da Tabela 3 enquadra esse Equivalente Numérico no nível C de EE. Com relação aos pré-requisitos do *sistema de condicionamento de ar*, esses só devem ser analisados para os casos do *EqNumCA* se enquadrar no nível A de EE. Como o nível de EE obtido foi nível C de EE, os pré-requisitos não se aplicam para o caso do Aquartelamento. Desse modo, o nível de EE final do *sistema de condicionamento de ar* do *Aquartelamento do Cambuci* mantém-se no nível C de EE.

3.4.4 Análise do nível de EE final do Aquartelamento do Cambuci

Após a verificação dos níveis de EE dos sistemas energéticos da construção – *da envoltória, de iluminação e de condicionamento de ar* – separadamente, é preciso identificar o

nível de EE que o *Aquartelamento do Cambuci* se classifica no geral. Os valores dos Equivalentes Numéricos, obtidos para cada sistema, são utilizados na equação (1) para o cálculo da pontuação total (PT) da edificação. A partir desse resultado, o nível de EE final é encontrado pela relação entre PT e o nível de EE da Tabela 4. O *Aquartelamento* não possui nenhuma iniciativa que possa ser considerada como bonificação, como estabelece o RTQ-C, que contribua para aumentar a PT, na análise em questão.

$$PT = 0,30. \left\{ \left(EqNumEnv * \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} * 5 + \frac{ANC}{AU} * EqNumV \right) \right\} + 0,30 \quad (1)$$

$$* (EqNumDPI) + 0,40$$

$$* \left\{ \left(EqNumCA * \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} * 5 + \frac{ANC}{AU} * EqNumV \right) \right\} + b_0^1$$

A equação (17) representa a aplicação da equação (1) com os dados levantados e obtidos das análises dos sistemas energéticos do *Aquartelamento da Comissão Regional de Obras de São Paulo*.

$$PT = 0,30. \left\{ \left(1 * \frac{693}{990} \right) + \left(\frac{297}{990} * 5 + \frac{0}{990} * 0 \right) \right\} + 0,30 * (5) + 0,40 \quad (17)$$

$$* \left\{ \left(2,77 * \frac{693}{990} \right) + \left(\frac{297}{990} * 5 + \frac{0}{990} * 0 \right) \right\} + 0$$

A pontuação total encontrada foi 3,54. Considerando as referências da Tabela 4, o edifício enquadra-se no nível B de EE. A Tabela 30 apresenta, em resumo, a classificação parcial do nível de EE por sistema e a geral final do *Aquartelamento*.

Tabela 30. Classificação geral do nível de EE do *Aquartelamento do Cambuci*

Sistemas energéticos analisados	Nível de Eficiência Energética
Envoltória	E
Iluminação	A
Condicionamento de ar	C
Pontuação Total	3,54
Classificação geral	B

Fonte: Elaboração própria.

Após essa análise, os pré-requisitos gerais, atendidos ou não pela construção precisam ser verificados. A Tabela 31 resume os pré-requisitos gerais determinados pelo RTQ-C

necessários na classificação geral analisados para o caso do Aquartelamento. Os pré-requisitos relacionados ao aquecimento de água e as tubulações hidráulicas não se aplicam ao Aquartelamento porque a demanda de energia elétrica na construção destinada ao aquecimento de água representa menos de 10% da demanda total.

Tabela 31. Análise dos pré-requisitos gerais previstos no RTQ-C para o *Aquartelamento do Cambuci*

Análise dos pré-requisitos gerais previstos no RTQ-C	
Circuitos elétricos individualizados	Atende
Aquecimento de água 100% atendido por sistema de aquecimento solar, aquecedores à gás do tipo instantâneo, sistema de aquecimento de água por bombas de calor ou caldeira à gás.	Não se aplica
Aquecimento de água 70% atendido por sistema de aquecimento solar, aquecedores à gás do tipo instantâneo, sistema de aquecimento de água por bombas de calor ou caldeira à gás.	Não se aplica
Sistemas de aquecimento solar e à gás para atender 70% da demanda de água quente e serem complementados por sistemas elétricos, ou edifícios que tenham apenas aquecimento elétrico da água.	Não se aplica
Isolamento de tubulações hidráulicas, metálicas e não metálicas, com espessuras mínimas para aquecimento de água de 38°C de temperatura, de 1,0 cm e 2,5 cm para diâmetros nominais menores que 40mm e maiores que 40mm, respectivamente.	Não se aplica

Fonte: Elaboração própria.

Desse modo, por atender ao pré-requisito geral de circuitos independentes por uso final de energia necessário para os níveis A e B de EE, o nível final de EE do *Aquartelamento da Comissão Regional de Obras de São Paulo* mantém-se enquadrado no nível B de Eficiência Energética.

Diante do exposto algumas propostas de melhorias são apresentadas para que esse nível da construção possa atender aos critérios do nível A de EE e que o uso final da energia seja mais eficiente.

3.5 Propostas de melhorias

O nível de EE encontrado para o Aquartelamento, nível B de EE, está aquém do desejado, nível A de EE. Com isso, algumas propostas de melhoria foram sugeridas. As subseções a seguir apresentam inicialmente sugestões para os sistemas individuais que não atingiram o nível máximo de eficiência – *sistema da envoltória e de condicionamento de ar*.

Com relação ao *sistema da envoltória*, verificou-se, ainda, a aplicabilidade da proposta para a zona bioclimática 3, ZB-3, onde se localiza o Aquartelamento, para outras zonas bioclimáticas do território nacional.

Em seguida, as propostas são direcionadas ao uso final da energia elétrica da construção, no caso para o sistema de iluminação, a fim de que este seja mais eficiente. Isso porque para esse sistema ainda que o nível máximo de eficiência tenha sido atingido, nível A, o consumo de energia elétrica (kWh) pode ser ainda menor. Em consequência disso, atrelado a esse uso, os dispêndios serão menores, contribuindo para melhor gestão dos recursos públicos, que atualmente são destinados a esse fim. As propostas para o sistema de condicionamento de ar e de iluminação poderão ser aplicadas em outros Aquartelamentos existentes no país.

