

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JULIANA GRILLO DA SILVA MADEIRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO E DESEMPENHO DA
ENVOLTÓRIA MEDIANTE AÇÕES DE RETROFIT EM EDIFICAÇÃO
PÚBLICA ESCOLAR**

VITÓRIA
2019

JULIANA GRILLO DA SILVA MADEIRA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO E DESEMPENHO DA
ENVOLTÓRIA MEDIANTE AÇÕES DE RETROFIT EM EDIFICAÇÃO
PÚBLICA ESCOLAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ing. João Luiz Calmon Nogueira da Gama

VITÓRIA
2019

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

G859a Grillo da Silva Madeira, Juliana, 1975-
Avaliação do ciclo de vida energético e desempenho da
envoltória mediante ações de Retrofit em edificação pública escolar
/ Juliana Grillo da Silva Madeira. - 2019.
195 f. : il.

Orientador: João Luiz Calmon Nogueira da Gama.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Avaliação do ciclo de vida (ACV). 2. Avaliação do ciclo de
vida energético (ACVE). 3. Retrofit. 4. Desempenho ambiental.
5. Desempenho térmico envoltória. 6. Sustentabilidade de
edificações. I. Calmon Nogueira da Gama, João Luiz. II.
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III.
Título.

CDU: 624

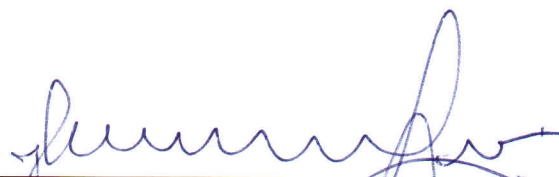
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO E DESEMPENHO DA ENVOLTÓRIA MEDIANTE AÇÕES DE RETROFIT EM EDIFICAÇÃO PÚBLICA ESCOLAR

Juliana Grillo da Silva Madeira

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de Construção Civil.

Aprovada no dia **01 de fevereiro de 2019** por:



Prof. Dr. João Luiz Calmon Nogueira da Gama
Doutor em Engenharia Civil
Orientador – UFES



Profa. Dra. Cristina Engel de Alvarez
Doutora em Arquitetura e Urbanismo
Examinadora Interna - UFES



Profa. Dra. Edna Aparecida Nico Rodrigues
Doutora em Arquitetura e Urbanismo
Examinadora Externa - UFES-DAU

Vitória – ES, fevereiro de 2019

A Humanidade precisa de sonhos para suportar a miséria.

Oscar Niemayer

AGRADECIMENTOS

A palavra que não sai da minha mente é superação. Não foi fácil conciliar trabalho, aulas, produção de artigos, a própria dissertação, afazeres domésticos, enfim... mas o aprendizado nesse processo não tem preço. O mestrado contribuiu sobretudo para a prática da paciência e para entender que tudo vem a seu tempo.

Agradeço ao meu esposo e aos meus pais, companheiros nessa jornada, a quem dedico esse trabalho. Aos meus amigos que não me tiveram por perto durante todo esse tempo...

Muita gratidão a amiga e companheira de LabesBIM, Thais Sartori, pela escuta e ajuda com o programa de simulação. À Fabrícia Rembisk pelo incentivo com tardes de estudo e generosidade na leitura do trabalho.

Ao querido professor e orientador João Luiz Calmon, pela dedicação, palavras de conforto e puxões de orelha, quando necessário. Obrigada por acreditar que apesar do tempo de formada e fora do contato com a pesquisa acadêmica, eu teria potencial.

Aos membros da banca por aceitarem participar da avaliação deste trabalho e por compartilhar seus conhecimentos nesta ocasião.

Agradeço também a Secretaria de Educação, a Arquiteta Claudia Miller e a Engenheira Márcia Abreu, ambas da Prefeitura Municipal de Vitória, por compartilharem solícitamente dados projetuais e orçamentários tão necessários à pesquisa. Agradeço também a Renato Pedrotti, a quem conheci em fórum de discussão na internet pela disponibilidade em esclarecer dúvidas relativas à simulação, quando ninguém mais sabia e tudo parecia que não iria a frente.

Aos professores do mestrado por partilharem o conhecimento com tanta dedicação. À Ingrid e ao Sidney, importantes nos processos burocráticos do mestrado.

Enfim, agradeço sobretudo à Deus, por permitir que tudo isso fosse possível.

RESUMO

As comunidades da Arquitetura, Engenharia e Construção vêm sendo motivadas a gerir os recursos das construções de modo mais eficiente. O apelo à sustentabilidade, a questão da escassez de recursos, a vida útil das edificações, a necessidade de reduzir custos de operação, as leis mais rígidas, e certa tendência ao reuso e a reciclagem de componentes, são responsáveis por tal postura. Como muitos dos impactos causados pela construção civil advém do consumo de energia das edificações e a fase de operação das mesmas representa o maior período e também o maior consumo energético do seu ciclo de vida, a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE) é essencial para demonstrar e quantificar tais impactos. Ao mesmo tempo, os processos de *retrofit* têm potenciais aplicações em edificações existentes, visto que reduzem os impactos causados pela construção de novas edificações, podendo ainda aumentar a eficiência operacional e energética através da incorporação de novas tecnologias e conceitos. O objetivo desta pesquisa consiste em avaliar o desempenho da envoltória e ciclo de vida energético de edificação pública escolar, mediante ações de *retrofit*. Para a demonstração dos resultados, foi selecionado como modelo um CMEI padrão do Município de Vitória - ES. Para a análise do desempenho da envoltória o método empregado foi a simulação computacional, utilizando-se o *software EnergyPlus*. Para a ACVE foram consideradas a energia incorporada e operacional, e emissões de CO₂ em cada etapa, comparando a situação atual da edificação e as ações propostas de *retrofit*. Dentre as medidas mais eficazes estão a fachada ventilada e a substituição da cobertura por telha sanduiche, tanto para desempenho da envoltória, quanto para o ciclo de vida energético da edificação. Espera-se auxiliar a tomada de decisões pelos agentes envolvidos no processo, quanto a viabilidade da adoção de materiais e sistemas construtivos que visem a redução do consumo energético e impacto ambiental da edificação pública.

ABSTRACT

The Architecture, Engineering and Construction communities have been motivated to manage the building resources more efficiently. The call for sustainability, the question of scarce resources, the useful life of buildings, the need to reduce operating costs, stricter laws, and a certain tendency to reuse and recycle components, are responsible for such a position. As many of the impacts caused by the construction industry come from the energy consumption of the buildings and the phase of their operation represents the longest period and also the highest energy consumption in its life cycle, the Energy Life Cycle Assessment (ACVE) is essential to demonstrate and quantify such impacts. At the same time, retrofit processes have potential applications in existing buildings, since they reduce the impacts caused by the construction of new buildings, and can increase operational and energy efficiency through the incorporation of new technologies and concepts. The objective of this research is to evaluate the performance of the envelopment and energetic life cycle of public school buildings, through retrofit actions. For the demonstration of results, a standard CMEI of the Municipality of Vitória - ES was selected as the model. In order to analyze the performance of the envelope, the method used was the computational simulation, using the EnergyPlus software. For ACVE, the incorporated and operational energy and CO₂ emissions were considered at each stage, comparing the current situation of the building and the proposed retrofit actions. Among the most effective measures are the ventilated façade and the replacement of the roof covering, both for envelopment performance and for the energetic life cycle of the building. It is hoped to help decision-makers by the agents involved in the process, as to the feasibility of adopting materials and construction systems aimed at reducing the energy consumption and environmental impact of public building.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCV	Associação Brasileira de Ciclo de Vida
ABNT	Associação Brasileiras de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ACVC	Avaliação do custo do Ciclo de Vida
ACVCO₂	Avaliação do Ciclo de Vida de Emissões de CO ₂
ACVE	Avaliação do Ciclo de Vida energético
ACV-m	Avaliação do Ciclo de Vida modular
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AMCC	Ana Maria Chaves Colares
ANSI	American National Standards Institute
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CB	Comitê Brasileiro
CBGCV	Congresso Brasileiro de Gestão do Ciclo de Vida
CETEA/ITAL	Centro de Tecnologia de Embalagem do Instituto de Tecnologia de Alimentos
CI	Carbono Incorporado
CII	Carbono Incorporado Inicial
CICE	Comissão Interna de Conservação de Energia
CID	Carbono Incorporado Desperdiçado
CIR	Carbono Incorporado Recorrente
CMEI	Centro Municipal de Educação Infantil
CR	Consumo Relativo de Refrigeração
CT	Capacidade Térmica
DAP	Declarações Ambientais de Produto
DOE	<i>Department of Energy</i>
EE	Eficiência Energética
EI	Energia Incorporada
EI	Energia Incorporada Inicial
EID	Energia Incorporada de Desperdício

EIR	Energia Incorporada Recorrente
EN	Norma Européia
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EO	Energia Operacional
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FDT	Frequência de Desconforto Térmico
FM	<i>Facility Management</i>
GAN	Grupo de Apoio à Normalização Ambiental
GEAS	Global Environmental Alert Service
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
HIS	Habitação de Interesse Social
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ICC	Indústria da Construção Civil
ICV	Inventários de Ciclo de Vida
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LabesBIM	Laboratório de Engenharia Simultânea e BIM
LCA	<i>Life Cycle Analyses</i>
LCE	<i>Life Cycle Energy</i>
LCI	<i>Life Cycle Initiative</i>
MRI	<i>Midwest Research Institute</i>
NBR	Norma Brasileira
NZEB	<i>Nearly zero energy buildings</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PA	Período de Amortização
PBACV	Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PBE EDIFICA	Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações
PMV	Prefeitura Municipal de Vitória
PNEF	Plano Nacional de Eficiência Energética

PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
POC	Percentual de Horas em Conforto
PPGEC	Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROCEL -GEM	Procel – Gestão energética municipal
PROCEL-EPP	Procel – Eficiência Energética em prédios públicos
R	Resistência
RCE	Redes de Cidades Eficientes em Energia Elétrica
RTQ	Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética
RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência para edificações comerciais, de serviço e públicas
RTQ-R	Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência para edificações residenciais
SETAC	<i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
SEMOB	Secretaria Municipal de Obras
SEMOHAB	Secretaria Municipal de Obras e Habitação
TCPO	Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos
TRY	<i>Test Reference Year</i>
U	Transmitância
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
UFSCAR	Universidade Federal de São Carlos
UNEP	United Nations Environment Programme
VUP	Vida Útil de Projeto
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>
ZB	Zona Bioclimática

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de ACVE e <i>retrofit</i> de edificações	34
Figura 2 - Consumo energético brasileiro por setores.....	36
Figura 3 - Consumo energético setor público.....	37
Figura 4 - Estrutura de uma ACV	43
Figura 5 - Etapas de uma ACV de edificações.....	47
Figura 6 - Cadeia do uso de energia	49
Figura 7 - Ciclo de vida energético de uma edificação.....	51
Figura 8 - Zoneamento bioclimático brasileiro, destaque para cidade de Vitória – Espírito Santo.....	59
Figura 9 – Número de publicações por País	66
Figura 10 – Número de publicações por autor	66
Figura 11 – Resumo gráfico da metodologia.....	80
Figura 12 - Limites do sistema considerado no estudo	82
Figura 13 - Localização do CMEI AMCC.....	83
Figura 14 - Localização do terreno do CMEI AMCC	84
Figura 15 - Fachada principal do CMEI.....	84
Figura 16 e 17 - Vistas entorno imediato.....	85
Figura 18 e 19 – Outras vistas do entorno imediato.....	85
Figura 20 - Planta baixa pavimento térreo CMEI.....	87
Figura 21 - Planta baixa pavimento superior CMEI	87
Figura 22 - Detalhe das janelas.....	89
Figura 23 - Abertura através de <i>cobogós</i>	89
Figura 24 – Simplificação para cálculo da espessura e densidade equivalentes	90
Figura 25 - Imagem do modelo energético.....	91
Figura 26 - Padrão de ocupação Salas de aula, Área Pedagógica, Área Cozinha, Biblioteca, circulações e pátios para os dias da semana	94
Figura 27 - Padrão de iluminação para as Salas de aula, Área Pedagógica, Área Cozinha , circulações e pátios, Auditório e Biblioteca para os dias da semana	95
Figura 28 - Padrão de uso de equipamentos na Área da Cozinha e na Área Pedagógica para os dias da semana	95
Figura 29 - Padrão de uso de ventiladores de teto nas salas de aula e Área Pedagógica para os dias da semana	96

Figura 30 - Padrão de uso ar condicionado no auditório e biblioteca para os dias da semana	96
Figura 31 - Padrão de uso ar condicionado na sala de planejamento para os dias da semana	97
Figura 32 - Telha Sanduiche adotada	104
Figura 33 - Camadas do Sistema Modular Alveolar Leve	105
Figura 34 - Sistema de sombreamento (brises) em PVC	106
Figura 35 - Imagem esquemática do sistema de fachada ventilada.....	107
Figura 36 - POC ambientes pavimento térreo edificação existente.....	111
Figura 37 - POC ambientes pavimento superior edificação existente.....	112
Figura 38 - Transmitâncias da cobertura e fachadas após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	113
Figura 39 - POC das Salas de aula do pavimento térreo após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	114
Figura 40 – POC dos demais ambientes do pavimento térreo após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	114
Figura 41 - POC das salas de aula do pavimento superior após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	115
Figura 42 - POC dos demais ambientes do pavimento superior após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	116
Figura 43 - CR anual do CMEI após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	116
Figura 44 - CR anual do CMEI funcionando com mais salas condicionadas	117
Figura 45 - POC considerando funcionamento integral (Pavimento térreo)	118
Figura 46 - POC considerando funcionamento integral (Pavimento Superior)	119
Figura 47 - POC das salas de aula do pavimento térreo após adoção das medidas <i>retrofit</i>	120
Figura 48 - POC dos demais ambientes do pavimento térreo após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	121
Figura 49 - POC das salas de aula pavimento superior após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	121
Figura 50 - POC dos demais ambientes do pavimento superior após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	122
Figura 51 - CR anual do CMEI em funcionamento período integral	123

Figura 52 – CR anual da Edificação funcionando em período integral e condicionada	124
Figura 53 - Energia Incorporada do CMEI.....	126
Figura 54 - Carbono Incorporado (Kg/CO ₂) do CMEI	127
Figura 55 - Gráfico comparativo de EI e CI da edificação existente, as medidas de <i>retrofit</i> e todas as medidas reunidas com a opção telhado verde	128
Figura 56 - Gráfico comparativo de EI e CI da edificação existente, as medidas de <i>retrofit</i> e todas as medidas reunidas com a opção telha sanduiche	129
Figura 57 - Participação das categorias de consumo de EO e emissões de CO ₂ da edificação existente.....	130
Figura 58 - Gráfico comparativo de EO e emissões de CO ₂ da edificação existente e após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	132
Figura 59 - Gráfico comparativo de EO e emissões de CO ₂ da edificação com mais salas condicionadas e após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	133
Figura 60 - Participação das categorias de consumo de EO e emissões de CO ₂ da edificação funcionando em período integral.....	134
Figura 61 - Gráfico comparativo de EO e emissões de CO ₂ da edificação funcionando em período integral e após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	136
Figura 62 - Participação das categorias de consumo de EO e emissões de CO ₂ da edificação funcionando em período integral e condicionada.....	137
Figura 63 - Gráfico comparativo de EO e emissões de CO ₂ da edificação funcionando em período integral e condicionada e após adoção de medidas de <i>retrofit</i>	138
Figura 64 - Participação da energia e emissões de CO ₂ no ciclo de vida da edificação existente	139
Figura 65 - Participação da energia e emissões de CO ₂ no ciclo de vida do CMEI em funcionamento período integral	141
Figura 66 - Participação da energia e emissões de CO ₂ no ciclo de vida da edificação existente com mais salas condicionadas	143
Figura 67 - Participação da energia e emissões de CO ₂ no ciclo de vida da edificação em funcionamento integral e condicionada.....	145
Figura 68 - Comparativo da EI, EO e energia no ciclo de vida (CV) do CMEI	146
Figura 69 - Comparativo da CI, CO e carbono no ciclo de vida (CV) do CMEI	147
Figura 70 - Período de amortização das medidas de <i>retrofit</i> adotadas no CMEI	148

Figura 71 - EI da Lã Mineral	187
Figura 72 - Dados de EI Lã Mineral.....	187
Figura 73 - Dados de CI Lã Mineral	188
Figura 74 - EI Manta betuminosa	188
Figura 75 - Dados de EI Manta betuminosa.....	189
Figura 76 - Dados de CI Manta betuminosa.....	189
Figura 77 - Dados de EI Membrana poliéster para vidro (para produção do material)	189
Figura 78 - EI da Membrana poliéster para vidro (para produção do material)	190
Figura 79 - Dados de CI Membrana poliéster para vidro (para produção do material)	191
Figura 80 - Dados de EI Membrana poliéster para vidro (para transformação do material em filme).....	191
Figura 81 - Dados de CI Membrana poliéster de vidro (para transformação do material em filme).....	191

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação ambientes e área útil	86
Quadro 2 - Dados envoltória CMEI	88
Quadro 3 - Zonas agrupadas no <i>EnergyPlus</i>	90
Quadro 4 - Metodologia de simplificação para cálculo da espessura e densidade equivalentes	91
Quadro 5 – Transmitâncias (U)	92
Quadro 6 - Percentual de horas em conforto	92
Quadro 7 - Parâmetros lançados no <i>software</i> para cálculo dos níveis de eficiência.	93
Quadro 8 - Número de pessoas considerado por área útil.....	94
Quadro 9 - Consumo de energia do CMEI	101
Quadro 10 - Consumo simulado no <i>EnergyPlus</i>	102
Quadro 11 - Referências de transmitância térmica de paredes e coberturas	110
Quadro 12 - Memorial de cálculo (Início)	178
Quadro 13 - Dados de consumo de energia.....	193
Quadro 14 - Programa de necessidades CMEIs (Início)	194