3.5.1 Aumento do nível de EE do Aquartelamento

A verificação do nível de EE energética do *Aquartelamento do Cambuci* a partir dos seus sistemas individuais resultou no nível E de eficiência para o *sistema da envoltória* e no nível C para o *sistema de condicionamento de ar*. Dessa maneira, inicialmente são sugeridas propostas para esses dois sistemas, de modo que o Aquartelamento atenda os critérios previstos no nível A de EE do RTQ-C do *PROCEL EDIFICA*.

No caso do *sistema da envoltória* da construção, a análise inicial do índice de consumo calculado para o Aquartelamento atendeu o nível A de EE. Porém, ao analisar os pré-requisitos específicos para esse sistema nem todos foram atendidos, o que fizeram com que o nível final para esse sistema atingisse nível E de EE. O pré-requisito que classificou como mínimo o nível de EE desse sistema foi o da *transmitância e absortância térmica* para a cobertura. No caso, o material construtivo utilizado na cobertura do Aquartelamento, apresentou *transmitância térmica* de 2,06 W/m². K, e o limite para o nível A de EE é de 1,0W/m².K. Além disso, a

absortância da cobertura existente de 0,8 também está acima do limite definido para o nível A de EE, que é no máximo 0,5.

Com isso, para que esse pré-requisito seja atendido, e o nível desse sistema seja nível A de EE, sugere-se que a cobertura seja reformada. A cobertura a ser instalada deverá utilizar telha metálica de alumínio com isolamento térmico de poliuretano, substituindo a telha de fibrocimento existente. A nova cobertura, com ampla disponibilidade no mercado, possuirá *transmitância térmica* de 0,55 W/m². K, e *absortância térmica* de 0,25, como, por exemplo, a da Figura 32. Com essa proposta, o *sistema da envoltória* do Aquartelamento alcançaria a classificação nível A de EE.

Figura 32. Proposta de material construtivo para cobertura.
 Fonte: Adaptado de Lamberts *et al.* (2010).

Após apresentar essa proposta, verificou-se a aplicabilidade da mesma para os casos do *Aquartelamento do Cambuci* estar localizado em outras regiões bioclimáticas do país, diferente da ZB-3. Utilizando-se a equação (2), equação (4), equação (6), equação (8) e equação (10) foi possível calcular o índice de consumo do Aquartelamento nas zonas bioclimáticas: ZB-1; ZB-2; ZB-4 e ZB-5; ZB-6 e ZB-8; e ZB-7, respectivamente. A Tabela 32 apresenta em resumo os valores encontrados para o *ICenv* nas zonas bioclimáticas supracitadas e o nível de EE da envoltória para cada caso.

Os valores máximos e mínimos do *ICenv* do *Aquartelamento do Cambuci* estão representados na Tabela 32 e foram os mesmos considerados para a determinação do nível de EE a seguir.

Tabela 32. Índice de consumo da envoltória do Aquartelamento por zona bioclimática

Zonas bioclimáticas	Índice de consumo da envoltória (IC_{env})
ZB-1	121,84
ZB-2 e ZB-3	77,93
ZB-4 e ZB-5	245,42
ZB-6 e ZB-8	51,25
ZB-7	34,21

Fonte: Elaboração própria.

Além disso, a Tabela 33 apresenta os limites máximos e mínimos, por zona, desse índice por nível de EE, obtidos conforme a equação (12) e a Tabela 8.

Tabela 33. Limites de eficiência dos índices de consumo da envoltória por zona bioclimática

Zona Bioclimática	Limites de eficiência	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D	Nível E
ZB-1	mínimo	-	119,25	124,60	129,95	135,31
	máximo	119,24	124,59	129,94	135,30	-
ZB-2 e ZB-3	mínimo	-	81,61	88,29	94,96	101,63
	máximo	81,60	88,28	94,95	101,62	-
ZB-4 e ZB-5	mínimo	-	244,61	296,73	348,85	400,97
	máximo	244,60	296,72	348,84	400,96	-
ZB-6 e ZB-8	mínimo	-	58,22	63,33	68,44	73,55
	máximo	58,21	63,32	68,43	73,54	-
ZB-7	mínimo	-	31,34	36,34	41,33	46,32
	máximo	31,33	36,33	41,32	46,31	-

Fonte: Elaboração própria.

Com essas informações nota-se que para as zonas ZB-2, ZB-6 e ZB-8, o nível de EE enquadrou-se no nível A de EE, como a ZB-3, onde se localiza o *Aquartelamento do Cambuci*. Sendo assim, a proposta de substituição da cobertura só teria aplicabilidade para os casos de o Aquartelamento estar localizado nas zonas ZB-2, ZB-3, ZB-6 e ZB-8. Já para as zonas bioclimáticas ZB-1, ZB-7, ZB-4 e ZB-5, a proposta da troca do material construtivo da cobertura não seria suficiente para tornar o nível de EE do *sistema da envoltória* nível A de EE.

Isso porque para esses casos, os IC_{env} calculados enquadraram-se no nível B de EE para ZB-1, ZB-4, ZB-5 e ZB-7. Para essas zonas, inicialmente as propostas de eficiência devem ser direcionadas para a redução do índice de consumo da envoltória, e posteriormente aplicação da sugestão de substituição da cobertura existente.

Para o *sistema de condicionamento de ar* do Aquartelamento, a proposta de melhoria sugere que os equipamentos existentes nos ambientes internos, que não sejam classificados no nível máximo de eficiência, sejam substituídos.

A Tabela 34 mostra as informações dos equipamentos do Aquartelamento que precisam ser substituídos por outros, mantendo a capacidade de refrigeração, porém sendo mais eficientes, conforme classificação de eficiência informada no selo emitido pelo PBE.