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores considerados para cálculo da EI dos materiais construtivos	100
Tabela 2 - Índices para energia primária e produção de CO ₂	101
Tabela 3 - Dados para cálculo da EI e CI da telha sanduiche	104
Tabela 4 - Dados para cálculo da EI e CI do telhado verde	105
Tabela 5 - Dados para cálculo da EI e CI da película de vidro	106
Tabela 6 - Dados para cálculo da EI e CI do brise	107
Tabela 7 - Dados para cálculo da EI e CI da fachada ventilada	108
Tabela 8 - Consumo de energia por categoria	122
Tabela 9 - Energia Incorpora (MJ) e Carbono Incorporado (KgCO ₂) do CMEI	125
Tabela 10 - EO e emissões de carbono da edificação existente	130
Tabela 11 - EO e emissões de carbono da edificação funcionando em período integral	134
Tabela 12 - EO e emissões de carbono da edificação funcionando em período integral e condicionada	136
Tabela 13 - Total de energia e emissões de carbono no ciclo de vida da edificação existente	139
Tabela 14 - Comparativo da Energia no ciclo de vida da edificação existente e as medidas de <i>retrofit</i>	140
Tabela 15 - Total de energia e emissões de carbono no ciclo de vida da edificação em funcionamento integral	141
Tabela 16 - Comparativo da Energia no ciclo de vida da edificação em funcionamento integral e as medidas de <i>retrofit</i>	142
Tabela 17 - Total de energia e emissões de carbono no ciclo de vida da edificação existente com mais salas condicionadas	143
Tabela 18 - Comparativo da Energia no ciclo de vida da edificação existente com mais salas condicionadas e as medidas de <i>retrofit</i>	144
Tabela 19 - Total de energia e emissões de carbono no ciclo de vida da edificação funcionando em período integral e condicionada	144
Tabela 20 - Comparativo da Energia no ciclo de vida da edificação em funcionamento integral e condicionada	145

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	22
1.1 PROBLEMATIZAÇÃO DA PESQUISA	25
1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	25
1.2.1 OBJETIVO GERAL	25
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	26
2. ESTADO DA ARTE.....	29
2.1 RETROFIT	29
2.1.1 CONCEITOS DE <i>RETROFIT</i>	29
2.1.2 ETAPAS DE UM <i>RETROFIT</i>	31
2.1.3 <i>RETROFIT</i> EM OBRAS PÚBLICAS	35
2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV).....	39
2.2.1 BREVE HISTÓRICO	39
2.2.1.1 ACV no Brasil.....	41
2.2.2 ESTRUTURA DE UMA ACV	42
2.2.2.1 Definição do objetivo e escopo	43
2.2.2.2. Análise de inventário.....	44
2.2.2.3 Avaliação de Impacto	45
2.2.2.4 Interpretação	46
2.2.3 ACV DE EDIFICAÇÕES	47
2.3 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO (ACVE) DE EDIFICAÇÕES ..	48
2.4 ACVE E DESEMPENHO ENERGÉTICO.....	53
2.5 CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA.....	55
2.5.1 <i>SOFTWARE</i> PARA SIMULAÇÃO ENERGÉTICA	57
2.6 PESQUISAS REALIZADAS	61
2.6.1 ACVE NO CONTEXTO INTERNACIONAL.....	61
2.6.2 ACVE NO CONTEXTO BRASILEIRO	72

2.6.3 PRINCIPAIS DESAFIOS E DIFICULDADES	77
3. METODOLOGIA	80
3.1 ESTUDO DE CASO	82
3.2 DESEMPENHO DA ENVOLTÓRIA	89
3.3 ENERGIA INCORPORADA (EI)	97
3.3.1 ENERGIA INCORPORADA INICIAL (EII)	98
3.3.2 ENERGIA INCORPORADA RECORRENTE (EIR)	99
3.3.3 ENERGIA INCORPORADA DE DESPERDÍCIO (EID)	99
3.4 ENERGIA OPERACIONAL (EO)	100
3.5 ENERGIA NO CICLO DE VIDA	102
3.6 PROPOSTAS DE <i>RETROFIT</i> E ANÁLISES DE SENSIBILIDADE	103
3.6.1 TELHA SANDUICHE COM ISOLAMENTO EM POLIURETANO	104
3.6.2 TELHADO VERDE	104
3.6.3 PELÍCULA REFLETORA NOS VIDROS	105
3.6.4 SOMBREAMENTO DAS ABERTURAS (BRISES)	106
3.6.5 FACHADA VENTILADA	107
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	110
4.1 DESEMPENHO DA ENVOLTÓRIA SEGUNDO O PBE EDIFICA	110
4.1.1 EDIFICAÇÃO EXISTENTE	110
4.1.1.1 Análises após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	113
4.1.2 EDIFICAÇÃO FUNCIONANDO COM MAIS SALAS CONDICIONADAS	117
4.1.3 EDIFICAÇÃO FUNCIONANDO EM PERÍODO INTEGRAL	118
4.1.3.1 Análises após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	120
4.1.4 EDIFICAÇÃO FUNCIONANDO EM PERÍODO INTEGRAL E CONDICIONADA	124
4.2 ENERGIA INCORPORADA	125
4.2.1 EDIFICAÇÃO EXISTENTE	125
4.2.1.1 Análises após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	127
4.3 ENERGIA OPERACIONAL	130
4.3.1 EDIFICAÇÃO EXISTENTE	130

4.3.1.1 Análises após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	131
4.3.2 EDIFICAÇÃO FUNCIONANDO COM MAIS SALAS CONDICIONADAS.....	133
4.3.3 EDIFICAÇÃO FUNCIONANDO EM PERÍODO INTEGRAL.....	134
4.3.3.1 Análises após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	135
4.3.4 EDIFICAÇÃO FUNCIONANDO EM PERÍODO INTEGRAL E CONDICIONADA.....	136
4.3.4.1 Análises após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	137
4.4 ENERGIA NO CICLO DE VIDA.....	138
4.4.1 EDIFICAÇÃO EXISTENTE	138
4.4.1.1 Análises após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	139
4.4.2 EDIFICAÇÃO FUNCIONANDO EM PERÍODO INTEGRAL.....	140
4.4.2.1 Análises após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	141
4.4.3 EDIFICAÇÃO FUNCIONANDO COM MAIS SALAS CONDICIONADAS.....	142
4.4.3.1 Análises após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	143
4.4.4 EDIFICAÇÃO FUNCIONANDO EM PERÍODO INTEGRAL E CONDICIONADA.....	144
4.4.4.1 Análises após adoção das medidas de <i>retrofit</i>	145
4.5. COMPARAÇÃO GERAL ENTRE OS RESULTADOS	146
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	151
5.1 RELATIVAS AO DESEMPENHO DA ENVOLTÓRIA E ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS.....	151
5.2 RELATIVAS A ACVE	153
5.2.1 ENERGIA INCORPORADA.....	153
5.2.2 ENERGIA OPERACIONAL.....	154
5.2.3 ENERGIA NO CICLO DE VIDA	155
5.3 PERSPECTIVAS PARA INVESTIGAÇÕES FUTURAS.....	156
REFERÊNCIAS.....	159
APÊNDICES	178
ANEXOS	193

1. INTRODUÇÃO

A construção civil gera grandes impactos ambientais: dados da Organização das Nações Unidas apontam que o setor consome 40% de toda a energia produzida no mundo, extrai 30% dos materiais do meio natural, gera 25% de resíduos sólidos, consome 25% da água do planeta e ocupa 12% das terras (CTE; CRIATIVE, 2015). Além disso as atividades de construção civil também impactam em 10% nas emissões de gases de efeito estufa (GEE), e estas ocorrem, em grande parte fora do canteiro de obras, seja na fase de extração da matéria prima, na fabricação de produtos ou insumos, no transporte ou fase de uso ou operação das edificações (CTE; CRIATIVE, 2015).

De toda energia produzida no mundo, em 2013 apenas um quinto veio de fontes renováveis, como vento, água e luz solar (ONUBR, 2017), e resultou no volume de emissão de gás carbônico maior que o setor de transporte (WBCSD, 2014).

Todos esses impactos não podem ser atribuídos somente às atividades de construção civil, mas também as atividades humanas, que se concentram nas cidades. Em 2006, as áreas urbanas consumiram cerca de 66% da energia produzida no mundo. Se o ritmo de aumento da urbanização prosseguir dessa forma, em 2030, esse percentual será elevado cerca de 80% (EBC AGÊNCIA BRASIL, 2017).

No Brasil, apesar de grande parte da matriz energética brasileira advir de fonte hidráulica e, portanto, renovável, as fontes renováveis representavam em 1970, 80% da matriz energética nacional e hoje representam menos de 47% (BRASIL, 2017a), demandando atenção para o assunto. Essa redução pode ser explicada pela crise hidro energética, esgotamento do potencial hidroelétrico no país e o advento de outras fontes de energia como a eólica, solar e biomassa.

O consumo energético em edificações segue a tendência mundial, participando com cerca de 45% do consumo de energia elétrica. Desse consumo, 21,3% diz respeito ao setor residencial, 14,8% ao setor comercial e 6,9% ao setor público (BRASIL, 2017a).

Por essas questões, o setor da construção civil tem papel fundamental para realização dos objetivos globais do desenvolvimento sustentável, e as comunidades da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) vêm sendo motivadas a gerir de maneira mais eficiente os recursos das novas construções (VOLK; STENGEL;

SCHULTMANN, 2014). Essencialmente nos países desenvolvidos, as atividades no setor de construção voltadas para modificações, *retrofits* e desconstrução ganham maior notoriedade, principalmente devido as baixas taxas de construção (PENTTILÄ; RAJALA; FREESE, 2007, VOLK; STENGEL; SCHULTMANN, 2014).

Nesse contexto, o processo de *retrofit* é uma das formas de redução do consumo energético de edificações existentes, através da incorporação de novas tecnologias e conceitos, o que também contribui para a redução dos impactos das edificações no meio, através do aumento de sua vida útil (VILCHES; GARCIA-MARTINEZ; SANCHEZ-MONTAÑES, 2017).

Uma das formas de quantificação desses impactos é através da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que surge como uma ferramenta que possibilita uma análise sistêmica dos impactos, identificando e medindo fluxos de insumos e emissões em todas as etapas do ciclo de vida de uma edificação (RAMESH; PRAKASH; SHUKLA, 2010).

Contudo as ACVs no setor de edificações são bem recentes. Seus primeiros estudos são datados de 1980, e intensificaram-se na década de 1990, quando grupos de discussões foram organizados para normatização da metodologia e houve significativo aumento nas publicações de trabalhos científicos (BUYLE; BRAET; AUDENAERT, 2013).

Ainda há carência de estudos nessa área, sobretudo no Brasil, onde as publicações são ainda rarefeitas. Mais raras são as publicações voltadas para a redução dos impactos ambientais proporcionados pelo *retrofit* no contexto do ciclo de vida de edificações, principalmente as voltadas para uso público e em particular as edificações escolares.

No desenvolvimento da ACV, foram surgindo várias vertentes, a exemplo da ACVE. Esta metodologia busca quantificar os impactos ambientais, sob o ponto de vista da produção e de consumo da energia necessária para fabricação dos materiais construtivos (energia embutida ou incorporada), instalação da obra e operação (energia operacional), manutenção (energia incorporada recorrente), demolição/reciclagem e eventual transporte entre as etapas (SARTORI; HESTNES, 2007).

Em diversos estudos, identifica-se a etapa operacional ou de uso, como a etapa do ciclo de vida que mais impacta o meio, em nível ambiental e, também, em nível de custo. Martins (2017) aponta que em termos de ordem de grandeza, do custo total

de construção e operação de um edifício, num horizonte de 30 anos, cerca de 20% correspondem à construção e 80% à operação. Da mesma forma, Cabeza *et. al*, (2014) destacam esta etapa como a mais crítica, superando 80% dos impactos ambientais totais gerados em todo ciclo de vida da edificação.

Ao contrário dos impactos operacionais, os impactos embutidos não são regulados na maioria dos países (YOKOO; YOKOYAMA, 2016). Os autores apontam que a energia incorporada resultante da construção de edifícios é responsável por 20% de toda energia consumida no mundo, sendo que essa percentagem fica entre 5 e 10% nos países desenvolvidos e entre 10 e 30% nos países em desenvolvimento. Yohanis e Norton (2002) afirmam que projetar uma edificação eficiente em termos energéticos requer considerar o impacto das características da edificação quer no nível operacional quanto com relação a energia incorporada.

Contudo as ações no Brasil, para minimizar o consumo energético no setor de edificações, sobretudo a partir da crise do petróleo da década de 1970, restringem-se a etapa operacional. Esta energia inclui a energia consumida diretamente para proporcionar conforto ao usuário (refrigeração, ventilação, iluminação artificial) e para realização de atividades dentro das edificações (cocção, aquecimento de água e uso de aparelhos eletrodomésticos).

Uma das iniciativas é o Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações (PBE Edifica), que classifica edificações residenciais, comerciais e públicas em categorias que vão de A (mais eficientes) até E (menos eficientes). Já é obrigatória a obtenção do selo nível A para edificações públicas federais novas ou que passam pelo processo de *retrofit* (BRASIL, 2014), mas não para as edificações municipais.

Tais iniciativas são de suma importância na conscientização da indústria da construção civil, e além disso, frente à crise energética e econômica vivida pelo país, torna-se ainda mais necessário repensar a forma como os projetos são executados, para incluir de forma clara, técnica e economicamente viável as considerações energéticas e ambientais com vistas à redução de insumos (NICOLETTI, 2017).

Nesse universo, nota-se que as obras públicas brasileiras se destacam por projetos incipientes, custos e sobrecustos, falta de qualidade, dentre outros. Estes problemas, se iniciam ainda na fase projetual e processo licitatório, continuam na fase de execução, resultando em edificações com desempenho comprometidos, demandando atividades precoces de manutenções e reformas ou ainda novas construções, impactando sobremaneira o meio ambiente construído (MOTTA, 2005).

Sendo assim, evidencia-se que à medida que a procura por um modelo construtivo mais sustentável tem aumentado, visando o mínimo de desperdício e o máximo de desempenho, novas tecnologias a serviço dessas edificações estão sendo aperfeiçoadas, porém vê-se a necessidade de estratégias que permitam ao projetista, tomada de decisões mais consciente, para identificação desses impactos potenciais nas diversas fases do ciclo de vida da edificação. Nesse sentido a ACV, se apresenta como uma ferramenta estratégica na mensuração destes impactos (CABEZA *et al.*, 2014; ATMACA. A., ATMACA M.N, 2015; DIXIT, 2017).

Ademais, com estudos comprovando a redução de impactos no meio através da implementação de *retrofits*, potencialmente no quesito energético (RHOADS, 2010; MA *et al.*, 2012) é possível tornar os edifícios públicos existentes mais eficientes e econômicos, bem como contribuir para reduzir as emissões globais e o consumo de recursos naturais.

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO DA PESQUISA

O processo vicioso das obras públicas, somado a escassez de recursos e desafios de sustentabilidade, reforçam a ideia de eficiência das edificações, o que motiva esta pesquisa que tem a intenção de responder aos seguintes questionamentos:

- Qual a influência da adoção de medidas de *retrofit*, no ciclo de vida energético em escolas públicas no Município de Vitória?
- Dentre as medidas de *retrofit*, quais materiais e sistemas construtivos seriam os mais adequados para viabilizar eficiência energética nas escolas municipais de Vitória?
- Havendo alteração no padrão de funcionamento da edificação, quais seriam os efeitos na envoltória e ciclo de vida da edificação, mediante as ações de *retrofit*?

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo dessa pesquisa consiste em realizar avaliação do ciclo de vida energético e desempenho da envoltória de edificação pública escolar mediante ações de *retrofit*.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral, foram estabelecidos alguns objetivos específicos que serviram de suporte para desenvolver as questões pertinentes ao trabalho e alcançar o resultado esperado ao final do mesmo. São eles:

- Entender como a eficiência energética é tratada na arquitetura pública e quais as técnicas e aplicações mais usadas nos projetos;
- Quantificar a energia incorporada e o carbono incorporado de uma edificação escolar pública;
- Quantificar a energia operacional e as emissões de carbono para o funcionamento da edificação;
- Verificar a energia consumida no ciclo de vida da edificação mediante uso de outros materiais e sistemas para seu *retrofit*.
- Realizar análises de sensibilidade a partir da adoção de medidas de *retrofit*, bem como, verificar seus efeitos, tanto no desempenho da envoltória, quanto no ciclo de vida energético da edificação, levando em consideração a realidade vivida pela comunidade escolar.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O capítulo introdutório contextualiza e apresenta as questões que a pesquisa pretende responder. Apresenta ainda os objetivos geral e específicos da dissertação.

O segundo capítulo refere-se ao embasamento teórico relacionado ao objeto da pesquisa, trazendo os principais conceitos e o Estado da Arte a partir de outros estudos realizados sobre o tema.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia adotada, detalhando as ferramentas utilizadas, as variáveis consideradas, correlacionando-as para alcançar os resultados de pesquisa.

O estudo de caso é apresentado no terceiro capítulo, onde se detalha o funcionamento, os materiais construtivos utilizados, os padrões de ocupação, o programa de necessidades, além de outros quesitos.

Os resultados são apresentados no capítulo 4, onde são discutidas as questões relevantes.

O capítulo 5 apresenta as conclusões da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

Ao final, têm-se as referências onde estão descritas todas as fontes utilizadas (livros, periódicos nacionais e internacionais, informações retiradas da internet de fontes confiáveis, trabalhos acadêmicos) para a elaboração dessa dissertação e os apêndices e anexos que contemplam informações adicionais para compreensão e complementação do trabalho.

2. ESTADO DA ARTE

No intuito de embasar e estabelecer um panorama da evolução do assunto da pesquisa, torna-se necessário o entendimento do atual cenário científico sobre o tema, elaborando o Estado da Arte. Pretende-se apresentar os estudos que trouxeram questionamentos e motivaram essa dissertação, demonstrando lacunas e barreiras para o seu desenvolvimento.

Assim, foram consultadas publicações de revistas, eventos nacionais e internacionais, dissertações e teses, além de pesquisas em páginas online de instituições relevantes na área de ACV, ACVE, *retrofit*, oferta de energia e eficiência energética.