Tabela 34. Proposta de melhoria do sistema de condicionamento de ar no Aquartelamento

Sistema existente			Sistema proposto		
Modelo	Potência elétrica (W)	Nível de EE	Modelo	Potência elétrica (W)	Nível de EE
Electrolux 30000 BTU/h	3128	D	Electrolux 30000 BTU/h	2712	A
Electrolux 24000 BTU/h	2504	D	Elgin 24000 BTU/h	2033	A
Elgin 9000 BTU/h	880	C	Elgin 9000 BTU/h	807	A
Gree 28000 BTU/h	3140	C	Gree 28000 BTU/h	2600	B

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 35 apresenta os novos *EqNumPond* calculados após a implementação da proposta.

Tabela 35. Ponderação do *EqNum* de cada equipamento de ar com a substituição proposta para o *Aquartelamento do Cambuci*

Marca	Capacidade de Refrigeração Nominal (BTU/h)	Nível de EE	Equivalente Numérico (<i>EqNum</i>)	Potência Elétrica total instalada (kW)	Coeficiente de Ponderação (<i>Coef. Pond</i>)	Equivalente Numérico Ponderado (<i>EqNumPond</i>)
Cônsul	22000	A	5	1,99	0,05	0,27
Electrolux	30000	A	5	5,42	0,15	0,73
Elgin	24000	A	5	8,13	0,22	1,09
Electrolux	18000	C	3	1,75	0,05	0,14
Electrolux	12000	B	4	3,29	0,09	0,35
Elgin	9000	A	5	3,23	0,09	0,43
Gree	28000	B	4	7,8	0,21	0,84
Gree	18000	A	5	3,26	0,09	0,44
Samsung	24000	B	4	2,32	0,06	0,25

Fonte: Elaboração própria.

Desse modo, o novo valor do *EqNumCA* seria igual a 4,55. Com a relação definida na Tabela 3, o nível de EE do *sistema de condicionamento de ar* do Aquartelamento passaria ao nível máximo, nível A de EE.

Como tratado anteriormente, por ser uma construção da Administração Pública Federal, a aquisição dos equipamentos de ar condicionados é realizada por um processo de licitação. Nesse processo o fornecedor que ofertar a proposta de menor preço realiza o fornecimento e a instalação dos equipamentos, atendendo as especificações técnicas solicitadas pelo órgão. Desta maneira, propõe-se que dentre as especificações técnicas dos equipamentos, que serão adquiridos, esteja especificado que eles deverão ter nível A de eficiência energética para que a proposta de melhoria no sistema de condicionamento de ar do Aquartelamento tenha efeito.

Com a implementação das propostas para os sistemas individuais da envoltória e do condicionamento de ar do *Aquartelamento do Cambuci*, o nível de EE final para o Aquartelamento da Comissão Regional de Obras de São Paulo atenderia nível máximo de EE.

Isto porque o único pré-requisito geral que se aplica para a construção, que trata da separação dos circuitos elétricos por uso final da energia, é atendido. Propõe-se apenas que seja instalado um analisador de energia, com capacidade de medir a cada quinze minutos a demanda de energia elétrica, para que haja a medição do consumo de energia elétrica por circuito de iluminação, de condicionamento de ar e demais cargas da construção, a fim de buscar controlar esse consumo por uso final e em seguida propor maneiras de tornar esse consumo mais eficiente.

Os dispêndios financeiros para a implementação das propostas para o *sistema da envoltória* e para o *sistema de condicionamento de ar* do Aquartelamento, bem como o retorno desse investimento não fazem parte do escopo desse trabalho. Essas propostas têm caráter qualitativo.

Por fim, com a implementação das melhorias apresentadas, o *Aquartelamento da Comissão Regional de Obras de São Paulo* atingiria o nível máximo de eficiência energética, nível A, conforme a metodologia prescritiva do RTQ-C do *PROCEL EDIFICA*.

3.5.2 Redução do consumo de energia elétrica

O *sistema de iluminação* do Aquartelamento apresentou nível A de EE, porém verificou-se a possibilidade de redução do consumo de energia elétrica em kWh, neste uso final da energia. Consequentemente haveria uma redução do custo financeiro mensal da fatura de

energia elétrica. Isso porque ainda que esse sistema tenha atendido os critérios para o nível A de eficiência, as lâmpadas utilizadas na edificação são lâmpadas fluorescentes.

Com a proposta de substituição das lâmpadas e das luminárias existentes por modelos mais eficientes, como, por exemplo, lâmpadas LED, resulta-se numa diminuição do consumo de energia elétrica da construção. É necessário, nesse caso, que haja equivalência entre o fluxo luminoso das lâmpadas e que a luminosidade em cada ambiente de trabalho esteja dentro do definido na norma ABNT NBR 8995 (ABNT, 2003). As mudanças propostas para esse sistema estão apresentadas na Tabela 36.

Tabela 36. Proposta de melhoria para o sistema de iluminação do Aquartelamento

Sistema de iluminação existente	Sistema de iluminação proposto
Lâmpada tubular fluorescente (32W)	Lâmpada tubular LED (19W)
Reator eletrônico (7W)	Sem reator eletrônico
Lâmpada compacta fluorescente (24W)	Lâmpada compacta LED (11W)

Fonte: Elaboração própria.

Para verificar o impacto no consumo mensal de energia elétrica, em ambos os casos, o período, em horas, de uso semanal considerado foi o mesmo. A Tabela 37 informa a nova potência elétrica total instalada no Aquartelamento.

Tabela 37. Potência elétrica (w) total proposta para o sistema energético de iluminação do Aquartelamento

Modelo de lâmpada	Potência elétrica (W)	Quantidade instalada	Potência elétrica total instalada (W)
Lâmpada tubular LED	19	224	4256
Lâmpada compacta LED	11	29	319

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 38 apresenta o novo consumo mensal de energia elétrica, em kWh, com a implementação da proposta de substituição.

Tabela 38. Consumo de energia elétrica (kWh) mensal da proposta para o sistema energético de iluminação do Aquartelamento

Modelo de lâmpada	Potência elétrica total instalada (W)	Horas de uso mensal (h)	Consumo mensal de energia elétrica (kWh)
Lâmpada tubular LED	4256	178	757,57
Lâmpada compacta LED	319	178	56,78

Fonte: Elaboração própria.