2.1 RETROFIT

A procura por estratégias a fim de aumentar a eficiência energética tem sido assunto frequente na discussão nacional e internacional. O setor da construção civil ocupa uma posição de destaque neste processo, pois é um grande consumidor de energia, principalmente na fase de uso das edificações (SARTORI; HESTNES, 2007, CABEZA *et al.*, 2014, DIXIT, 2017a).

Com este intuito, nos últimos anos, observa-se um aumento do número de edificações que passaram pelo processo de *retrofit*. No entanto, muitas das medidas tomadas são baseadas apenas em critérios relacionados aos custos da intervenção, sem levar em consideração seus reais benefícios ambientais (CALDAS, SPOSTO e SANTOS FILHO, 2015).

Várias conceitos estão relacionados ao termo *retrofit*, tornando-se importante a sua definição.

2.1.1 CONCEITOS DE RETROFIT

O conceito de *retrofit* começou a ser discutido na década de 1990, sobretudo na Europa, devido à necessidade de se revitalizar imóveis degradados, frente à escassez de terrenos disponíveis para novas construções.

Segundo Barrientos (2004), *retrofit* é a conjunção dos termos “*retro*”, oriundo do latim, que significa movimentar-se para trás e de “*fit*,” do inglês, que significa adaptação, ajuste.

Ilter e Ergen (2015), apontam Reforma ou remodelação da edificação e *retrofit* como processos que integram a etapa de gestão de instalações ou *Facility Management* (FM).

Segundo Gultekin, Anumba e Leicht (2014) a reforma ou remodelação são alterações com intuito principal de atender a requisitos funcionais vinculados ao interesse do proprietário, como modificação nas alvenarias, renovação da estrutura ou mudanças espaciais no layout. Já o *retrofit* tem como principal objetivo melhorar o desempenho dos sistemas da edificação (mecânico, elétrico e hidráulico), bem como dos agentes responsáveis pelo conforto térmico e acústico (isolamento das paredes externas por exemplo), trazendo benefícios tanto para o usuário quanto para o meio ambiente.

Vilches, Garcia-Martinez e Sanchez-Montañes (2017), ao estudar ambos os conceitos, avaliam reforma/remodelação como operações que consideram a redução do consumo de energia da edificação, e *retrofit* como tipos de intervenções com acréscimo de novos materiais ou elementos, que a priori não estavam previstos. Ou seja, uma reforma ou remodelação pode incluir medidas de *retrofit*, mas também pode incluir outras melhorias, como estéticas ou melhoras espaciais de toda edificação ou parte dela.

Entretanto, Ma *et al.* (2012) consideraram fatores humanos como medidas de *retrofit*. Tais medidas podem não exigir nenhum tipo de intervenção física na edificação, apenas no comportamento dos usuários.

Caldas, Sposto e Santos Filho (2015), acrescentam que o objetivo do *retrofit* é tornar a edificação mais econômica, por meio da melhoria do seu desempenho energético.

A norma brasileira de desempenho térmico NBR 15575 (ABNT, 2013), define o *retrofit* como “remodelação ou atualização do edifício ou de sistemas, através da incorporação de novas tecnologias e conceitos, normalmente visando a valorização do imóvel, mudança de uso, aumento da vida útil e eficiência operacional e energética”.

Em outras palavras, o *retrofit* significa a valorização de edifícios a fim de aumentar a sua vida útil por meio da introdução de tecnologias em sistemas prediais e materiais, de modo a respeitar o entorno e preservando o patrimônio histórico e arquitetônico (GASPARY; LOPES, 2010). Sendo assim, o grande desafio em questão é aliar as exigências de um *retrofit* com as de sustentabilidade.

Doug Gatlin, vice-presidente do *US Green Building Council*, explica que para o *retrofit* ser considerado sustentável é necessário atualizar uma determinada edificação para melhorar sua performance energética, reduzir o consumo de água e aprimorar os espaços internos em termos de iluminação natural, qualidade do ar e do ruído (Bu *et al.*, 2015).

O *retrofit* está, em muitos casos, associado à redução do consumo energético, que visa a eficiência operacional e energética a partir da remodelação e atualização do edifício incorporando novos conceitos. Muitas dessas atualizações são possíveis graças à aplicação de novas tecnologias, capazes de fornecer sistemas mais eficazes (RHOADS, 2010; MA *et al.*, 2012). Esta definição de *retrofit* será a adotada por este trabalho de dissertação.

2.1.2 ETAPAS DE UM RETROFIT

O *retrofit* corresponde a adoção de ações em edifícios já existentes. Dentre essas ações estão a reforma das instalações, a instalação de sistemas de gerenciamento de energia, a maior utilização da iluminação natural e o maior controle da qualidade do ar, ruídos e riscos internos para a saúde.

Bu *et al.* (2015) destacam que a decisão para realização de um projeto de *retrofit* se fundamenta em três fases: (1) análise sobre demolir ou realizar o *retrofit*; (2) análise da urgência, possibilidades e técnicas na decisão de fazer o *retrofit* e (3) investigação das atividades de *retrofit* com base no conhecimento, possibilidade de estudo e seriedade da avaliação para verificar disponibilidade de fornecedores e aprovações pela equipe de gerenciamento. Nota-se que a decisão por realizar um *retrofit* depende de objetivo específico pretendido, podendo abranger questões econômicas, sociais, ambientais ou de preservação do patrimônio histórico.

Estudos são realizados na tentativa de propor estratégias de sistematização do processo de *retrofit*. Ma *et al.* (2012) dividem o programa de *retrofit* sustentável em 05 fases: Planejamento e pesquisa; Auditoria energética e avaliação de desempenho; Identificação das opções de *retrofit*; Implementação.

No planejamento e pesquisa ocorre a definição do escopo e os objetivos a serem alcançados. Nessa fase é importante que se conheça as necessidades dos ocupantes e os problemas operacionais da edificação. Isso pode ser realizado através de entrevistas.

Woo e Menassa (2014) explicam que existem conflitos de expectativas, variedade de soluções propostas por diferentes engenheiros e incerteza sobre os benefícios econômicos e ambientais esperados. Os autores ressaltam ainda que existem necessidades conflitantes entre proprietários, inquilinos, usuários e administradores de condomínio, o que limita o *retrofit* das edificações.

Em muitos prédios comerciais, como nem sempre os proprietários da edificação são os reais usuários, os donos dos imóveis não são beneficiados diretamente pelas melhorias ambientais proporcionadas pelo *retrofit*. O que recai diretamente sobre os proprietários são os custos do *retrofit* e não os seus benefícios, o que desanima os mesmos de realizar as obras (MA *et al.*, 2012).

Há também limitações e barreiras financeiras, considerando que algumas medidas necessitam de um longo período para se obter o retorno dos investimentos (MA *et al.*, 2012). Dessa forma, é importante que se saiba as necessidades e expectativas de todos os envolvidos no processo para que a definição do escopo seja compatível com os objetivos estabelecidos.

A etapa de auditoria energética e avaliação de desempenho visa fazer um diagnóstico do desempenho da edificação na situação atual, sem as propostas de *retrofit*. Isso pode ser feito através de levantamento de dados acerca do uso da energia, identificando as áreas com potencial de redução, e onde está ocorrendo desperdício. Essa fase também visa estabelecer indicadores de desempenho. Lamberts *et al.* (2010a) destacam que há uma diferença entre comportamento térmico e desempenho térmico. O primeiro refere-se à resposta física dos materiais que compõem a edificação quando submetidos ao clima externo, bem como às solicitações internas, como cargas térmicas provenientes de pessoas e equipamentos. Avaliar o desempenho térmico da edificação é quando o seu comportamento térmico é confrontado com parâmetros de referência, ou seja, requisitos pré-estabelecidos por normas que indicam os valores limites visando o bem-estar do usuário.

A etapa de identificação das opções de *retrofit* visa verificar quais as opções de *retrofit* que solucionam os problemas identificados nas duas primeiras etapas. Para tanto, é necessário que se faça uma análise quantitativa, comparando os resultados antes e depois de cada solução de *retrofit*. Uma das formas de se fazer isso é através de simuladores de desempenho de edificações. A escolha pelas propostas

de *retrofit* estão fortemente vinculadas às características típicas do local onde a edificação se encontra.

Diretrizes eficazes em países de clima temperado podem não funcionar em países de clima tropical. Além do clima, deve-se levar em conta características específicas da edificação, recursos e expectativas do cliente, legislações e regulamentações vigentes, fatores humanos, dentre outros aspectos (MA *et al.*, 2012).

Por fim, a etapa de implementação visa realizar as medidas de *retrofit* selecionadas na etapa anterior. Para tanto, é necessário que se faça um planejamento adequado, principalmente em edificações comerciais, já que algumas atividades terão que ser interrompidas nesse período.

Em casos de *retrofit*, as avaliações de ciclo de vida (ACVs), detalhadas no item 2.2, também são importantes para verificar a viabilidade das ações, comparando-as com a decisão de demolir e construir uma nova edificação.

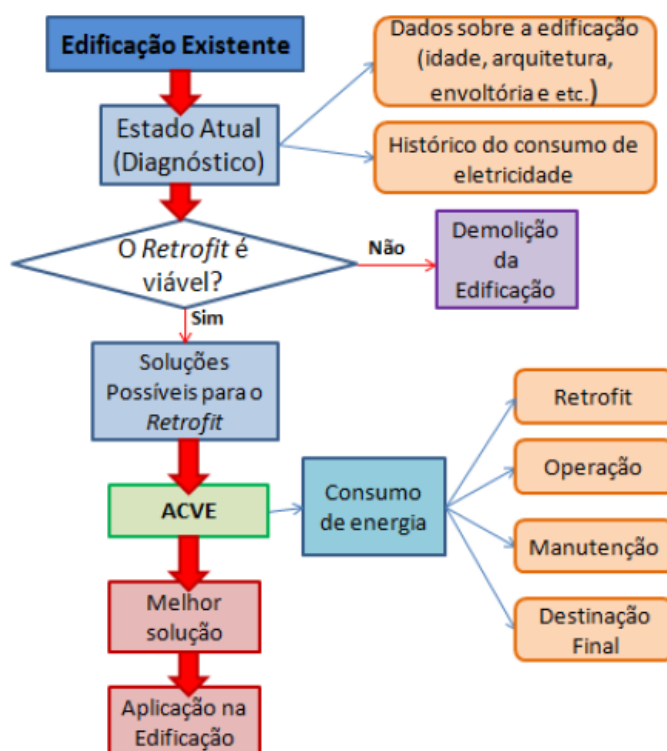
Dodoo, Gustavsson e Sathre (2010) simularam medidas de *retrofit* em um edifício residencial construído em 1995 na Suécia. O objetivo das medidas era minimizar o consumo de energia primária utilizada para aquecimento dos ambientes internos. As principais ações foram direcionadas à envoltória, aumentando a sua propriedade isolante. Os autores testaram o resultado do *retrofit* considerando sistemas de aquecimento diferentes. Quanto maior a eficiência do sistema de aquecimento, menor os benefícios da implantação das medidas de *retrofit*. A redução do consumo de energia primária devido ao *retrofit* foi de 32% para o sistema menos eficiente e 6% para o sistema mais eficiente. O consumo energético na fase de operação continuou sendo o mais elevado, mesmo após o *retrofit*. Entretanto, houve redução da representatividade da etapa de operação no ciclo de vida, elevando a importância do consumo de energia primária para as demais etapas, como a de manufatura dos materiais e demolição.

Bin e Parker (2012) calcularam um período de amortização de apenas dois anos de operação. Com as propostas de *retrofit* numa edificação unifamiliar histórica, houve um acréscimo de 51% no total da energia incorporada dos materiais, devido principalmente às estratégias de isolamento da envoltória. Entretanto, a edificação apresentou uma economia de 90% na energia necessária para aquecimento da edificação. Tal economia, acrescida ao curto período de amortização, mostra que a decisão pelo *retrofit* é eficaz na redução dos impactos ambientais.

Napolano *et al.* (2015), por sua vez, apresentam um fluxograma (Figura 1) para aplicação de ACVE em *retrofit* de edificações.

Percebe-se pela figura que a ACVE pode subsidiar a tomada de decisão em relação as soluções mais adequadas do ponto de vista energético.

Figura 1 - Fluxograma de ACVE e *retrofit* de edificações



Fonte: Adaptado de Napoleano *et. al.* (2015)

Weiler, Harter e Eicker (2017) fizeram estudo de ACV do berço ao túmulo em um edifício multifamiliar comparando quatro cenários distintos: sem *retrofit*, com poucas ações de *retrofit*, com aplicação de várias ações de *retrofit*, e demolição e construção de nova edificação. A edificação com elevado nível de modificação apresentou também o maior valor de energia incorporada, devido ao acréscimo de materiais de isolamento da envoltória e troca das esquadrias. Entretanto, tal edificação foi a que apresentou o melhor desempenho na fase de uso. O período de amortização necessário para compensar a energia acrescida pela incorporação dos materiais foi de aproximadamente 4,5 anos de operação.

Assefa e Ambler (2017) concluíram que se apenas 10% das edificações comerciais e institucionais canadenses passassem pelo processo de *retrofit*, ao invés de serem demolidas e novas edificações construídas, a quantidade de CO₂equiv. que deixaria de ser lançado no meio ambiente equivale a 23% da quantidade de gases do efeito

estufa emitidos no ano de 2013 provenientes das atividades humanas em todo o território canadense.

Apesar das medidas de *retrofit* se mostrarem eficazes na redução dos impactos ambientais (VILCHES; GARCIA-MARTINEZ; SANCHEZ-MONTAÑES, 2017), diversos estudos sugerem que pesquisas utilizando a abordagem da ACV em *retrofit* de edificações ainda são raras e necessitam de desenvolvimento (ANAND; AMOR, 2017, CABEZA *et al.* 2014, RAMESH; PRAKASH; SHUKLA, 2010, VILCHES; GARCIA-MARTINEZ; SANCHEZ-MONTAÑES, 2017).

2.1.3 RETROFIT EM OBRAS PÚBLICAS

A Indústria da Construção Civil (ICC) possui algumas particularidades que fazem com que se tenha um alto grau de risco, interferindo no sucesso de seus empreendimentos. De acordo com Zou, Zhang e Wang (2007), estas particularidades são: o produto único; a interação de vários processos complexos; o ambiente desfavorável; o longo prazo de execução; a intensidade financeira; a presença de diversas empresas e a divisão de responsabilidades entre diferentes atores, e interesses, ao longo da obra.

O ambiente competitivo, onde a ICC está inserida, conduz ao crescente interesse por melhores resultados, em termos de garantia da qualidade das edificações, de desempenho do projeto e de cumprimento dos custos e dos prazos de entrega dos empreendimentos (BARRETO; ANDERY, 2015).

No contexto da construção pública, as obras têm se destacado pelo aumento dos custos, prorrogação dos prazos e baixa qualidade. Algumas dificuldades constantes são observadas como a incompatibilidade de projetos e insuficiência de informações, assim como, a especificação inadequada de materiais repercute em maior impacto ao meio ambiente construído (MOTTA, 2005).

Nesse cenário, identifica-se principalmente duas escalas de intervenção: novas edificações em substituição as existentes, ou *retrofits*/reformas das edificações existentes. Ambos os processos, constituem formas de viabilização da eficiência energética, porém dependem da correta especificação de materiais, contratação e acompanhamento das diversas etapas já citadas anteriormente.

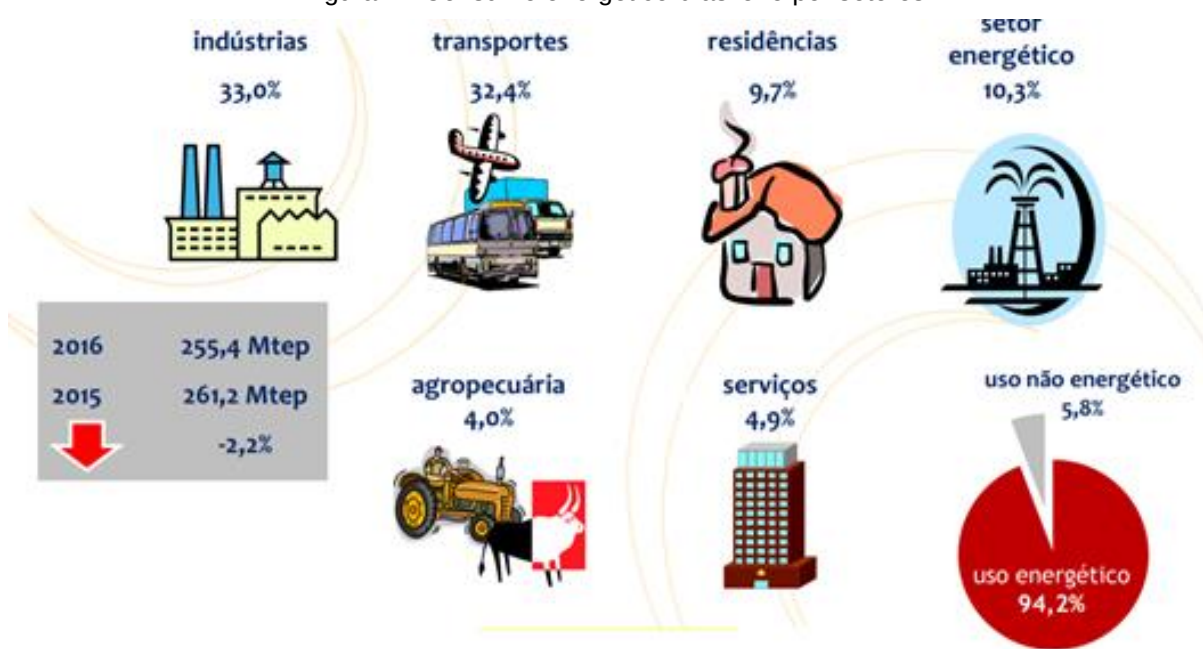
Da mesma forma, é importante também a figura dos gestores, tanto o profissional responsável pelos editais para contratação de serviços de engenharia quanto o

encarregado da manutenção e operação da edificação que devem estabelecer critérios e sugestões de procedimentos que propiciem o melhor resultado final.

Nesse sentido, evidencia-se a crescente preocupação do Governo Federal com a redução do consumo de energia elétrica no setor público, a partir da Instrução Normativa nº 2 de 2014, promulgada pelo Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (BRASIL, 2014), determinando que os projetos de novas edificações públicas federais, bem como os *retrofits*, devem ser desenvolvidos buscando a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) de Projeto nível A.

O processo de *retrofit* em edificações públicas, apresenta-se como uma possibilidade de aplicação dos conceitos de sustentabilidade, pois provoca a redução do impacto causado por novas edificações, sejam elas sustentáveis ou não. Um desses conceitos é a redução do consumo energético (Figura 2). No Brasil o consumo de energia elétrica nas edificações residenciais e comerciais, de serviços e públicas, corresponde a aproximadamente 45% do total da eletricidade consumida no país (BRASIL, 2017c).

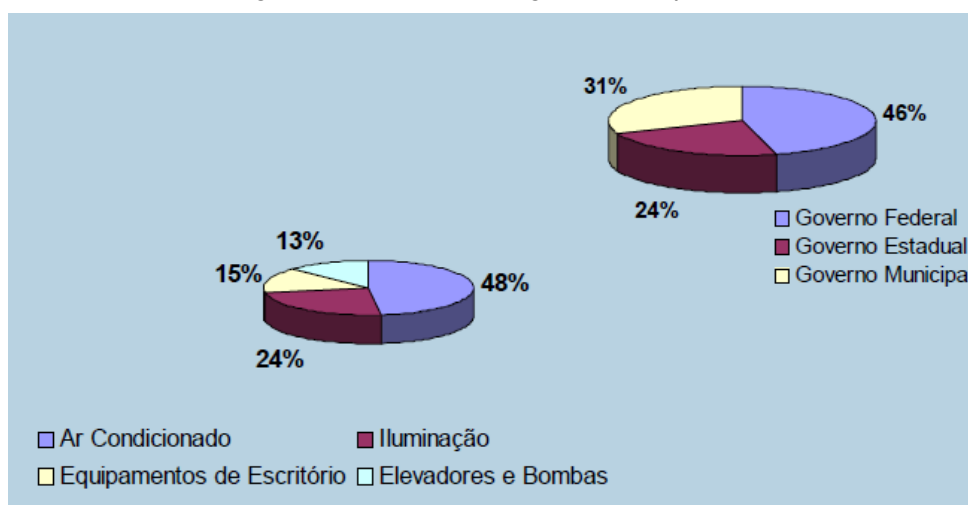
Figura 2 - Consumo energético brasileiro por setores



Fonte: BRASIL (2017b, p.23)

Os prédios públicos representaram em 2016, 7% do consumo de energia elétrica no país. (BRASIL, 2017a). Dentre os equipamentos mais consumidores de energia destacam-se o ar condicionado e a iluminação, conforme verifica-se na figura 3.

Figura 3 - Consumo energético setor público



Fonte: Magalhães (2011, p.4)

A pesquisa realizada no ano 2005, avaliando o mercado de eficiência energética no Brasil apontou que os principais usos finais estão relacionados com a climatização, iluminação e equipamentos de escritórios, responsáveis, juntos, por cerca de 86% do consumo de energia dos prédios públicos (ELETROBRÁS, 2009).

No que se refere aos tipos de sistemas de climatização, no geral, os sistemas individuais de parede e/ou *split* foram os mais encontrados nas instalações dos prédios públicos (82%). No que se refere aos sistemas de iluminação, predomina a utilização de lâmpadas fluorescentes tubulares para iluminação das áreas internas dos prédios públicos em 88% dos casos (ELETROBRAS, 2009).

Ainda de acordo com o Ministério de Minas e Energia, edificações novas construídas de acordo com os padrões instituídos pela Etiquetagem PBE Edifica podem obter uma economia de até 50%, já as edificações existentes que sofrerem grandes reformas, uma economia de até 30% (BRASIL, 2017c).

Diante deste contexto, o *retrofit* de obras públicas, pode se tornar também um elemento imprescindível para um melhor aproveitamento dos recursos públicos.

Nesse sentido, o Brasil, detentor de um Programa de Conservação de Energia Elétrica, PROCEL, desde 1985, e tendo passado por crise energética, tem várias leis, decretos aplicáveis a prédios públicos e várias iniciativas ministeriais, que buscam a racionalização do consumo de recursos energéticos nos prédios públicos.

Ao longo dos anos, o Selo Procel vem contribuindo para um aumento dos índices de eficiência energética de diversos equipamentos e, conseqüentemente, para uma redução significativa do consumo de energia elétrica no país.

O Procel dispõe de subprogramas que atuam diretamente na execução de ações e projetos nos segmentos público e privado (BRASIL, 2017c).

Um dos subprogramas é o Procel EPP: Prédios Públicos, tem por objetivo estimular o uso eficiente da energia elétrica das edificações públicas, abrangendo as três esferas de governo no Brasil: federal, estadual e municipal. Nesse sentido, tem desenvolvido, entre outras, as seguintes ações: identificação de oportunidades tecnológicas e de soluções inovadoras aplicáveis a programas e projetos de eficiência energética destinados a prédios públicos; apoio técnico aos agentes de governo envolvidos na administração de prédios públicos; estruturação de projetos demonstração; suporte à normatização e apoio às concessionárias de energia elétrica em projetos de eficiência energética nessa área (BRASIL, 2017c).

Dentre estas ações destaca-se: Análise e outorga do Selo Procel Edificações na etapa de projeto a três edifícios públicos: o Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis SC; o Centro de Gestão e Armazenamento de Materiais da Câmara de Deputados – Brasília DF e a Nova Sede do Fórum Cível e Criminal na Comarca de Porto Velho RO – Porto Velho RO.

Já o Procel GEM: Gestão Energética Municipal tem como missão auxiliar as prefeituras e demais esferas públicas de governo a reduzir seus custos com energia elétrica.

A Eletrobrás, por meio do Procel GEM, também apoia a Rede Cidades Eficientes em Energia Elétrica (RCE), composta por municípios interessados em Gestão Energética Municipal e por uma equipe técnica preparada para atendê-los, que, até o final de 2016, abrangia 1.046 municípios, o que corresponde a mais de 18% do número de municípios brasileiros (BRASIL, 2017c).

O Procel GEM atuou diretamente, ou indiretamente, em 519 municípios de 19 estados, além do Distrito Federal, o que representa 9,3% dos municípios e mais de 73% dos estados brasileiros (BRASIL, 2017c). Porém cabe destacar que esta atuação não englobou o Município de Vitória, onde localiza-se a unidade escolar objeto de estudo dessa dissertação, configurando mais uma motivação para a pesquisa.

Mediante todas as considerações realizadas, mensurar o consumo energético do *retrofit* baseado na avaliação do ciclo de vida (ACV), constitui uma estratégia para contribuir tanto na fase projetual, como também implica na fase de uso da edificação.

2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

A ACV é uma ferramenta ou metodologia que pode ser usada para avaliar o desempenho ambiental em todo o ciclo de vida de um processo, produto ou uma edificação e a quantificação dos impactos ambientais, considerando uma larga faixa de categorias destes impactos. Segundo a NBR ISO 14040 (ABNT, 2014) a ACV é uma metodologia no qual o produto ou processo é avaliado em todo o seu ciclo de vida.

As fases de uma ACV são divididas, conforme a EN 15804 (BS, 2013) em torno dos estágios de utilização do produto ou objeto a ser avaliado: pré-uso, uso e pós-uso. Dentro de cada fase existem as etapas que as compõem.

A ACV completa é definida como sendo do berço ao túmulo (em inglês, *cradle-to-grave*), ou seja, desde a origem da extração das matérias-primas de um produto ao seu destino final. Porém, segundo a NBR ISO 14040 (ABNT, 2014), partes específicas do ciclo de vida podem ser analisadas isoladamente, como por exemplo, o manejo de resíduos. Algumas mais comuns são:

- A avaliação desde a origem das matérias-primas até a saída da fábrica: berço ao portão (*cradle-to-gate*);
- A avaliação do berço ao portão com opções que incluem elementos da construção/instalação da edificação (BS, 2013)
- A avaliação apenas dentro dos limites físicos da fábrica: portão ao portão (*gate-to-gate*);
- A avaliação incluindo a retroalimentação dos resíduos no fluxo produtivo: berço ao berço (*cradle-to-cradle*).

2.2.1 BREVE HISTÓRICO

No final da década de 1960, a conscientização sobre os problemas ambientais começou a tomar uma escala global, servindo de estímulo a políticos, industriais e acadêmicos a fundarem o Clube de Roma, em 1968, com objetivo maior de identificar os principais problemas que determinariam o futuro da humanidade (CLUB OF ROME, 2012). Em 1972, o grupo concretizou sua missão com o lançamento do estudo Limites do Crescimento, no qual há a previsão de cenários em que o mundo atingiria o colapso devido ao desequilíbrio entre o consumo e a oferta de recursos naturais ou se estabilizaria. Neste contexto nascia a avaliação do ciclo de vida.

O primeiro estudo que pode ser entendido como ACV foi realizado em 1965 nos Estados Unidos, pela Empresa Coca-Cola, com o objetivo de identificar qual embalagem para refrigerantes teria as menores emissões para o meio ambiente e utilizaria menos recursos naturais em sua fabricação (CURRAN, 2006).

A *Midwest Research Institute* (MRI), responsável pelo estudo, aprimorou o modelo ao realizar outro estudo, desta vez para a agência norte americana de proteção ambiental, *Environmental Protection Agency* (EPA), em 1974. Este modelo se tornou o ponto de partida do que viria a se chamar Avaliação do Ciclo de Vida (CHEHEBE, 1997).

O interesse pela ACV aumenta, vários estudos são realizados e os primeiros problemas começam a aparecer pelos resultados diferentes para um mesmo produto sob avaliação (BENOIST, 2009).

O primeiro evento científico sobre o tema ocorreu em 1989, no intuito de organizar as diversas frentes de pesquisa. Encontros anuais foram então realizados na América do Norte e na Europa, para o desenvolvimento de uma metodologia padrão de ACV (GUINÉE *et al.*, 2004).

Na década de 1990, a ACV avançou bastante, com a fundação de instituições dedicadas ao método, o lançamento de livros e guias para a prática, a criação de revistas científicas orientadas para o tema, até chegar à normalização (BENOIST, 2009). Em 1997, a *International Organization for Standardization* (ISO), lançou a ISO 14040 - Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura (ISO, 1997). Uma série de outras normas foi publicada até a última, ISO 14044 - Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações, para a execução de um estudo ACV (ISO, 2006).

Em 2002, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) se associaram para lançar a Iniciativa para o Ciclo de Vida ou *Life Cycle Initiative* (LCI). Tal iniciativa visava estimular a prática da abordagem do ciclo de vida pelo mundo (UNEP, 2005).

Nos anos seguintes, embora não seja uma exigência à produção ou comercialização de produtos, há uma série de medidas implantadas, a exemplo da França, que com a promulgação da Lei Grenelle II em 2010, tornou-se obrigatória a divulgação de informações sobre o teor de carbono, o consumo de recursos naturais e os impactos ambientais nas embalagens dos produtos (LEGIFRANCE, 2012).

A rotulagem ambiental, normatizada pela ISO 14025 (ISO, 2006) - Rótulos e declarações ambientais - Declarações ambientais de tipo III - Princípios e procedimentos, está sendo um critério marcante no comércio internacional e é integralmente baseada na ACV (EPD, 2012). No Brasil, a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos instituiu a responsabilidade compartilhada pelo Ciclo de Vida dos produtos entre todos os envolvidos, desde o fabricante até o serviço de limpeza urbana, a fim de minimizar seus resíduos sólidos e rejeitos gerados (BRASIL, 2010).

2.2.1.1 ACV no Brasil

A ACV teve início no Brasil na metade dos anos 1990, com a implantação de um subcomitê específico ao tema dentro do Grupo de Apoio à Normalização Ambiental (GANA) (SEO; KULAY, 2006). Tal grupo se dedicou à análise do desenvolvimento da série de normas ISO 14000 que tratam da gestão ambiental dentro de empresas. Em 1998 foi lançada a primeira publicação didática sobre a metodologia, em português, *Análise do Ciclo de Vida Produtos – Ferramenta Gerencial da ISO 14000* (CHEHEBE, 1997).

No ano seguinte é produzido o primeiro resultado de pesquisa científica com aplicação da metodologia da ACV. A pesquisa *Avaliação do Ciclo de Vida de Embalagens para o Mercado Brasileiro* foi realizada pelo Centro de Tecnologia de Embalagem do Instituto de Tecnologia de Alimentos (CETEA/ITAL) (GARCIA *et al.*, 1999).

A normatização no Brasil veio três anos depois, com o lançamento da norma NBR ISO 14040 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura em 2001 (ABNT, 2009), a versão da norma internacional traduzida. O Brasil participa das discussões sobre ACV por meio do Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental (CB-38) vinculado à Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Em 2002 a ACV passou a ser tratada institucionalmente no país com a criação da Associação Brasileira de Ciclo de Vida, a ABCV. A associação busca fomentar a ACV nos diversos setores de interesse como as indústrias e os centros de ensino e pesquisa, além do governo. As principais ações da entidade são a promoção de cursos de capacitação e a realização do Congresso Brasileiro de Gestão do Ciclo de Vida – CBGCV (ABCV, acessado em 08 janeiro de 2018).

Em 2003, o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT) incorpora a ACV como parte de suas linhas temáticas e em 2004 firma parceria com

o Laboratório Federal da Suíça para Ciência e Tecnologia de Materiais (EMPA) com o objetivo de capacitar atores brasileiros em ACV na construção de uma base de dados de Inventários de Ciclo de Vida (ICV) nacional.

Em 2004, outra instituição no Brasil, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) define a ACV como ponto estratégico para a Avaliação de conformidade de produtos, processos, serviços e pessoal, passando a ACV como critério crucial para atestar o grau de confiança de um produto ou processo em relação ao seu desempenho ambiental (INMETRO, acessado em 20 dezembro de 2017).

Em 2005 foi publicado o livro *Avaliação do Ciclo de Vida – A ISO 14040 na América Latina*. Desde então o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), vem se destacando nas ações de promoção e difusão do conhecimento em ACV. Uma cartilha infantil (IBICT, 2012), um manual de ontologia (SILVA *et al.*, 2015), uma cartilha aos pequenos e médios empresários (IBICT, 2014), a tradução do *handbook* ILCD (EC, 2014) e o documento técnico sobre ACV no Brasil e na Europa (CHERUBINI; RIBEIRO, 2015) foram publicados pelo instituto.

Em junho de 2018, foi realizado o 6º congresso com o tema “Gestão da Informação Tecnológica para a Sustentabilidade”. Esses congressos são organizados pelo Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT) em parceria com a Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV) e cooperação da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Para além da abordagem acadêmica, o evento promete trazer também a aplicação da ACV no setor empresarial (ABCV, acessado em 08 janeiro de 2018).

2.2.2 ESTRUTURA DE UMA ACV

O conceito de ciclo de vida vem sendo amplamente aplicado nas Declarações Ambientais de Produto (DAP), que contêm a quantificação de informações ambientais sobre o ciclo de vida de um produto para permitir comparações entre os produtos que cumprem a mesma função (ISO, 2010).

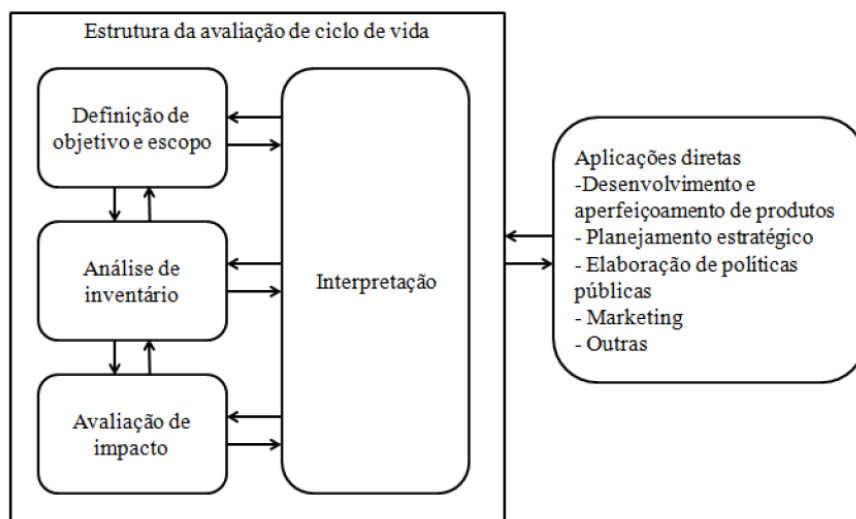
As DAPs fornecem os dados ambientais quantificados do produto utilizando parâmetros pré-determinados, que são baseados na norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2014) e na ISO 14025 (ISO, 2010). São documentos usualmente utilizados nos Estados Unidos e Alemanha, por exemplo. As DAPs são exemplos funcionais da

aplicação da ACV em produtos ou processos da construção civil, no qual o Brasil apresenta um estágio embrionário em relação à utilização dessas declarações.

A estrutura típica de uma ACV, conforme figura 4 compreende quatro etapas NBR ISO 14040 (ABNT, 2014) definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação.

As aplicações diretas de uma ACV, também apresentadas nesta figura, são: desenvolvimento e aperfeiçoamento de produtos, planejamento estratégico, elaboração de políticas públicas, marketing, etc. Blengini e Di Carlo (2010) enfatizam a importância da abordagem da ACV na incorporação de políticas de redução de energia.

Figura 4 - Estrutura de uma ACV



Fonte: NBR 14040 (2014, p. 5)

2.2.2.1 Definição do objetivo e escopo

Silva V. e Silva M. (2015), abordam a definição do escopo (primeira etapa) como o estabelecimento do objetivo e as fronteiras do estudo, sua abrangência e profundidade. Para Chau *et al.* (2015), é nesta etapa que são definidos finalidade, objetivos e fronteiras do sistema. Seguindo as recomendações da NBR ISO 14040 (ABNT, 2014), para determinar os objetivos da ACV, deve-se saber:

- A aplicação pretendida;
- As razões para a realização do estudo;
- O público-alvo, ou seja, a quem a comunicação dos resultados do estudo se destina; e

- Se os resultados serão utilizados em afirmações comparativas a serem divulgadas para o público.