Nota-se que o consumo mensal em kWh, nessa proposta, passaria a ser aproximadamente 814,35 kWh. Comparado ao consumo mensal do sistema de iluminação atual do Aquartelamento, de 1540 kWh, a redução esperada representaria aproximadamente 47%. Esse percentual pode ser ainda maior, pois mudanças de hábitos dos usuários, como por exemplo, desligar as luzes no intervalo de uma hora de almoço.

Com a redução do consumo, os dispêndios com a fatura de energia elétrica também poderão ser minimizados. Considerando o mesmo valor de tarifa média, do período de 2012 a 2019 analisado para os próximos anos, de R\$ 0,48/kWh, a parcela da fatura mensal correspondente ao sistema de iluminação passaria a ser cerca de R\$ 391,00. Atualmente, o sistema de iluminação é responsável por R\$ 739,00 da fatura de energia elétrica mensal do Aquartelamento. O percentual de redução na fatura também representaria cerca de 47% de economia anual dos recursos públicos destinados ao custeio de serviços de energia elétrica.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação teve como objetivo verificar o nível de eficiência energética de uma edificação da Administração Pública Federal, especificamente, do Exército Brasileiro, por meio da análise de um estudo de caso. A construção escolhida para a análise foi o *Aquartelamento da Comissão Regional de Obras de São Paulo*, denominado *Aquartelamento do Cambuci*. A questão central que se procurou responder foi se a referida edificação atendia o nível desejável de eficiência energética, de acordo com os critérios estabelecidos pelo programa *PROCEL EDIFICA*, haja vista que este é o programa oficial pelo qual as edificações passaram a ser avaliadas a partir de 2003.

Para a realização deste objetivo, o trabalho foi subdividido em quatro capítulos. Conforme visto, foi apresentado um breve histórico acerca de políticas públicas e de programas desenvolvidos nos âmbitos internacional e nacional relativos ao tema da Eficiência Energética (EE). Dentre os principais marcos que contribuíram para a inserção da agenda de EE no mundo, destacaram-se: (i) a Conferência das Nações Unidas em Estocolmo (1972), que ressaltou o fato de como os impactos ambientais de cada país, individualmente, afetavam o planeta como um todo; (ii) o evento Rio-92 (1992), que cunhou os termos “desenvolvimento sustentável” e “construção sustentável”, ambos explicitados na publicação da “Agenda 21”; e (iii) a 21ª Conferência das Partes das Nações Unidas (2015), que estabeleceu o Acordo de Paris, cujo objetivo voltou-se a alcançar reduções das emissões de gases do efeito estufa pelos países participantes do acordo.

No âmbito nacional mereceram também menção importantes iniciativas. Os marcos iniciais foram: a criação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), em 1984, bem como a criação do Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica (PROCEL), no ano seguinte. Destacou-se ainda, no ano de 2001, a promulgação da Lei de Eficiência Energética (Lei nº 10.295/2001), que dispôs sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Para os casos de eficiência energética relativa ao setor da construção civil, em 2003, foi criado um Grupo Técnico conhecido como “GT- Edificações”, seguido da implementação de um subprograma do PROCEL, o *PROCEL EDIFICA*. Tais iniciativas culminaram com a Instrução Normativa SLTI nº 2/2014, a qual foi determinada pelo Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG), estabelecendo que os edifícios da Administração Pública Federal direta,

autárquica e fundacional, novos ou submetidos a *retrofit*, deveriam ser obrigatoriamente certificados quanto a seus níveis eficiência energética.

Ademais, em virtude da preocupação com a eficácia das medidas de Eficiência Energética, e tendo em vista o fato de o setor de construção civil ter sido o foco do presente estudo, foi feita uma análise dos principais fatores responsáveis pelo consumo de energia elétrica nas edificações. Dessa maneira, por meio da revisão da literatura dedicada a esse tema, foram identificados os fatores que mais impactam o consumo de energia elétrica de uma edificação, dentre os quais se destacaram: (i) a localização e o clima em que se insere a edificação; (ii) os materiais construtivos utilizados; (iii) o tipo do edifício, se residencial ou comercial, público ou privado; (iv) os hábitos de uso da energia pelos ocupantes; e (v) a eficiência dos equipamentos.

A importância da escolha das características da envoltória durante a fase de construção das edificações também foi vista como um dos aspectos mais relevantes para obtenção da EE. Com efeito, conforme indicado, a envoltória teria influencia diretamente nos sistemas de iluminação e de condicionamento de ar, que são os que mais consomem energia em uma edificação comercial ou pública. Assim, foram apresentados alguns dos avanços tecnológicos existentes para esses dois sistemas – *de iluminação e de condicionamento de ar* – que poderiam aportar maior eficiência. Dentre eles, o uso de lâmpadas LED e de aparelhos de ar condicionado do tipo *split inverter* se mostraram os mais relevantes.

Outro aspecto relativo ao consumo de energia elétrica nas edificações que mereceu atenção foram os dispêndios financeiros a ele associados. Sobre esse quesito, conforme visto ainda no Capítulo 2, a Agência Nacional de Energia Elétrica estabeleceu que os valores cobrados por kWh na tarifa de energia deveriam incorporar os custos relativos às externalidades negativas associadas ao consumo energético. Além disso, para os consumidores deveria ser sinalizado o fato de que a energia elétrica é um serviço escasso. Portanto, no Brasil, assim como em muitos outros países, o custo da energia não seria desprezível e a busca pela eficiência se mereceria ser buscada. O Capítulo 2 também mostrou que os desembolsados do Exército Brasileiro com serviços de energia elétrica, no período de 2016 a 2019, foram significativos, atingindo aproximadamente R\$ 700 milhões.

Por fim, foram identificadas e analisadas algumas certificações de sustentabilidade em edificações. Tais certificações têm sido das formas pelas quais as políticas públicas e os

programas de EE vem se concretizando na prática. Dentre as certificações, mereceram destaque: (i) o LEED, que é dado a construções novas, a projetos de *retrofit*, e a bairros sustentáveis; e (ii) o AQUA, que avalia a construção considerando sua natureza arquitetônica, a tecnologia nela empregada, e sua gestão.

O Capítulo 3, dedicado à análise propriamente dita à luz da revisão realizada no capítulo anterior, apresentou inicialmente a estrutura metodológica aplicada ao estudo de caso da pesquisa. O programa escolhido para balizar o estudo de caso foi o *PROCEL EDIFICA*, uma vez que, por meio desse Programa as edificações públicas buscam cumprir a determinação prevista na Instrução Normativa SLT nº 2/2014 do MPOG. Em seguida, partiu-se para análise do estudo de caso escolhido: o *Aquartelamento da Comissão Regional de Obras de São Paulo*.

Para o estudo de caso realizado foram identificadas as características funcionais e construtivas do Aquartelamento e as dos seus três sistemas energéticos – *sistema da envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar*. Por se dedicar, principalmente, à elaboração de projetos e de fiscalização de obras do Exército Brasileiro, as atividades do Aquartelamento são, predominantemente, de escritório, o que definia suas necessidades de uso de energia.

Para o Aquartelamento foram levantados dados referentes: (i) à localização e ao clima da região; (ii) aos materiais construtivos e às características da envoltória; e (iii) aos equipamentos que compõe o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar do edifício. As faturas de energia elétrica, com consumo em kWh e custo em reais, no período de janeiro de 2012 a dezembro de 2019, também foram apuradas.

Com o levantamento de dados finalizado, analisou-se, individualmente, o nível de EE de cada um dos sistemas supracitados, bem como da construção como um todo. Vale relembrar que essa análise foi realizada de acordo com a metodologia de cálculo do *PROCEL EDIFICA*, que está descrita no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), criado pelo Programa. Conforme visto, no RTQ-C estão previstas duas metodologias de cálculo para identificar o nível de EE de uma edificação: o método prescritivo e o de simulação. Optou-se pelo uso do método prescritivo nesta pesquisa, conforme justificado no Capítulo 3.

Diante dos resultados obtidos, após a realização da análise do *Aquartelamento do Cambuci*, objeto do estudo de caso desta dissertação, foi possível classificar o nível de EE final

da construção satisfazendo o objetivo central deste trabalho. Considerando a análise individualizada dos sistemas, constatou-se que para o *sistema da envoltória* do Aquartelamento o nível parcial de EE foi o nível E. Esse resultado foi obtido após o cálculo do índice de consumo da envoltória da construção e da análise dos pré-requisitos específicos desse sistema, como prevê o método escolhido do RTQ-C.

Dentre esses pré-requisitos analisados, as características da *transmitância térmica* e da *absortância térmica* da cobertura do Aquartelamento foi o responsável por classificar o nível mínimo de EE para esse *sistema*. Isso porque, a cobertura dessa edificação é composta por telhas de fibrocimento e laje maciça, com uma camada de ar entre elas, sendo sua *transmitância térmica* de valor igual a 2,06 W/m².K. No caso da *absortância térmica* da cobertura, essa representou valor igual a 0,8. Esses valores limites se enquadram no nível E de EE, como define o RTQ-C. Em consequência disso, devido às características construtivas da cobertura do Aquartelamento, o nível de EE do *sistema da envoltória* do Aquartelamento foi definido como o nível mínimo de EE previsto no RTQ-C.

Quanto ao *sistema de iluminação* do Aquartelamento, este atingiu o nível A de EE após o cálculo do Equivalente Numérico da Densidade de Potência de Iluminação (*EqNumDPI*) e após a análise dos pré-requisitos específicos deste sistema. Em se tratando de tais pré-requisitos, foram verificados: (i) a divisão de circuitos; (ii) a contribuição da luz natural; e (iii) o desligamento automático da iluminação dos ambientes. Os itens “i” e “ii” foram atendidos pelo Aquartelamento. O item “iii” não se aplica já que, no Aquartelamento, não existem ambientes internos com área superior a 250 m². Assim, para o *sistema de iluminação*, a classificação encontrada foi de nível A de EE.

Quanto ao *sistema de condicionamento de ar* do Aquartelamento, este foi classificado com o nível C de EE. Observou-se que todos os equipamentos instalados nos ambientes internos da edificação relativos a esse sistema estavam etiquetados com Selo PROCEL. A partir daí o cálculo do Equivalente Numérico de Condicionamento de Ar (*EqNumCA*), pode ser encontrado, resultando na classificação de nível C de EE para o *sistema de condicionamento de ar*. No tocante aos pré-requisitos específicos para esse *sistema*, estes só se aplicam para os casos em que o nível A de EE tenha sido encontrado, o que não foi o caso.

Os resultados obtidos para cada *sistema*, separadamente, levaram à definição do nível de EE geral do *Aquartelamento do Cambuci*, enquadrando-o no nível B de EE. Entretanto, a

metodologia do RTQ-C pressupõe que após essa classificação ainda se verifiquem alguns pré-requisitos gerais para a construção. Um desses pré-requisitos está relacionado aos circuitos elétricos da edificação. Estes circuitos devem estar separados por uso final da energia elétrica ou pelo menos deve haver no local um equipamento que possibilite a medição individualizada dos usos finais de cada circuito. Como foi constatado que no *Aquartelamento do Cambuci* havia a divisão dos circuitos elétricos por uso final, esse pré-requisito foi atendido. Embora constem outros pré-requisitos gerais na metodologia prescritiva do RTQ-C, tais pré-requisitos tratam dos sistemas de aquecimento de água da construção e do isolamento das tubulações do sistema hidrossanitários, os quais não se aplicam ao *Aquartelamento*.

Dessa maneira, integrando-se a análise dos pré-requisitos gerais à classificação geral da edificação analisada, o *Aquartelamento da Comissão Regional de Obras do Estado de São Paulo* manteve-se no nível B de EE, ficando, portanto, aquém do nível A, que seria o desejável. Assim, à questão central da pesquisa foi respondida com a confirmação da hipótese inicial de que o nível de EE dessa edificação não seria a de maior classificação. Por consequência, constatou-se também que haveria espaço para otimização do nível de EE encontrado com consequente redução do consumo de energia elétrica do *Aquartelamento*.