O escopo deve estar bem definido para assegurar que a abrangência e os detalhes do estudo sejam suficientes para atender aos objetivos adotados. O escopo inclui: o sistema do produto, as funções do sistema (ou sistemas, no caso de estudos comparativos), a unidade funcional, as fronteiras do sistema, os procedimentos de atribuição, as categorias de impacto selecionadas e as metodologias de avaliação de impacto e interpretação subsequentes a utilizar, os requisitos de dados, os pressupostos, as limitações, os requisitos iniciais de qualidade dos dados, o tipo de revisão crítica (se houver) e tipo e o formato do relatório exigido para o estudo (ABNT, 2014).

É válido ressaltar que o escopo é um planejamento de toda a ACV a ser feita, podendo ser alterado conforme andamento do estudo. Ou seja, poderão haver adaptações para atendimento do objetivo proposto, à medida que os dados e as informações são coletadas.

Alguns termos são importantes para o entendimento do escopo de uma ACV. A unidade funcional define a quantificação das funções identificadas (características de desempenho) do produto. O objetivo principal de uma unidade funcional é fornecer uma referência para a qual as entradas e saídas estão relacionadas. Esta referência é necessária para assegurar a comparabilidade dos resultados da ACV.

Para isso, é importante determinar o fluxo de referência em cada sistema, de modo a cumprir a função pretendida. A descrição detalhada do fluxo de produção é a base para um bom andamento do estudo de ACV. Isso faz parte, inclusive, da definição das fronteiras da ACV.

Os critérios que são utilizados para definição das fronteiras são importantes para o grau de confiança nos resultados de um estudo e a possibilidade de atingir o objetivo proposto. De acordo com a NBR ISO 14040 (ABNT, 2014) ao definir o limite do sistema, vários estágios do ciclo de vida, processos unitários e fluxos devem ser levados em consideração, como por exemplo, entradas e saídas na principal sequência de fabricação (ou processamento).

2.2.2.2. Análise de inventário

A etapa de inventário do ciclo de vida (ICV) é a identificação e quantificação dos *inputs* (consumo de recursos) e *outputs* (emissões geradas) ambientais associados

a um produto em todo o seu ciclo de vida. Segundo a NBR ISO 14040 (ABNT, 2014) a análise de inventário envolve a coleta de dados e os procedimentos de cálculo para quantificar entradas e saídas relevantes de um sistema de produto.

O processo de condução de uma análise de inventário é iterativo. À medida que os dados são coletados, podem ser identificados novos requisitos de dados ou limitações que exigem uma mudança nos procedimentos de coleta de dados para que os objetivos do estudo ainda sejam atingidos (ABNT, 2014). Os dados para cada processo unitário dentro das fronteiras do sistema podem ser classificados em:

- Entradas de energia, insumos de matérias-primas, insumos auxiliares, outros insumos físicos;
- Produtos, coprodutos e resíduos;
- Emissões para o ar, descargas na água e no solo; e
- Outros aspectos ambientais.

As descrições da qualidade dos dados são importantes para entender a confiabilidade dos resultados do estudo e interpretar corretamente o resultado.

2.2.2.3 Avaliação de Impacto

A avaliação do impacto, terceira etapa, consiste em correlacionar os fluxos (*input-output*) a problemas ambientais em diferentes categorias, meio ambiente, saúde humana e uso de recursos. Ou seja, os impactos ambientais e os recursos de entrada são quantificados com base na análise de inventário (CHAU *et al.*, 2015). De forma mais geral, os resultados numéricos do inventário são traduzidos para resultados ambientais (SAADE *et al.*, 2014).

Segundo a NBR ISO 14040 (ABNT, 2014), este processo envolve, em geral, a associação de dados de inventário com categorias específicas de impacto ambiental e indicadores de categorias, tentando assim entender esses impactos. Essa etapa fornece informações para a quarta e última etapa de uma ACV: a de interpretação de resultados.

A etapa de avaliação pode incluir o processo de revisão do objetivo e do escopo do estudo para determinar se foram cumpridos ou para modificá-los no caso contrário. A escolha, a modelagem e a avaliação de categorias de impacto podem introduzir subjetividade nesta etapa. Por conseguinte, a transparência é fundamental para a avaliação do impacto, a fim de garantir que as hipóteses sejam claramente descritas e relatadas (ABNT, 2014).

As normas ISO subdividem esta etapa de avaliação em elementos obrigatórios e opcionais: dos elementos obrigatórios, a classificação é a identificação da categoria de impacto associada a cada parâmetro inventariado como, por exemplo, mudanças climáticas. A caracterização é o cálculo dos indicadores de cada categoria de impacto usando fatores de caracterização, os quais são estimados usando modelos de caracterização.

Os elementos opcionais informam de forma mais abrangente o alcance da categoria de impacto, como se dissesse o indicador final de certo impacto. Dos elementos opcionais, a normalização é o cálculo da magnitude relativa de cada indicador de categoria de impacto em relação a uma informação de referência.

A ponderação é a conversão dos resultados dos indicadores das diferentes categorias de impacto a uma escala comum, baseada em escolha de valores. Pode, inclusive, gerar um único indicador final para simplificação dos resultados. O agrupamento consiste em juntar as diferentes categorias de impacto em um ou mais conjuntos, fornecendo, em muitos casos, uma pontuação única, de fácil divulgação, porém com considerável agregação de subjetividade e incerteza (SAADE *et al.*, 2014).

Segundo a NBR ISO 14040 (ABNT, 2014), não existem metodologias geralmente aceitas para associar de forma consistente e precisa dados de inventário com potenciais impactos ambientais específicos, sendo que os modelos para categorias de impacto estão em diferentes estágios de desenvolvimento.

2.2.2.4 Interpretação

A etapa final, interpretação, consiste em interpretar os resultados calculados a partir da fase de avaliação de impacto e recomendar medidas de melhoria. Segundo a ABNT NBR ISO 14040: 2014, a interpretação é a etapa de ACV na qual os resultados da análise de inventário e a avaliação de impacto são considerados em conjunto. Esta etapa deve fornecer resultados consistentes com o objetivo e o escopo definidos e que cheguem a conclusões, expliquem limitações e forneçam recomendações.

Segundo John (2007) ao comparar os impactos ambientais dos produtos, a decisão deve passar pelas prioridades ou agenda de desenvolvimento sustentável da instituição interessada na análise, atribuindo-se importâncias relativas para os diferentes impactos.

Uma das limitações da ACV é que diferentes métodos aplicados a casos idênticos podem gerar resultados diferentes, comprovando que a ACV não gera valores absolutos e, portanto, tais dados não podem ser utilizados como garantia de sustentabilidade de um determinado produto ou serviço, apenas como parâmetro de comparação com outros produtos ou serviços (BUYLE; BRAET; AUDENAERT, 2013).

2.2.3 ACV DE EDIFICAÇÕES

A aplicação da metodologia de ACV em edificações é recente, iniciada nos anos de 1980 e intensificada a partir dos anos de 1990, quando os estudos acerca da sustentabilidade da indústria da construção civil ganharam mais importância (BUYLE; BRAET; AUDENAERT, 2013). Em apenas cinco anos, de 2011 a 2016, o número de publicações sobre esse tema aumentou (ANAND; AMOR, 2017). A ACV de edificações segue a mesma metodologia estabelecida pela NBR 14040 (ABNT, 2014). A norma europeia EN 15804 (BS, 2013), divide a ACV de edificações em 04 etapas: produto, construção, uso e fim de vida (Figura 5). Até o momento da qualificação não se obteve a íntegra da referida norma.

Figura 5 - Etapas de uma ACV de edificações

PRODUTO			CONSTRUÇÃO		USO							FIM DE VIDA			
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4
Materia Prima	Transporte	Manufatura	Transporte	Construção Canteiro Obras	Uso	Manutenção	Reparo	Reposição	Reforma	Consumo de Energia	Consumo de Água	Demolição	Transporte	Processamento de Resíduos	Descarte

Fonte: Adaptado de EN 15804:2013; *Apud* Vilches, Garcia-Martinez e Sanchez-Montañes (2017)

Para uma ACV de edificação completa, ou seja, do berço ao túmulo, os impactos de todas as fases devem ser analisados, o que torna a ACV de edificações mais trabalhosa, quando comparada com ACV de um único produto. Mais trabalhosa ainda é a comparação entre diferentes ACVs de edificações, pois, para que isso ocorra é necessário que os parâmetros considerados na análise sejam similares (ANAND; AMOR, 2017).

Aliado a este fator, os estudos de ACV em edificações têm demonstrado grande variabilidade nos resultados, muitas vezes decorrentes da falta de homogeneidade metodológica (OCHSENDORF *et al.*, 2011).

Além disso, uma edificação é composta por diversos produtos e sistemas diferentes. Nesse sentido, Cabeza *et al.* (2014) destacam como desafios do ACV aplicado a edificações:

- Cada edificação é construída em um sítio diferente, e os impactos dessa localização devem ser considerados (distância de transporte, impactos na vizinhança, dentre outros);
- A complexidade dos processos construtivos e a singularidade de cada edificação;
- Cenário mercadológico incerto; e
- As questões ambientais internas de conforto e saúde do usuário também devem ser consideradas.

Buyle, Braet e Audenaert (2013) acrescentam que algumas das dificuldades na elaboração de ACV em edificações incluem o longo ciclo de vida considerado (entre 50 e 100 anos), e conseqüentemente a imprevisibilidade do comportamento dos componentes da edificação durante esse período. Dessa forma, tendo em vista que os processos construtivos em edificações não são padronizados, a análise do seu ciclo de vida se torna uma tarefa desafiadora.

Desta forma, por ser uma metodologia de elevada complexidade, a ACV vem sendo substituída por versões simplificadas ou recortes, em que apenas uma categoria é analisada. Chau *et al.* (2015) afirmam que esse foco dado à ACV facilita na busca de dados e na interpretação dos resultados.

Os pesquisadores da construção civil vêm aderindo usualmente às simplificações da ACV, seja na Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE), Avaliação do Ciclo de Vida de Emissões de CO₂ (ACVCO₂), Avaliação do custo do Ciclo de Vida (ACVC) e outros.

2.3 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO (ACVE) DE EDIFICAÇÕES

Ao avaliar o desenvolvimento de uma ACV, evidencia-se a necessidade de considerável quantidade de recursos e profundidade de conhecimento acerca do tema. Desta forma, torna-se importante a busca de metodologias que apresentem resultado de forma mais rápida, mas com confiabilidade e menor custo.

Tavares (2006), Lobo (2010) e Carminatti Júnior (2012) apontam que a análise energética ou a análise do ciclo de vida energético (ACVE) pode ser uma das soluções para redução da quantidade de tempo e recursos necessários, podendo-se obter resultados expressivos na condução de análise ambiental.

Qualquer atividade de transformação ou transporte de matéria implica em uso de uma forma de energia. O entendimento dos fluxos energéticos torna-se então fundamental para a compreensão da maneira como se consomem, os recursos energéticos disponíveis. Neste sentido, a determinação da energia requerida para a produção de um bem ou serviço, requer uma forma sistematizada de avaliação que pode ser chamada de análise energética (TAVARES, 2006; CABEZA *et al.*, 2014). A Figura 6 representa o caminho percorrido pela energia, desde a extração dos recursos para sua produção, até a sua distribuição para os diversos setores da economia. A energia primária refere-se à energia proveniente diretamente da natureza, como petróleo, gás natural e energia hidráulica. A energia secundária é resultado do processo de transformação da energia primária, como gasolina (produzida a partir do petróleo) e eletricidade (produzida por usinas hidrelétricas). Melhorar a eficiência energética significa encontrar formas de reduzir o consumo de energia primária, seja por meio da redução do consumo ou pela substituição de uma forma de energia por outra (INEE, 2017).

Figura 6 - Cadeia do uso de energia



Fonte: Adaptado de INEE (2017)

Dessa forma, é fundamental que os novos empreendimentos e os existentes lancem mão de medidas para aumento da eficiência energética, afim de reduzir seus consumos, custos operacionais e impactos ambientais associados.

Diferentemente da maioria dos países, o Brasil se destaca por possuir grande parte de sua matriz energética proveniente de fontes renováveis, principalmente através do sistema de energia hidroelétrica, porém a própria produção de energia gera impactos ao meio, relacionados a emissão de poluentes, ou ainda, poluição da água ou modificação do ecossistema, principalmente no caso das hidroelétricas.

Cada país tem sua própria matriz energética e, portanto, produz impactos de forma diferenciada. Para cálculo desses impactos é necessário que se avalie o processo de extração, conversão e perdas na distribuição da energia.

A participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira está entre as mais elevadas do mundo, contribuindo com 41,5% do total da energia gerada no ano de 2016. Com relação à produção de energia elétrica, 81,7% se dá por fontes renováveis, e dessas, 68,1% é produzida por hidrelétricas (BRASIL, 2017a).

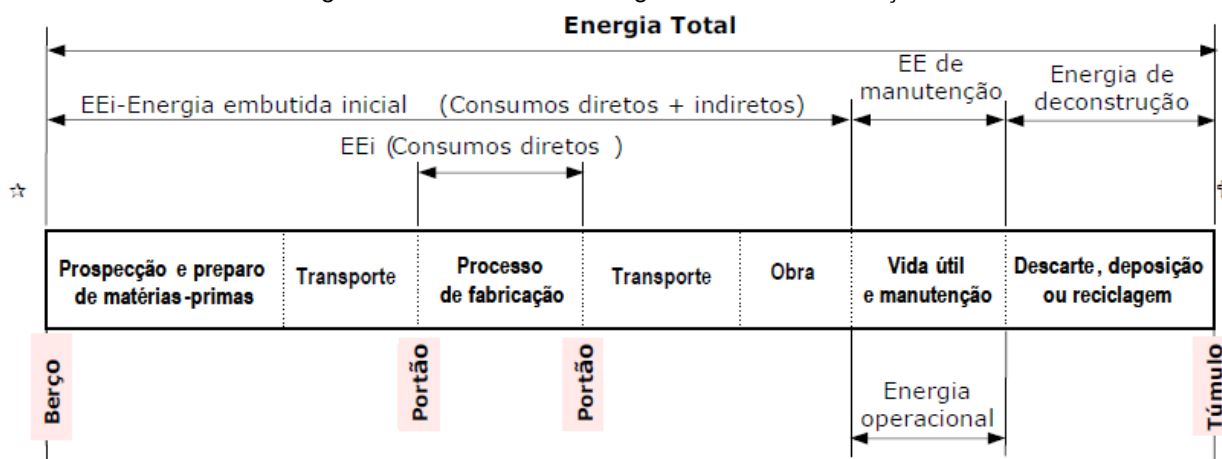
Ainda considerando a crise hídrica, enfrentada pelo país, o cenário energético precisa investir em novas formas de concepções de edificações e de equipamentos menos consumidores de energia.

A análise do ciclo de vida energético é uma forma simplificada, porém significativa, para a condução de uma análise de impactos ambientais. Baseada na ACV preconizada na norma ISO 14040 esta análise prioriza o inventário de dados de consumo energético, diretos e indiretos. Apesar de não usar o conceito de multi-análise, característico das ACVs, uma ACVE possibilita a avaliação de impactos ambientais importantes como a emissão de gases do efeito estufa. Além disso, por ter uma estrutura mais simples do que uma ACV completa, demanda menor custo e tempo na sua execução.

Sendo assim, a proposta de uma ACVE não é substituir um método de análise ambiental amplo como uma ACV, mas preferencialmente facilitar uma tomada de decisão acerca de eficiência energética e dos impactos associados como, por exemplo, a geração de CO₂ (FAY, 2000).

Na indústria da construção civil, uma ACVE tem atributos especiais devido à complexidade de processos que envolvem o ciclo de vida das edificações. Os estudos sugerem uma divisão básica da etapa do ciclo de vida energético de uma edificação e terminologias usuais dos consumos energéticos por cada etapa ao longo do ciclo de vida (figura 7).

Figura 7 - Ciclo de vida energético de uma edificação



Fonte: Tavares (2006, p.56).

Assim o conjunto dos requisitos energéticos em uma abordagem berço ao túmulo, segundo a terminologia da norma ISO 14040 (ISO, 1997), é chamado Energia Total no ciclo de vida energético.

A Energia embutida inicial é definida como o conjunto dos insumos energéticos, diretos e indiretos, utilizados para erguer a edificação. Os consumos diretos, ou Requisitos Energéticos de Processo, são os realizados dentro dos limites da fábrica para a obtenção dos materiais de construção utilizados (TAVARES, 2006).

Entre os indiretos incluem-se a extração e beneficiamento das matérias-primas dos materiais de construção, o transporte destas para as fábricas e posteriormente dos produtos acabados para os canteiros de obras, e finalmente a energia despendida na obra propriamente dita.

Ramesh, Prakash e Shukla (2010), chamam a energia embutida de incorporada, que por sua vez é dividida em duas partes: energia incorporada inicial e energia incorporada recorrente. A primeira refere-se à energia necessária à extração de matéria prima, manufatura dos materiais e transporte e instalação dos mesmos no canteiro de obra. A segunda refere-se à energia necessária para manutenção, reparos ou reposição dos materiais, já que nem todos tem a mesma vida útil na edificação. A quantidade de energia incorporada depende do tipo de material utilizado, da fonte primária de energia, e da eficiência nos processos de produção dos materiais construtivos.

Dixit *et al.* (2010) classificam a energia incorporada dos materiais em direta e indireta. A primeira refere-se à etapa de construção no canteiro de obra, das atividades de pré-fabricação e do transporte entre as indústrias de pré-fabricados e

canteiro. A energia indireta refere-se à energia incorporada inicial (extração de matéria prima, manufatura e transporte), recorrente e de demolição.