Dentre as propostas de melhorias apresentadas, que poderiam elevar o nível de EE do *Aquartelamento* sugeriu-se, inicialmente, focar nos sistemas *da envoltória e de condicionamento de ar*. Conforme visto, esses *sistemas* não atingiram o nível máximo de eficiência desejável e contribuíram para a avaliação geral do *Aquartelamento* não ter sido a máxima.

A proposta de melhoria para o primeiro sistema mencionado, *da envoltória*, sugere a substituição dos materiais construtivos da cobertura atual. A *transmitância térmica* necessária para esse novo material deverá ser menor ou igual a $1,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. e a *absortância térmica* menor que 0,5. Dessa maneira, propõe-se a substituição da telha de fibrocimento existente no local por telha metálica de alumínio com isolamento térmico de poliuretano, cuja *transmitância térmica* é de $0,55 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e a *absortância* é de 0,05, sendo um material facilmente encontrado no mercado. Dessa forma, o nível de EE atingido passaria a ser o classificado como A, visto que foram estes pré-requisitos de *transmitância térmica* e de *absortância térmica* da cobertura que, inicialmente, haviam reduzido o nível de EE calculado para a envoltória.

Ao se analisar a aplicabilidade desta proposta de melhoria para o caso de o *Aquartelamento do Cambuci* estar localizado em outras zonas bioclimáticas, as conclusões variaram de acordo com essas zonas. Nas zonas bioclimáticas onde se localizam, por exemplo, as cidades de Itajubá, Presidente Prudente e Rio de Janeiro, que são as zonas ZB-2, ZB-6 e ZB-8, respectivamente, concluiu-se que a proposta de nova cobertura teria a aplicabilidade desejada. Já no caso das zonas bioclimáticas ZB-1, ZB-4, 5 ZB-5 e 7 ZB-7, onde se localizam, por exemplo, as cidades de Campos do Jordão, São Carlos, Santos e Picos, respectivamente, a proposta apresentada não seria suficiente para tornar o *sistema da envoltória* nível máximo de eficiência.

Para o sistema de *condicionamento de ar* do Aquartelamento, as melhorias propostas voltaram-se à substituição dos equipamentos que não possuíam classificação nível “A” de eficiência, de acordo com o estabelecido pelo INMETRO. Portanto, seria necessária a troca de todos os equipamentos de classificação nível “D” de eficiência instalados no Aquartelamento e de pelo menos dois equipamentos de classificação nível “C” de eficiência dentre os que lá havia. A capacidade de refrigeração de cada aparelho foi mantida nessa proposta de substituição. Propôs-se, ainda, que para as futuras aquisições de equipamentos de condicionamento de ar, por meio de processos de licitação, fosse exigido o Selo PROCEL, correspondente à máxima eficiência, nas especificações técnicas para todos os equipamentos.

Para o caso do *sistema de iluminação* do Aquartelamento, como o nível A de EE já havia sido identificado, as propostas sugeridas objetivaram a redução do consumo de energia elétrica, em kWh, e dos dispêndios financeiros associados a esse uso final na construção. Isso porque foi constatado que o consumo de energia elétrica poderia ser ainda menor se houvesse substituição de lâmpadas fluorescentes, existentes na edificação, por lâmpadas LED de luminância equivalente. Tal proposta proporcionaria, em um ano, uma redução no consumo de energia, em kWh, em média, de 47%. Em consequência disso, os gastos com tarifa de energia elétrica também seriam menores.

Por fim, vale mencionar que dentre as limitações encontradas ao longo do desenvolvimento deste trabalho, a que se refere ao levantamento de dados do consumo de energia elétrica do Aquartelamento merece menção. Isso porque os circuitos elétricos dos *sistemas de iluminação e de condicionamento de ar* no Aquartelamento não puderam ter seus consumos individualizados medidos de maneira precisa. O uso de um analisador de energia, que mede o consumo em kWh a cada 15 minutos, resolveria esse problema, porém, tal

equipamento não pôde ser instalado na entrada de energia do Aquartelamento por se tratar de uma edificação pública militar e não ter havido autorização para isso durante esta pesquisa. Porém, isso não evitou que fosse feita a análise da contribuição do *sistema de iluminação* no consumo de energia elétrica do Aquartelamento e fossem propostas medidas de eficiências energética para esse sistema

Para aprofundar o tema em questão, sugere-se que seja realizado um estudo de caso desse mesmo Aquartelamento utilizando-se o *método da simulação*. Isso poderá ser feito com a utilização dos mesmos parâmetros já obtidos no *método prescritivo* aplicado no presente trabalho.

Adicionalmente, seria também possível aprofundar o trabalho aqui realizado através de um estudo que analisasse o retorno do investimento financeiro em virtude da implementação da proposta indicada na presente pesquisa. Seria uma avaliação financeira do investimento necessário para transformar o Aquartelamento no nível A de EE, tendo em vista os benefícios da redução nos custos associados ao pagamento da energia elétrica.

Por fim, o resultado encontrado contribuiu para ressaltar a importância da verificação do nível de EE de construções da Administração Pública. Conforme visto, a implementação de algumas das propostas sugeridas pode posicionar o Aquartelamento no nível mais elevado de EE. O uso final de energia elétrica de forma eficiente permite uma redução dos recursos públicos despendidos nesse serviço.

Por se tratar de uma edificação do Exército Brasileiro, os resultados obtidos podem ganhar escala em território nacional. Isso porque é possível a aplicabilidade do estudo em outras construções de mesmo padrão existentes no país. Assim sendo, ao tornar mais eficiente o uso final da energia em suas instalações, o Exército conseguirá reduzir seus dispêndios financeiros associados aos serviços de energia elétrica, liberando recursos para suas atividades finalísticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTOÉ, L.; et.al. **Políticas públicas de incentivo à eficiência energética**. Revista Estudos Avançados, [S. l.], v. 31, n. 89, 2017.
- American Council for an Energy-Efficient Economy - ACEEE. The 2018 International Energy Efficiency Scorecard. Whashington: ACEEE, 2018.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **Standard 90.1-2007: Energy standard for buildings except low-rise residential buildings**. Atlanta, 2007.
- Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2019: Ano base 2018 / Empresa de Pesquisa Energética Nacional. - Rio de Janeiro : EPE, 2019.
- Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020: Ano base 2019 / Empresa de Pesquisa Energética Nacional. - Rio de Janeiro : EPE, 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **"Como é composta a tarifa de energia elétrica"** 2016. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em: 1 jun. 2020
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa nº 464, de 22 de novembro de 2011**. Aprova os Procedimentos de Regulação Tarifária. Diário Oficial da União, Brasília – DF, 28 de novembro de 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificação**. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005.
- AWADH, O. **Sustainability and green building rating systems: LEED, BREEAM, GSAS and Estidama critical analysis**. Journal of Building Engineering, [S. l.], v. 11, n. 80, p. 25–29, 2017.
- Balanço Energético Nacional 2019: Ano base 2018/ Empresa de Pesquisa Energética. - Rio de Janeiro: EPE, 2019.
- BARRETO, T. A. **Estudo de Eficiência Energética dos terminais de passageiros do Aeroporto Internacional Porto Alegre/Salgado Filho pelo método Procel Edifica**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Vale do Rio do Sino, São Leopoldo, Porto Alegre, 2016.
- BATISTA, et.al. **Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais**. Engenharia Sanitária e Ambiental, [S. l.], v. 20, n. 4, p. 595–602, 2015.
- BENAVIDES, R. **A auditoria energética como ferramenta para o aproveitamento do potencial de conservação da energia: o caso das edificações do setor educacional**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- BRASIL. Decreto nº 4059 de 19 de dezembro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação de Energia Brasil, 2001.

- CALDEIRA, N. N. **Concepção Arquitetônica para a Eficiência Energética de Edificações**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- CALDEIRA, R. **White Certificates: Uma proposição para aumentar os níveis de eficiência energética no setor elétrico brasileiro**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- CARLO, J. C. **Diferenças na simulação do consumo de energia elétrica em edificações decorrentes do uso de arquivos climáticos de sítios e anos distintos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. **Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo**. *Ambiente Construído*, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 7–26, 2010.
- CASTRO, H. F. **Geração Distribuída Fotovoltaica no 15º BLog: Proposta para racionalização dos gastos com energia elétrica na vida vegetativa da OM**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais, Rio de Janeiro, 2018.
- CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES - CB3E. **Proposta de método para a avaliação da eficiência energética com base em energia primária de edificações comerciais, de serviços e públicas**. 2017. Florianópolis. Disponível em: <www.cb3e.ufsc.br>. Acesso em: 5 abr. 2020
- CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA - CEPEL. **Guia para efficientização energética nas edificações públicas**. Rio de Janeiro. 2014
- CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL - CBCS. **Selo Casa Azul Boas práticas para habitação mais sustentável**. 2010.
- COTA, S. **Análise Energética de um Edifício Público**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Politécnico de Bragança, São Paulo, 2014.
- DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT (DCLG). **Improving the energy efficiency of our buildings: A guide to display energy certificates and advisory reports for public buildings**. London, 2015.
- DIRETORIA DE OBRAS MILITARES (DOM). **Caderno de Orientações: EB Sustentável**. Brasília, 2019.
- ELETROBRAS. **Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações**. Rio de Janeiro, 2013.
- ELETROBRAS. **Manual para Aplicação do RTQ-C**. Rio de Janeiro, 2016.
- ESTEVES, E. G. Z., *et al.* **Decomposição estrutural das emissões de CO₂ do BRIC**. *Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos*, [S. l.] v. 11, n. 3, p. 293–313, 2017.
- ESTRELA, C. C.; POTT, C. M. **Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento**. *Revista Estudos Avançados*, [S. l.], v. 31, n. 89, p. 271–283, 2017.
- EXÉRCITO BRASILEIRO. **Normas para Sistematização dos Procedimentos para Conservação de Energia no Exército Brasileiro**. Brasília, 2001.
- EXÉRCITO BRASILEIRO. **Caderno de instrução sobre orientações praticas para adequação ambiental em Organizações Militares (EB50CI-04.006)**. Brasília, 2019.
- FERRARI, A. H. **De Estocolmo, 1972 a Rio+20, 2012: o discurso ambiental e as orientações para a educação ambiental nas recomendações internacionais**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2014.

FERREIRA, S. O., *et al.* **Comparativo econômico entre condicionadores de ar com tecnologias convencional e inverter.** XXXV Encontro nacional de Engenharia de Produção. Perspectivas globais para a engenharia de produção. Fortaleza, 2015.

GBC BRASIL. **Compreenda o LEED.** 2017. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/wp-content/uploads/2017/09/Compreenda-o-LEED-1.pdf>. Acesso em: 1 abr. 2020.

GRÜNBERG, P. R. M.; *et al.* **Certificação Ambiental de Habitações: Comparação entre Leed for Homes, Processo Aqua e Selo Casa Azul.** Revista Ambiente & Sociedade, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 195–214, 2014.

HALAWA, E., *et al.* **A review on energy conscious designs of building façades in hot and humid climates: Lessons for (and from) Kuala Lumpur and Darwin.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, [S. l.], v. 82, p. 2147–2161, 2018.

IEA. **World Energy Outlook 2018.** 2018. Disponível em: <www.iea.org> Acesso em: 1 jun. 2020.

IEA. **Global Energy & CO2 Status Report 2019.** 2019. Disponível em: <www.iea.org/reports> Acesso em: 1 jun. 2020.

INMETRO. **Requisitos técnicos da qualidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C),** Rio de Janeiro, 2010.

INMETRO. **Retificações nos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).** Rio de Janeiro, 2012.

INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).** Rio de Janeiro, 2013.