Segundo Treloar, (1998); Tavares (2006) e Dixit *et al.* (2010), há 4 tipos de métodos de análise da energia incorporada:

- Baseada em processos: É um dos métodos mais utilizados por demandar uma análise mais detalhada de todos os processos, gerando resultados mais confiáveis. Consideram-se todas as possíveis entradas de energia das matérias-primas utilizadas na produção de um determinado material. Entretanto, dependendo da complexidade, os resultados podem ser gerados de forma incompleta.
- Baseada em estatística: Como o próprio nome sugere, a análise baseia-se em dados estatísticos gerados pelas fábricas ou órgãos governamentais sobre o consumo energético para fabricação de certos produtos. Indústrias de setores da construção específicos, como de cimento, aço e alumínio, detalham com credibilidade os índices de consumo de energia nos seus processos.
- Baseada em insumo x produto: Análise baseada em fluxos financeiros entre diversos setores da indústria, transformando-os em fluxos energéticos, a partir da unidade de moeda correspondente (MJ/R\$).
- Análise híbrida: Tem como objetivo unir as vantagens e mitigar os possíveis erros e limitações das demais abordagens metodológicas. A análise híbrida pode ser utilizada dependendo da disponibilidade e dificuldade de obtenção dos dados necessários para o cálculo da energia incorporada (TAVARES, 2006).

Durante a vida útil da edificação, ou fase de uso, faz-se necessário o uso de equipamentos que consomem a chamada energia operacional para suprir as necessidades de: cocção, iluminação, entretenimento, climatização e, eventualmente, profissionais. A quantidade de energia nessa fase depende dos requisitos de conforto térmico dos usuários, das condições climáticas e dos horários de funcionamento das atividades (RAMESH; PRAKASH; SHUKLA, 2010).

Durante esta etapa são executadas reformas, em função da depreciação dos materiais ou por senso estético, com consequente uso de materiais de construção e transporte. O conjunto dos insumos pode ser denominado Energia Embutida de Manutenção ou Energia recorrente.

Segundo Sartori e Hestnes (2007), a etapa que mais consome energia é a de uso e operação, mesmo nas edificações construídas com intuito de diminuir o consumo energético nessa etapa (*low-energy buldings*). Por isso, muitas pesquisas focam apenas nas estratégias necessárias para redução do consumo energético nessa etapa.

Energia de desconstrução é a energia consumida na etapa final do ciclo por descarte, deposição ou reciclagem. Considera-se o total de insumos diretos para demolição ou desmontagem da edificação e o transporte dos resíduos ou materiais para reaproveitamento ou reciclagem. O débito de energia embutida nos materiais reaproveitados ou reciclados pode ser contabilizado nas novas edificações que se utilizarem destes materiais (ADALBERTH, 1997; FAY, 2000; SCHEUER, 2003). Outra forma de avaliar os eventos de consumo energético desta etapa é calcular o potencial de reciclagem e reuso dos materiais utilizados no ciclo de vida da edificação (THORMARK, 2002). O valor encontrado é informado junto ao total do consumo de Energia Embutida mais Energia Operacional e torna-se um fator a mais a ser considerado em uma tomada de decisão sobre eficiência energética.

A energia consumida na etapa de demolição, em muitos casos, é insignificante ou até mesmo desconsiderada (RAMESH, PRAKASH E SHUKLA, 2010).

2.4 ACVE E DESEMPENHO ENERGÉTICO

A definição, e eventual comparação, do consumo energético nas principais etapas do ciclo de vida de uma edificação, indicam potenciais de eficiência energética e consequentes estratégias de conservação. Assim uma ACVE pode ser usada com propósitos variados como comparar o consumo de energia de prédios com tipologias diversas, ou demonstrar os benefícios de um recurso de projeto para otimizar energia operacional.

Um item relevante estimado em uma ACVE é a relação de retorno energético, ou seja, o tempo necessário de consumo operacional da edificação para igualar o custo energético embutido inicialmente (TAVARES, 2006).

No Brasil, a preocupação acentuada com Eficiência Energética (EE) surgiu com os choques do petróleo de 1973-1974 e 1979-1981 que trouxeram a percepção de escassez deste recurso energético e forçaram a alta dos preços, abrindo espaço para uma série de ações voltadas à conservação e maior eficiência no uso dos seus derivados. Com a publicação dos estudos do Clube de Roma, com os movimentos

em prol do meio ambiente e com os tratados relacionados à mudança climática, a Eficiência Energética foi alçada à condição de instrumento privilegiado e, por vezes, preferencial para a mitigação de efeitos decorrentes das emissões de gases de efeito estufa e destruidores da Camada de Ozônio (BRASIL, 2011).

O Brasil teve seu primeiro plano em 1981, por meio da Portaria MIC/GM46 que foi criado o Programa Conserve, visando à promoção da conservação de energia na indústria, ao desenvolvimento de produtos e processos energeticamente mais eficientes.

Destacam-se outras iniciativas como o Plano Nacional de Eficiência Energética – PNEf que unificou as metas para maior eficiência energética nas diferentes áreas de consumo e produção de energia. Nesse período foram criados o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), em 1985, e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) em 1992. Em 1993, foi instituído o selo Procel de Economia de energia, o qual estimula a fabricação e comercialização de produtos mais eficientes a partir da divulgação ao consumidor do seu nível de eficiência no ato da compra do produto (BRASIL, 2017).

Importante citar também a CICE – Comissão Interna de Conservação de Energia, criada em 1990, que obrigava os órgãos federais, com consumo superior a 600 MWh anuais, a elaborar planos de conservação de energia e divulgar no âmbito de seus respectivos estabelecimentos.

O Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações (PBE Edifica) classifica edificações residenciais, comerciais e públicas em níveis que vão de A (mais eficientes) até E (menos eficiente). Torna-se obrigatória a obtenção do selo nível A para edificações públicas federais novas ou que passam pelo processo de *retrofit* (BRASIL, 2014).

Em novembro de 2014 foi criado o Selo Procel Edificações, cujo principal objetivo é motivar o mercado consumidor a adquirir imóveis mais eficientes, através da classificação dos mesmos quanto ao seu nível de eficiência energética (BRASIL, 2017c).

Para a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), a avaliação da eficiência energética de uma edificação pode ser utilizada através Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética (RTQ), sendo a etiquetagem realizada pelo método prescritivo ou de simulação, ou ainda, utilizando os dois de forma complementar. Para Carlo e Lamberts (2010a) para o

desenvolvimento da simulação há necessidade de se calcular, pelo método prescritivo as classes energéticas relativas ao modelo em estudo.

Esses requisitos técnicos estão divididos em duas classes: RTQ-R e RTQ-C, sendo o primeiro voltado para a classe residencial e o segundo voltado para edificações comerciais, de serviços e públicas, objeto de estudo desse projeto de pesquisa.

Ainda dentro das iniciativas, estão a NBR 15220 - que trata do desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005) e a NBR 15575 - que refere-se ao desempenho para edificações residenciais (ABNT, 2013). A primeira trata principalmente dos métodos de cálculo das propriedades térmicas dos materiais, bem como do zoneamento bioclimático brasileiro e as respectivas diretrizes construtivas para cada uma das zonas.

A Norma NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece requisitos de desempenho para os sistemas estruturais, de piso, de vedações verticais internas e externas, de cobertura e de sistemas hidrossanitários.

Todas estas iniciativas relacionam-se com a ACVE por esta ser uma abordagem em que todos os consumos energéticos de um produto ou processo são contabilizados. Para o uso mais eficiente da energia elétrica nas edificações, a certificação energética constitui um termômetro para esta avaliação.

2.5 CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA

Para Lamberts, Dutra e Pereira (2014), um bom projeto arquitetônico deveria incluir análise sobre o seu desempenho energético, pois cada decisão tomada durante o processo de projeto pode influenciar no desempenho térmico e luminoso do edifício. Tem-se ainda que os edifícios passivos, com baixo consumo de energia e com estratégias de controle climático, oferecem uma maior oportunidade para se adaptar às mudanças climáticas (KWOK; RAJKOVICH, 2010).

A implantação de estratégias de eficiência energética nos edifícios não só reduz o pico de demanda de energia, como também reduz o uso de energia em geral e o seu impacto no meio ambiente (KNEIFEL, 2010; NIKOLAOU *et al.*, 2015). O princípio básico de melhorar a eficiência energética de um edifício é usar menos energia para aquecimento, arrefecimento e iluminação, sem afetar a saúde e conforto dos seus ocupantes (KOLOKOTSA; NIKOLAOU; STRAVRAKAKIS, 2011). O consumo de energia elétrico é influenciado principalmente por seis fatores: (1) clima, (2) envoltória do edifício, (3) equipamentos, (4) operação e manutenção da

construção, (5) as atividades de uso e ocupação e (6) qualidade ambiental interna. Os três últimos fatores estão relacionados com o comportamento humano e estes podem ter uma influência tão grande quanto os três primeiros fatores (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2013).

Em geral, o desconhecimento dos fatores que mais influenciam nas variações de demanda e consumo por parte de projetistas e *stakeholders* levam a diferenças significativas entre o uso de energia projetado e o atual consumo de energia das edificações (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2013). Diversos parâmetros que influenciam no consumo de energia do edifício precisam ser investigados visando a possibilidade de alteração de projeto para que as edificações se tornem mais eficiente. A arquitetura deve reassumir o papel de minimizar os efeitos climáticos (MASCARÓ e MASCARÓ, 1992; ROMÉRO e REIS, 2012).

Por exemplo, a fachada, é fator importante para o *retrofit* de uma edificação, pois é responsável por atuar como um filtro entre as condições internas e externas, servindo de controle para a entrada de ar, calor, frio, luz, ruídos e odores. Se a fachada é mal projetada ou especificada, torna-se difícil a edificação atingir um bom desempenho energético, sendo necessário quantificar a energia consumida no processo de *retrofit*. Assim, é possível verificar o impacto energético relacionado a cada escolha, e desta forma subsidiar a tomada de decisão, priorizando técnicas e materiais que consumam menores quantidades de energia.

Para cálculo do consumo energético na etapa de uso pode-se utilizar *softwares* específicos para simular o desempenho da edificação. O Departamento de Energia dos Estados Unidos lista um total de 150 *softwares* para simulação de desempenho de edificações (DOE, 2017). Crawley *et al.* (2008) compararam as características e capacidades dos 20 *softwares* de simulação mais utilizados e concluíram que não há uma linguagem única pra descrever as capacidades da ferramenta, mesmo naqueles *softwares* que estão a mais tempo no mercado.

Uma das vantagens da utilização dessa ferramenta é a possibilidade de testar diferentes alternativas, tanto relacionadas ao projeto propriamente, quanto à localização geográfica da edificação. Tais *softwares* funcionam como calculadoras abastecidas de algoritmos matemáticos e termodinâmicos, cujos dados de entrada e saída são expressos em arquivos de texto (MAILE; FISCHER; BAZJANAC, 2007). Para a interface com o usuário, muitos *softwares* desenvolvem plataformas gráficas,

facilitando a visualização da edificação, bem como dos resultados. Exemplo do *Design Builder*, outro *software* comumente utilizado, porém não gratuito. Entretanto, vale ressaltar que, apesar da fácil visualização, é fundamental que o usuário tenha conhecimento prévio dos mecanismos de cálculo, para que possa analisar as simulações baseando-se em resultados que se enquadram à realidade da edificação.

2.5.1 SOFTWARE PARA SIMULAÇÃO ENERGÉTICA

A simulação computacional é uma ferramenta capaz de auxiliar no processo de projeto de uma edificação eficiente. Através da análise de uma alternativa de projeto, é possível verificar o desempenho térmico do edifício projetado, assim como seu consumo energético total. Com estes dados em mãos, o projetista pode promover alterações na proposta arquitetônica e realizar uma nova simulação, de forma a obter um resultado cada vez mais eficiente (LAMBERTS *et al.*, 2014).

Também é possível utilizar os programas de simulação de eficiência energética para averiguar o impacto de diferentes formas de ocupação no conforto térmico, no consumo de energia do prédio e nos custos da energia utilizada.

Apesar da simulação computacional ser utilizada mundialmente para avaliar níveis de eficiência energética em edificações, o alto nível de complexidade dos *softwares* torna este processo dispendioso em termos financeiros e de tempo. No Brasil, Carlo e Lamberts (2010a) apontam que a simulação computacional, embora não represente a realidade em sua totalidade, é a forma mais flexível e completa de observar aspectos relacionados à eficiência energética de edificações.

Hensen e Lamberts (2011) e Zhang (2013) ainda indicam a necessidade de mão-de-obra qualificada e experiente no domínio de *softwares* de alta complexidade para que haja confiabilidade nos resultados obtidos através da simulação, além do maior investimento financeiro e de tempo. Um indício da dificuldade de utilização da simulação no Brasil é que ela foi utilizada em menos de 16% das edificações etiquetadas até abril de 2016 (INMETRO, 2016).

O *EnergyPlus*TM, escolhido para essa pesquisa, é um programa de simulação de energia de edifícios que engenheiros, arquitetos e pesquisadores usam para calcular o consumo de energia - para aquecimento, resfriamento, ventilação, iluminação, enchimento e processamento de cargas - e uso de água em edifícios. (*ENERGY PLUS*, acesso em 11 janeiro de 2018)

O programa é gratuito, de código aberto e de plataforma cruzada, podendo ser executado nos sistemas operacionais Windows, Mac OS X e Linux. O seu desenvolvimento é financiado pelo Escritório de Tecnologias de Construção (BTO) do Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE).

O programa lê também entrada e grava saída em arquivos de texto. Ele é fornecido com uma série de utilitários, incluindo IDF-Editor para criar arquivos de entrada usando uma interface de planilha simples, EP-Launch para gerenciar arquivos de entrada e saída e executar simulações por lotes, e EP-Compare para comparar graficamente os resultados de duas ou mais simulações.

Para melhorar a interface com o usuário foram desenvolvidas ferramentas de modelagem que facilitam a visualização da edificação e dos resultados. Uma dessas ferramentas é o *Euclid* (BIG LADDER SOFTWARE, 2017), um *plugin* do *Sketchup* que possibilita utilizar suas ferramentas de modelagem a fim de facilitar a visualização espacial da edificação a ser simulada.

O *software SketchUp*, de propriedade da *Trimble Navigation*, apresenta-se em duas versões, o *SketchUp Make* e o *SketchUp Pro*. A primeira é gratuita, constituindo uma versão educacional de modelagem 3D em navegador web. A segunda uma versão profissional, em que o software apresenta adições de recursos (RIBEIRO, 2017). Um exemplo é a possibilidade de importação de planta baixa do *software AutoCad*, programa comumente utilizado pelos órgãos públicos para a confecção de projetos arquitetônicos, facilitando sua utilização nessa pesquisa.

Ademais, Sartori, Santos e Calmon (2017), apontam que o *software* de modelagem *sketchup* se mostrou mais satisfatório em relação ao *software Revit*, na interoperabilidade com o *software* de simulação energética *Energy Plus*.

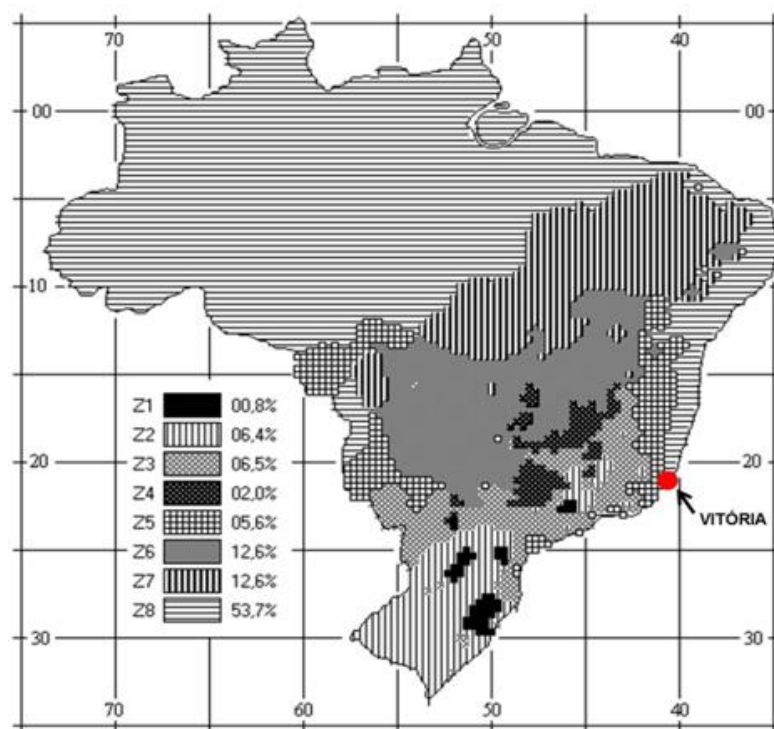
Importante destacar que apesar do *plugin Euclid* ser também uma ferramenta gratuita e de fácil utilização, acessa apenas as ferramentas mais básicas do *EnergyPlus*. Para componentes mais específicos ou simulações mais detalhadas, o projetista deve recorrer ao próprio *EnergyPlus* (AIA, 2012).

Um dos inputs necessários à simulação energética, são os dados climáticos da região onde o edifício está situado. O Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), disponibiliza arquivos climáticos de 14 cidades brasileiras, que são utilizados em programas de cálculo de desempenho que necessitam de dados horários de um ano completo (8760 horas). Tais arquivos são denominados TRY (*Test Reference Year*),

traduzido como Ano Climático de Referência. As informações contidas nesses arquivos (temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, velocidade e direção dos ventos, dentre outras) são extraídas de estações automáticas, geralmente localizadas em aeroportos ou estações climáticas (CARLO, 2005).

Levando em conta as características climáticas das diferentes regiões do país, normas técnicas estabelecem valores limites para diversas propriedades de materiais e seus desempenhos, assim como, valores limites para o bem estar do usuário. A figura 8 apresenta a divisão do país em 8 Zonas Bioclimáticas (ZB), estabelecida pela NBR 15220 (ABNT, 2005c), a partir da metodologia das cartas climáticas.

Figura 8 - Zoneamento bioclimático brasileiro, destaque para cidade de Vitória – Espírito Santo



Fonte: Adaptado da ABNT – NBR 15220:3 (2005a, p. 3)

Dentre as propriedades intrínsecas aos materiais destacam-se: densidade, condutividade, calor específico, absorvância e emissividade, características fundamentais para o cálculo de desempenho térmico da envoltória, que juntamente ao método prescrito na NBR 15220 (ABNT, 2005c) permitem calcular a Transmitância (U), Resistência (R) e a Capacidade térmica (CT).

A norma 15575 (ABNT, 2013a) por sua vez estabelece requisitos, critérios de desempenho e métodos de avaliação para os diferentes elementos construtivos

(estrutura, vedação, cobertura, piso e instalações), visando a segurança, habitabilidade e sustentabilidade (CBIC, 2013). O procedimento para cálculo do desempenho, pode ser realizado pelo método simplificado, onde valores máximos de transmitância térmica (U) e mínimos de capacidade térmica (CT) do material da envoltória da edificação são fornecidos e outro através da simulação computacional, onde recomenda-se a utilização do *software EnergyPlus*, e a inserção de parâmetros estabelecidos, afim de obter níveis de desempenho: mínimo, intermediário e superior.

D'ell Santo, Alvarez e Nico-Rodrigues (2013) encontraram inconsistências na NBR 15575 (ABNT, 2013), ao confrontar seus requisitos de conforto aos parâmetros adotados por outras referências já conhecidas, como o conforto adaptativo da ANSI/ASHRAE 55 (ANSI, 2004) e o índice Frequência de Desconforto Térmico (FDT). Isso se deve à simplificação do método de análise da referida norma, que desconsidera os ganhos térmicos com ocupação e equipamentos e analisa somente os valores máximos diários de temperatura.

Já o RTQ-C especifica requisitos técnicos, bem como os métodos para classificação de edifícios comerciais, de serviços e públicos quanto à eficiência energética. O regulamento especifica a classificação do nível de eficiência de edificações, dividida nesses três requisitos: Envoltória, Sistema de iluminação e Sistema de Condicionamento de ar, sendo que todos os requisitos têm níveis de eficiência que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente), apresentada na ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia: Envoltória e Sistema de Iluminação (30% cada) e Sistema de ar condicionado (40%). Por sua vez, o nível de classificação de cada requisito equivale a um número de pontos que vai de 1 a 5 (BRASIL, 2010).

A avaliação também pode ocorrer de forma parcial, para os três requisitos, porém de forma separada. Neste caso, recebem uma classificação parcial do nível de eficiência referente a cada um dos itens (BRASIL, 2010).

Para a classificação da envoltória, o nível de eficiência energética deve ser estabelecido para a edificação completa. Para a classificação do sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar, o nível de eficiência energética pode ser estabelecido para um pavimento ou um conjunto de salas.

Para análise da envoltória:

- áreas de curta permanência, tais como circulação, depósitos, banheiros: não são consideradas para análise da envoltória;

- áreas de permanência prolongada, tais como lojas, escritórios, áreas de trabalho: é obrigatório comprovar por simulação que o ambiente interno proporciona temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual das horas ocupadas.

Assim como na norma de desempenho, o RQT-C apresenta dois métodos de avaliação da eficiência, o prescritivo e por meio de simulação.

Carlo e Lamberts (2010b), apontam que o método prescritivo indicado pelo RTQ-C é um procedimento simplificado para obtenção da ENCE, formado por equações derivadas de simulações realizadas com o *software EnergyPlus*.

Caso o nível de eficiência seja calculado por simulação, deve-se comparar o desempenho do edifício proposto (real) com um edifício similar (de referência), cujas características devem estar de acordo com o nível de eficiência pretendido, sendo portanto, necessário a construção de dois modelos.

Dentre os pré-requisitos do programa de simulação, destacam-se entre outras características, que deve ser validado pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE), modelar 8.760 horas por ano e produzir relatórios horários. O *EnergyPlus* atende a todos os pré-requisitos (SILVA; ALMEIDA; GUIZI, 2013) e, por ser um *software* livre, é o mais utilizado para cálculo de desempenho.

Para edifícios ventilados naturalmente ou não condicionados é obrigatório comprovar pela simulação que o ambiente interno das áreas não condicionadas proporciona temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual das horas ocupadas.

2.6 PESQUISAS REALIZADAS

Para conhecimento da situação atual de pesquisas sobre a ACVE de edificações, englobando suas características, principais resultados e barreiras para seu desenvolvimento, foi realizado um estudo bibliométrico, considerando o período relacionado aos últimos 5 anos, de artigos indexados e publicados na plataforma CAPES, porém a pesquisa não se restringiu somente a este período.

2.6.1 ACVE NO CONTEXTO INTERNACIONAL

Nas últimas duas décadas, pesquisadores internacionais, têm desenvolvido trabalhos no sentido de explorar a questão da importância de analisar os impactos

ambientais no ciclo de vida de uma habitação, por meio da medição da Energia Incorporada (EI) envolvida neste ciclo.

Nesse sentido, Cole e Kernan (1996), no Canadá, pesquisaram EI em edifício de escritórios comparando estruturas de madeira, aço e concreto. Realizaram o estudo com enfoque em todo o ciclo de vida, abordando a dificuldade de comparação de dados de EI pela falta de base consistente destes, para a época do trabalho. Atestaram que para as tipologias estruturais estudadas a estrutura seria o item de maior consumo de energia incorporada inicial.

Os autores apontam a energia operacional como a mais representativa no consumo de EI, tratando sobre seus tipos, como inicial, recorrente, de operação e de demolição. Comentam sobre a importância de estudar os consumos de EI no âmbito da construção civil, assim como a importância do projeto de arquitetura neste contexto.

Adalberth (1997), desenvolveu um método para o cálculo da energia em todo o ciclo de vida de uma habitação na Suécia, pois segundo o mesmo até então, a maioria dos estudos era focado na fase de uso.

Em outro trabalho na Suécia, o mesmo pesquisador, apresentou uma avaliação do consumo energético em todo o ciclo de vida em três habitações, adotando o método desenvolvido no trabalho anterior. Mostrou que 85% do consumo energético seriam na fase de uso e manutenção, alertando ser este um caminho importante para diminuição do consumo energético, nesta etapa do ciclo de vida.

Nota-se que na década de 1990 pesquisadores já tratavam sobre o tema, em países da Europa e América do Norte, alertando sobre as diferenças EI nas diferentes fases do ciclo de vida dos edifícios, já demonstrando a necessidade de pesquisar como se comportava a EI nos materiais que compunham os projetos, mostrando também os pesos destes consumos em cada etapa do ciclo de vida, conforme os estudos de Cole e Kernan (1996) e Adalberth (1997).

Cabe mencionar que Cole (1999), desenvolveu trabalho no Canadá, analisando emissões de CO₂ e consumo de energia em três sistemas construtivos, alertando para o consumo de energia devido ao transporte de mão de obra, em casos relevantes para esta atividade, evidenciando que cada região e cultura construtiva têm características particulares que devem ser consideradas na contabilização do consumo energético.

Posteriormente, Thormark (2002), na Suécia, desenvolveu trabalho destacando a EI para construção, operação e desconstrução, observando que a EI para o recorte de estudo realizado, representou 40% do total consumido numa vida útil de 50 anos para os edifícios. Observou o potencial de reciclagem dos edifícios, sob o ponto de vista da possibilidade de minimizar a EI dos materiais, explorando o potencial de reciclagem e reutilização, assim como na adoção de sistemas construtivos desmontáveis.

Logo depois, Thormark (2006), em pesquisa na Suécia sobre redução de gasto de energia, adotou a metodologia de ACV para realizar uma ACVE com foco em materiais reciclados, indicando valores para o consumo de energia nas fases de pré-uso e uso, na tipologia estudada.

Asif *et al.* (2007), na Escócia, estudaram o comportamento de uma habitação isolada, quanto ao consumo de Energia Incorporada e impactos ambientais, avaliando os cinco principais tipos de materiais de construção (madeira, alumínio, vidros, telhas de cerâmica e concreto). Concluíram para a tipologia estudada que o concreto representou 61% da Energia Incorporada da habitação, assim como o elemento gerador de maior impacto ambiental.

Huberman e Pearlmutter (2008), afirmam que para qualquer avaliação mais abrangente do ponto de vista arquitetônico, o consumo de energia deve ser considerado, dado o contexto do ciclo de vida do edifício, analisando as fases de pré-uso (energia incorporada), fase de uso (energia operacional) e fase de pós-uso (demolição, reciclagem e reutilização).

Na década de 2000-2010, os trabalhos continuaram evidenciando a necessidade do estudo pormenorizado de cada etapa do ciclo de vida, a fim de compreender o consumo de Energia Incorporada e os impactos ambientais em cada fase do ciclo de vida. Entretanto, ainda há falta de um banco de dados comum sobre o consumo energético para os materiais de construção, evidenciando a falta de uniformidade para comparação dos resultados de diferentes regiões.

Nesta direção, Bribián *et al.* (2009), em trabalho na Espanha, fizeram uma pesquisa de estado da arte em ACV para o setor da construção, abordando em modelo de ACV simplificada baseada no consumo de Energia Incorporada e impactos ambientais. Avaliaram que é desejável a adoção de projetos que possibilitem ganhos bioclimáticos, de baixo impacto ambiental, recicláveis, próximos dos locais de uso, considerando a tendência de escassez de recursos energéticos não renováveis.

Nesse sentido, Verbeeck e Hens (2010) em pesquisas na Bélgica, realizaram contribuição para o inventário de dados de materiais para avaliação de ciclo de vida de habitações, explorando o quanto a EI dos materiais de construção representava no total de energia do ciclo de vida da habitação. Concluíram que deve haver um esforço para diminuição do consumo de energia durante a fase de utilização de uma habitação, já que a fase de uso e manutenção seria aquela que representaria o maior impacto no consumo, considerando todo o ciclo de vida.

Em continuidade, considera-se que o estudo da avaliação do ciclo de vida das habitações, em especial do consumo energético consolidou-se como ponto importante nas pesquisas sobre o tema. O impacto do consumo energético intrínseco aos materiais de construção, assim como as consequências nas fases de extração, manufatura, construção, uso e manutenção e desconstrução, foi sendo compreendido como uma referência importante para avaliar o grau de sustentabilidade das habitações.

Segundo afirmam Dixit *et al.* (2010) em pesquisa desenvolvida nos EUA, diante de um consumo de 40% da energia consumida no mundo, a indústria da construção civil é fortemente responsável pelo consumo de recursos naturais na fase de pré-uso e de energia na fase de uso e manutenção (operacional). Comentam sobre a variabilidade dos bancos de dados de Energia Incorporada, assim como de metodologias de cálculo desta.

Nesta pesquisa, Dixit *et al.* (2010) apontaram um conjunto de dez parâmetros que poderiam influenciar a qualidade dos resultados de mensuração da Energia Incorporada: Limites ou fronteiras do sistema; Métodos de análise da Energia Incorporada; Localização geográfica; Consideração do tipo de energia (de uso final ou primária); Idade dos dados coletados; Fonte dos dados; Fidelidade dos dados (primários ou secundários); Diferenciação das tecnologias de fabricação dos materiais de um país para outro; Energia para fabricar as máquinas para manufaturar os materiais e finalmente; a representatividade temporal da pesquisa de dados.

Ramesh, Prakash e Shukla (2010) na Índia adotaram ACV para avaliar 73 casos em 13 países, focando o uso de ACVE para investigar o consumo de energia nas fases de pré-uso, uso e desconstrução.

Logo em seguida, Sharma *et al.* (2011) na Índia utilizaram a ACV para produzir um estudo que pudesse mostrar em vários locais do mundo, no contexto do consumo de

energia nas várias fases do edifício, em qual das fases o mesmo seria mais relevante, mostrando que o consumo de energia na fase operacional, para edifícios convencionais, tem sido maior que 50% do consumo no ciclo total de vida útil dos mesmos.

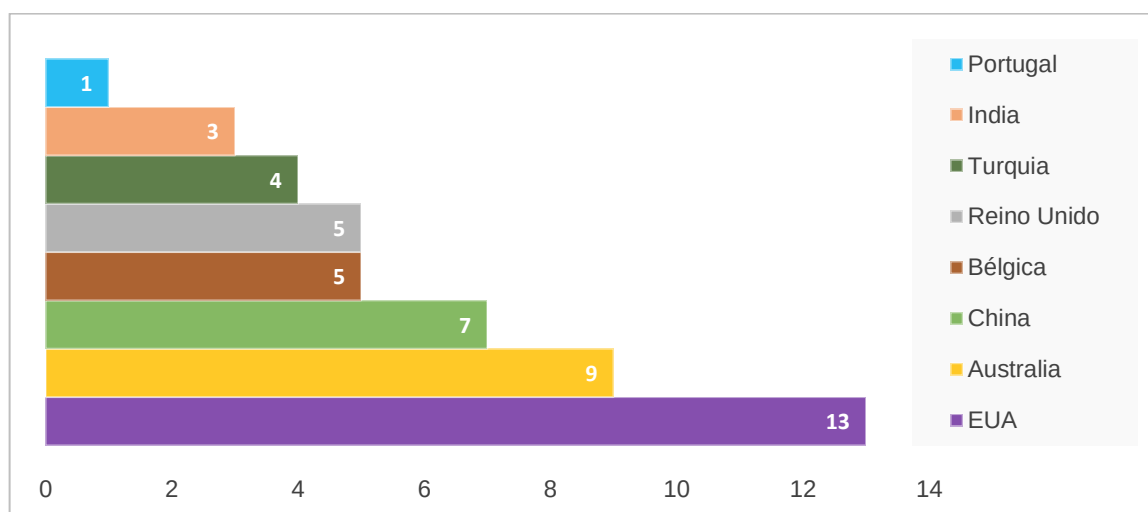
Ao mesmo tempo, Bribián *et al.* (2011) na Espanha realizaram estudo de ACVE, comparando o consumo energético de materiais de construção convencionais com materiais mais sustentáveis ou eco-eficientes. Observaram a importância de substituir materiais finitos por outros sustentáveis, próximos aos locais de uso, conforme possível.

Ardente *et al.* (2011) apresenta os resultados de uma avaliação energética e ambiental de conjunto de ações de *retrofit* implementadas no âmbito do Projeto da UE , BRITA in PuBs (Trazendo a Melhoria de Inovação para Aplicação em Edifícios Públicos), em 6 edificações na Europa, uma igreja, um colégio, duas universidades, um centro cultural, um lar para idosos, todas no Reino Unido. Os resultados trazem uma abordagem do ciclo de vida focada nos materiais de construção e componentes utilizados durante o *retrofit*; principais componentes dos sistemas de energia convencional e renovável; impactos relacionados à construção civil, para os diferentes elementos e todo o edifício. Concluíram que os principais benefícios relacionados à economia de energia nas edificações foram devidas as melhorias do isolamento térmico e das esquadrias utilizadas na envoltória destas edificações.

Torgal e Jalali (2011) em Portugal, descreveram os resultados de um estudo de caso sobre os consumos energéticos de um edifício com 97 apartamentos, comparando-os com a EI nos materiais adotados na sua construção. Atestaram a alarmante realidade daquele momento em Portugal, da dependência de geração de energia por usinas termelétricas e da ainda volumosa proporção de importação de energia.

Considerando o estudo bibliométrico realizado, que engloba 47 artigos, compreendidos entre os anos de 2013 e 2017, dentre os países que mais se destacam em publicações de ACVE (Figura 9) estão os EUA com cerca de 27,5% das publicações, seguido da Austrália (19%) e China (15%). O Brasil não aparece no ranking de publicações sobre o tema, porém na pesquisa foi encontrado um artigo brasileiro (PAULSEN; SPOSTO, 2013).

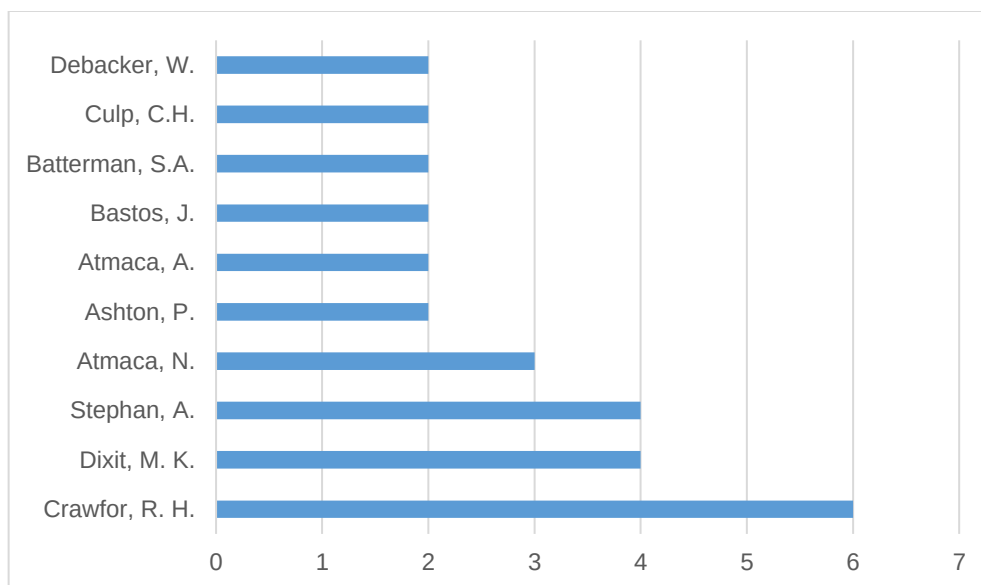
Figura 9 – Número de publicações por País



Fonte: Elaborado pela autora

Dentre os principais autores na área (Figura10) estão: os australianos Robert H. Crawford e André Stephan, o americano Manish Kumar Dixit e o turco Nihat Atmaca. Na interpretação da figura, é importante destacar que o Crawford, o mais citado, aparece em seis artigos, mas seus coautores não apresentam a mesma frequência de publicação.

Figura 10 – Número de publicações por autor



Fonte: Elaborado pela autora

Destas pesquisas, cerca de 80% são estudos de caso, sendo identificados 8 *reviews* (DIXIT, 2017a; DIXIT, 2017b; HU, 2017; CHAU, LEUNG e NG, 2015; RASHID e YUSOFF, 2014; CABEZA *et al.*,2014; BERGGREN, HALL e WALL, 2013;

BOURRELLE, ANDRESEN e GUSTAVSEN, 2013; DIXIT, FERNANDEZ-SOLIS e CULP, 2012).