INMETRO. **Tabela de consumo/eficiência de condicionadores de ar.** Disponível em :< <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>> Acesso em: 1 de maio 2020.

INMETRO. **Aperfeiçoamento dos Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética de Edificações.** Rio de Janeiro, 2013.

KOHN, T., *et al.*, **20 anos de registros de patentes sustentáveis.** Conferências Das Nações Unidas Sobre Meio Ambiente E Desenvolvimento Sustentável, 2017.

LAMBERTS, *et al.* **Eficiência energética na arquitetura.** Rio de Janeiro, 2014.

LAMBERTS, R., *et al.* **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas (v. 4), ANEXO V.** 4ª ed. Florianópolis: UFSC, 2010.

LAMBERTS, R.; *et al.* **Brasil, plano nacional de Eficiência Energética, etiquetagem e o selo Casa Azul da Caixa.** In: **EDIFÍCIO AMBIENTAL 2015**, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

LAMBERTS, R. **Desempenho térmico de edificação: aula 13 etiquetagem de eficiência energética em edificações – RTQ-R e RTQ-C.** Florianópolis, 2017.

MACIEL, A. C. F. **Análise da Demanda Energética para Climatização de Fachadas Ventiladas para Regiões Climáticas Brasileiras.** Dissertação (Doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

MACIEL, E.; NASCIMENTO, A. L. **Certificado Ambiental de Edifícios AQUA, LEED E PROCEL Edifica.** Monografia, Centro Universitário Fundação Santo André, São Paulo, 2010.

MARTIGNAGO, R. A.; *et al.* **Os custos de energia elétrica das empresas de Santa Catarina e a viabilidade econômica de migração para o Ambiente de Contratação Livre.** In: XXIV Congresso Brasileiro de Custos 2017, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis

MARTINS, B. C. **Arquitetura e urbanismo: Planejando e Edificando espaços.** Ponta Grossa: Atena Editora, 2019.

MESTRIA, M.; VARGAS, M. Eficiência energética em edificações residenciais: iluminação e refrigeração. In: XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção 2015, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações.** Rio de Janeiro, 2013.

MINISTÉRIO DE PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTÃO (MP). **Painel de Custeio Administrativo 2020.** Disponível em: <www.paineldecusteio.planejamento.gov.br/custeio.> Acesso em: 1 jan. 2020.

MINISTÉRIO DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO (MPOG). **Regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebem retrofit.** Brasília, 2014.

MINISTÉRIO DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO (MPOG). **Boletim de Custeio Administrativo. 2018.** Disponível em: <www.planejamento.gov.br/servicos/central-de-conteudos/boletim-de-custeio-administrativo>. Acesso em: 1 abr. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Portal do Ministério do meio Ambiente-Clima-Convenção das Nações Unidas. 2019. Disponível em: <www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/a-cordo-de-paris> Acesso em: 1 jun. 2019.

MORAES, F. A. **Impacto econômico das bandeiras tarifárias nos processos tarifários das distribuidoras de energia elétrica.** Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, 2018.

MOURA, V. **Certificação Ambiental de Edificações: Modelos de Conformidade e Processos de implantação.** Monografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

PARENTE, V. O potencial mal explorado da integração do suprimento de energia elétrica na América Latina: uma breve reflexão. In: (Leonardo Nemer Caldeira Brant, Org.) **DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MATRIZ ENERGÉTICA NA AMÉRICA LATINA: A UNIVERSALIZAÇÃO DO ACESSO À ENERGIA LIMPA 2016**, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: Centro de Direito Internacional, 2016.

PEREIRA, D. C. L. **Daylighting in Office Buildings: a methodology for evaluation luminous performance.** Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

PRADO, C. **Eficiência Energética em edificações públicas: aplicação em projeto padrão de fóruns do poder judiciário alagoano.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA (PROCEL). **Resultados do PROCEL - ano base 2018.** 2019. Disponível em: <www.procelinfo.com.br>. Acesso em: 1 mar. 2020.

ROCHA, R. K. **Certificação leed de edificações: aspectos relacionados a materiais e recursos. Certificação LEED de edificações: aspectos relacionados a materiais e recursos.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

RODRIGUES, Marcus Vinicius de Paiva. **Avaliação da eficiência energética de edificações residenciais em fase de projeto: análise de desempenho térmico pelo método prescritivo e por simulação computacional aplicados a estudo de caso de projeto-tipo do Exército Brasileiro.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2015.

SCHUTZE, A. M.; REZENDE, L. B. **A Demanda de Energia Elétrica no Brasil.** Tese (Doutorado) – Pontifícia Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

SECRETARIA DE ECONOMIA E FINANÇAS (SEF). **Cartilha: Medidas de Racionalização de Despesas com Atividades de Apoio Administrativo.** 1ª ed. Diretoria de Gestão Orçamentária. Brasília, 2019.

SISTEMA DE CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA (SCE). **Sistema de Certificação Energética de Edifícios 2019.** 2019. Disponível em: <http://www.sce.pt/certificacao-energetica-de-edificios-3/consumidores>. Acesso em: 10 mar. 2019.

SOUZA, A. P. A. D. **Uso da energia em edifícios: estudo de caso de escolas municipais e estaduais de Itabira, Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica, Minas Gerais, 2012.

TAVARES, L. R.. **Eficiência Energética em edificações: aplicação do RTQ-C – Requisitos Técnicos da Qualidade para o nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – na cidade de Uberlândia – MG.** Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

TEODORO, M. I. M. **O código de obras como instrumento regulatório de eficiência energética em edificações residenciais: Proposições para o município de São Paulo.** Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

TEODORO, M. I. M. **Energia Embutida na construção de edificações no Brasil: contribuições para o desenvolvimento de políticas públicas a partir de um estudo de caso em Mato Grosso do Sul.** Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

YOKOO, N.; YOKOYAMA, K. **Evaluation of Embodied Energy and CO₂eq for Buildings Construction (Annex 57).** Overview of Annex 57 Results. Japan. Institute for Building Environment and Energy Conservation, 2016.