Os estudos de Ramesh, Prakash e Shukla (2012), analisam o ciclo de vida energético (LCE) de prédio residencial localizado na Índia, avaliando diferentes envoltórias (materiais convencionais e alternativos), englobando espessuras diferentes de paredes e isolamento tanto nas paredes, quanto cobertura. A edificação foi modelada para cinco zonas climáticas diferentes na Índia. Chegaram às conclusões de que a economia de LCE é significativa quando o isolamento é adicionado à parede externa e ao telhado, variando de 10% a 30% dependendo das condições climáticas e que as economias de LCE são maiores com isolamento do telhado do que com o isolamento de parede, porém este é considerado preferível a uma parede mais espessa.

Stephan, Crawford e Myttenaere (2012), apresentam estrutura para avaliar de forma abrangente os requisitos energéticos do ciclo de vida dos edifícios residenciais e seus usuários, aplicados a dois estudos de caso, ambos de edificações residenciais na Bélgica. Os resultados mostraram que se concentrar apenas na energia operacional e em aspectos térmicos em particular, negligencia-se mais de 50% da demanda de energia em 50 anos, independentemente de incertezas e a variabilidade nos dados.

Paulsen e Sposto (2013), merecem destaque, principalmente para a realidade brasileira. Avaliaram o consumo de energia ao longo de todo o ciclo de vida de uma edificação habitacional de baixo padrão, localizada na cidade de Brasília. Concluíram que o sistema de vedações verticais foi o que apresentou a maior participação da massa total construída e do consumo de energia da edificação, em torno de 57%. As etapas operacional, manutenção, fabricação e processamento dos materiais foram as mais impactantes em termos quantitativos. Um resultado interessante foi a participação do consumo de energia das tintas, principalmente na manutenção da habitação.

Himpe *et al.* (2013), examinam por meio de avaliação energética enfocando a etapa operacional uma casa belga que utiliza conceito de energia zero. Os resultados mostram que do ponto de vista da energia do ciclo de vida, os requisitos passivos da casa não são critérios essenciais, para casas com energia zero. Por outro lado, grande economias de energia no ciclo de vida foram obtidas através de um seleção proficiente dos materiais e serviços na construção de edifícios.

Stephan e Crawford (2013), constatarem que a energia incorporada dos edifícios e o consumo de energia do transporte de seus ocupantes são comumente negligenciados e apresentam estudo de um modelo holístico e ferramenta de *software* que leva em consideração os requisitos de energia na escala de construção, ou seja, a energia incorporada e operacional do edifício e sua remodelação, e na escala urbana, ou seja, a energia incorporada das infraestruturas próximas (estradas, linhas de energia, etc.) e a energia de transporte (direta e indireta) de seus ocupantes. Um estudo de caso, na Austrália, confirma que cada um dos requisitos incorporados, operacionais e de transporte é quase igualmente significativo. Os consumos de energia de transporte representam, em média, 63% da energia do ciclo de vida e 60% das emissões de gases de efeito estufa.

Bojic, Johannes e Kuznik (2013), realizam estudo de caso em edificação residencial na França, assim como Crawford, (2013) na Austrália e após Stephan, Crawford e Myttenaere (2013), fazem uma análise de ciclo de vida total em uma residência típica na Bélgica.

Bastos, Batterman e Freire (2014), fazem análise do ciclo de vida de energia e emissões de gases de efeito estufa (GEE) em 3 residências em Portugal, considerando a fase de construção, operação e *retrofit*. Resultados mostraram que durante a vida útil dos edifícios de 75 anos, a fase de uso representou a maioria (69-83%) dos requisitos de energia primária e as emissões de GEE e considerando a fase de construção, as paredes representam o maior requisito de energia incorporada e emissões de GEE.

Cabeza *et al.* (2014) realizaram um amplo e detalhado estado da arte sobre a ACV aplicada ao setor da construção civil. Foram pesquisadas 187 referências internacionais de diversos países, dos últimos 20 anos. Os autores dividiram a pesquisa em ACV, ACVE e Avaliação do custo do ciclo de vida (ACCV), tratando sobre materiais de construção, sistemas da edificação e a edificação como um todo. A principal contribuição destes autores foi a apresentação de uma tabela resumo contendo os trabalhos pesquisados divididos conforme o escopo do trabalho, vida útil utilizada, fronteiras do sistema, localização e tipologia das edificações que pode ser facilmente consultada, auxiliando os estudos desta temática.

Devi L. e Palaniappan (2014) realizaram uma ACVE em edificações típicas do sudeste indiano, considerando as etapas de pré-uso, uso e pós-uso. Foram

considerados cenários de máxima à mínima eficiência energética nas edificações. Os materiais que mais contribuíram foram o cimento e os vergalhões de aço, ambos utilizados na estrutura, enquanto o de menor participação foram às instalações hidrossanitárias.

Mais uma vez a etapa de energia operacional foi a que apresentou o maior consumo energético do ciclo de vida da edificação.

Antipova *et al.* (2014), apresentam uma ferramenta sistemática para o melhoramento de *retrofit* de edifícios que considera vários critérios econômicos e ambientais simultaneamente na fase de design.

Identificam de forma sistemática as melhores alternativas para reduzir o impacto ambiental dos edifícios. Através do uso de diferentes materiais de isolamento e janelas, bem como a instalação de painéis solares. Utilizando a Avaliação do Ciclo de Vida (LCA), que analisou o impacto de cada alternativa sendo considerando todas as etapas em seu ciclo de vida.

Em 2015, concentram-se o maior número de estudos, sendo novamente vários deles realizados em edificações residenciais: na Finlândia (Takano *et al.*, 2015); em Portugal um segundo estudo (Bastos, Batterman e Freire, 2015); na Bélgica (Buyle *et al.*, 2015); nos EUA, (Du *et al.* 2015); na Indonésia (Surahman, Kubota e Higashi, 2015); na Holanda (Mandley, Harmsen e Worrell, 2015), em Hong Kong (Yan *et al.*, 2015) e em vários cenários como Barcelona, Madrid, Dublin e Paris (Lamnatoua *et al.*, 2015).

Na Holanda (Loussos *et al.*, 2015), desenvolvem uma metodologia projetual para edifícios residenciais existentes que visa diminuir o uso de energia no ciclo de vida. A abordagem foi aplicada em um estudo de caso de um prédio residencial existente no pós-guerra, tendo como foco principal encontrar uma solução de projeto para *retrofit* de fachadas considerando a energia incorporada e operacional. Como resultado, foram realizadas diversas simulações com materiais na envoltória, mas destaca-se que o resultado da aplicação de células fotovoltaicas no telhado, provocou aumento da energia incorporada, no entanto decresceu a energia operacional, reduzindo o consumo de energia em 90% se comparado a situação antes do *retrofit*.

Atmaca, A. e Atmaca, N. (2015) avaliaram o consumo de energia e emissões de CO₂ para duas edificações habitacionais multifamiliares, uma localizada em um centro urbano e a outra na zona rural, construídas na cidade de Gaziantep, Turquia. O

estudo foi realizado com base no escopo do berço ao túmulo e concluíram que a energia operacional foi a que apresentou a maior participação, sendo que a edificação localizada na região urbana apresentou consumo de energia e emissões de CO₂ da etapa operacional em torno de 18% superior à edificação localizada na zona rural, por causa do tipo de combustível utilizado.

Praseeda, Venkatarama e Mani (2015) em estudo na Índia, abordando estudo de EI, compararam métodos de ACVE: O método análise de processo, método de avaliação de EI por entradas e saídas (*input-output analysis*) e o método de análise híbrida (*hybrid analysis*). Concluíram que o método de entradas e saídas não seria o mais adequado para a realidade Indiana, pela alta variabilidade dos dados existentes naquele país. Constatam a necessidade de mais trabalhos e pesquisas sobre o tema naquele país, indicando que, dado a época da pesquisa, o método mais indicado seria o de análise de processo.

Outros dois estudos realizados neste mesmo ano, consideraram a ACVE de outras tipologias arquitetônicas:

Pomponi *et al.* (2015) evidencia que embora existam muitas pesquisas para maximizar a economia de energia operacional dos sistemas de fachadas duplas (DSF), pouco é conhecido sobre o desempenho no ciclo de vida. Então o estudo promove uma avaliação comparativa utilizando 128 configurações de DSF em reforma de fachadas de um edifício comercial em Londres, para redução de energia e carbono. Concluem que fachadas de pele dupla são mais eficientes em 98% dos casos e para emissões de carbono em 85% dos casos.

O outro estudo, investiga e analisa o consumo de energia em dois Museus na China (Ge *et al.*, 2015), através do LCA, além das emissões de gases de efeito estufa determinando tanto o potencial quanto a viabilidade de economia de energia. Algumas estratégias são apontadas como uso de paredes sólidas, sombreamento e controle de temperatura do ar condicionado, sendo demonstrado de acordo com as simulações a redução de emissões de CO₂ no ciclo de vida para 30,58%, 4,81% e 4,22%, respectivamente.

No ano seguinte, Fregonara *et al.* (2016), aborda metodologias para descobrir soluções de *retrofit* mais favoráveis para edifícios em termos de eficiência energética, sob o ponto de vista ambiental e econômico. Propõe uma metodologia baseada na integração de duas abordagens existentes (LCA e LCC) para apoiar a tomada de decisões do processo por designers, construtores, desenvolvedores e

autoridades públicas. É realizado um estudo de caso de três prédios residenciais típicos de Turin.

Sweeney, Pate e Choi (2016), avaliam e analisam a energia do ciclo de vida e os custos de um sistema de energia solar fotovoltaica e de água quente de edificação residencial no Texas.

Goggins *et al.* (2016), salienta que para avaliar se uma estratégia de projeto é de fato sustentável, está se tornando essencial o uso do LCA. Sendo assim, seu artigo apresenta os resultados de uma série de estudos em edifícios na Irlanda, se concentrando na avaliação ambiental e econômica e avaliando o impacto das mudanças nas regulamentações de construção, aos padrões NZEB (energia zero de edifícios) em contribuição do ciclo de vida.

Macias *et al.* (2017), fornecem uma avaliação da energia incorporada e operacional durante as fases de construção e ocupação de três principais métodos de construção utilizados em habitações sociais no Equador e também duas alternativas de telhado (laje concreto e telhado de liga metálica). Concluíram que as unidades de residência que usam telhados de liga de zinco mostram os menores resultados de energia incorporados (2.0 GJ/ m²), enquanto as que utilizam laje de concreto têm o maior (3.2 GJ/ m²). Também foi constatado que a maior parte da energia consumida durante o ciclo de vida corresponde à energia operacional, entre 81,1% e 97,0%.

Mastrucci e Rao (2017), apresenta uma metodologia genérica para a estimativa dos requisitos de ciclo de vida energético (LCE) para proporcionar conforto básico aos usuários de edificações residenciais na Índia, com base em padrões de segurança, durabilidade e limites internos de temperatura e umidade.

Resultados mostraram que o LCE de uma habitação com estes padrões, pode variar significativamente dependendo das condições climáticas, tipologia construtiva, materiais e técnicas empregados, equipamentos para refrigeração e comportamento do usuário. A energia incorporada representa 27-53% da LCE, dependendo do tipo de construção e do clima. As economias de LCE de até 44% podem ser alcançadas com materiais de baixa energia incorporados, isolamento de invólucros de construção, ventiladores de teto e sistemas de ar condicionado mais eficientes.

Dentre os periódicos, identificados na pesquisa na base de dados Scopus, onde estavam aportadas a grande maioria dos artigos, destacam-se as revistas Energy and Buildings, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Applied Energy e Building Research and information (PLATAFORMA SUCUPIRA CAPES, 2017).

Para a realização de qualquer ACV, faz-se necessário estabelecer uma série de itens fundamentais, destacando-se: fronteira, vida útil considerada, unidade funcional, assim como base de dados (inventário) e *software* utilizado.

Percebeu-se que todos os estudos abordam a fronteira da ACVE realizada, mas nem sempre abordam a unidade funcional e *software* para as simulações realizadas. Apesar da grande maioria realizar estudos em tipologias residenciais, a unidade funcional, não segue um padrão, denotando divergências, ora dificultando ou impossibilitando possíveis comparações. Apenas 9% dos casos abordaram outras tipologias arquitetônicas, como edificação histórica (HU, 2017), edifício comercial (POMPONI *et. al.*, 2015 e museu (GE *et al.* 2015). Não houve no período estudo voltado especificamente para edificações públicas escolares.

A vida útil considerada na maioria dos estudos, foi de 50 anos, havendo alguma variação para 75 anos em quatro casos. (RAMESH, PRAKASH e SHUKLA, 2010; RAMESH, PRAKASH e SHUKLA, 2012; BASTOS, BATTERMAN e FREIRE, 2014; HU, 2017).

Quando mencionado, o *software* mais utilizado, foi o *Energy Plus*, de natureza gratuita, sendo observado sua utilização em cinco dos estudos de caso elencados (RAMESH, PRAKASH e SHUKLA, 2010; RAMESH, PRAKASH e SHUKLA, 2012; BOJIC, JOHANNES, ZUZNIK, 2013; MACIAS *et. al.*, 2017; MASTRUCCI e RAO, 2017).

A grande maioria dos estudos aborda a energia incorporada e operacional, nas fases de uso e operação da edificação. A fase de *retrofit*, foi abordada apenas por cinco dos estudos (FREGONARA *et al.*, 2016; LOUSSOS *et al.*, 2015; Antipova *et al.* 2014; BASTOS, BATTERMAN e FREIRE (2014); STEPHAN e CRAWFORD (2013), constituindo uma lacuna para pesquisas futuras.

Este foi um dos fatores que motivou o estudo de caso dessa pesquisa, sendo também determinante a escassez de trabalhos voltados para a tipologia não residencial, o que resultou na proposta de trabalhar com uma edificação escolar.

Por fim, pode-se constatar um avanço bem maior da ACVE no contexto internacional se comparado ao contexto brasileiro.

2.6.2 ACVE NO CONTEXTO BRASILEIRO

Na bibliografia nacional, no âmbito da pesquisa acadêmica, constata-se poucos pesquisadores sobre ACVE em específico, se comparado ao contexto internacional.

Por isso, a pesquisa englobou ACV de maneira geral, porém dando ênfase para trabalhos que apresentavam leituras energéticas. A pesquisa abordou artigos publicados em congressos, em anais de eventos e google acadêmico, além de teses e dissertações disponíveis em sites de universidades, não sendo possível uma bibliometria pela falta de um repositório único nacional.

Nos últimos anos, cresceu o número de trabalhos sobre ACV relacionados ao setor da construção civil, no Brasil e em diversos países. Um dos trabalhos pioneiros no país foi Guimarães (1985), que levantou o consumo energético de duas edificações habitacionais, uma unifamiliar e outra multifamiliar.

Depois, os estudos começaram a focar apenas a questão de consumo energético nas edificações, e o trabalho de Tavares (2006) merece destaque, por ser um dos primeiros estudos brasileiros que realizou o levantamento, a partir da ACVE, de cinco habitações típicas, considerando o berço ao túmulo do ciclo de vida. O autor calculou o consumo energético de diversos materiais e componentes utilizados no setor da construção civil e os resultados apresentados constituem até hoje uma importante base de dados.

Bessa (2010) aplicou a ACVCO₂ para a quantificação de emissões de CO₂ de diferentes tipos de fachadas de edificações de escritório para realidade de São Paulo. Esta pesquisa foi interessante por abordar a realidade de edificações não residenciais e apresentar fatores de emissões de carbono para alguns materiais e componentes da construção civil.

Lobo (2010) demonstrou um método de cálculo da energia incorporada e as emissões de CO₂ a partir da planilha de serviços de uma obra. Ao final da pesquisa foi desenvolvida uma ferramenta na qual foram simulados os valores de energia incorporada e emissões de CO₂ de uma edificação até a conclusão da obra. Este trabalho foi interessante por desenvolver um estudo em obras públicas.

Carminatti Júnior (2012) aplicou a ACVE para a mensuração da energia incorporada inicial de uma edificação habitacional de interesse social (HIS), comparando três sistemas construtivos: LSF, blocos cerâmicos estruturais e blocos de concreto estruturais. O autor concluiu que o sistema em blocos cerâmicos apresentou o menor valor de energia incorporada, seguidos pelo LSF e blocos de concreto.

Maciel (2013) utilizou a ACVE para estudo de Fachadas Ventiladas para uma edificação habitacional típica do Plano Piloto de Brasília-DF, levantando, quantificando e analisando a Energia Incorporada inicial, operacional e recorrente de

três tipologias de Fachadas Ventiladas (Fachada Ventilada de Placas Pétreas, Fachada Ventilada de Porcelanato e Fachada Ventilada de Alumínio Composto. A energia operacional foi a mais significativa em todas as tipologias e a fachada de ACM obteve a melhor eficiência (menor energia total) e a fachada de placas pétreas teve a menor eficiência.

Silva (2013), em seu estudo, apresentou a construção de uma ferramenta para ACV das edificações para a fase de pré-uso (extração, fabricação materiais, transporte até a obra e execução da edificação). Este estudo foi importante por trazer um estado da arte detalhado sobre trabalhos nacionais e internacionais que estudaram ACV aplicada a edificações e materiais de construção, além de mensurar o consumo de energia e emissões de CO₂, da fase de construção, relacionada aos equipamentos e maquinários utilizados, sendo que muitos trabalhos desconsideram essa fase.

Spoto e Paulsen (2014) em estudo no DF, analisaram uma habitação construída com sistema convencional, onde foi calculada a ACVE na fase de pré-uso em estudo de caso que mostrou que a Energia Incorporada foi de 3,2 GJ/m². Também evidenciaram que cerca de 60% da Energia Incorporada (EI) na fase de pré-uso foi aquela relacionada às vedações verticais, indicando que este é o elemento com maior potencial de melhorias para a redução da EI.

O trabalho de Munarim (2014) também merece destaque por ser um dos primeiros a aplicar *retrofit* e ACV de edificações, propondo um método de avaliação ambiental para a comparação entre a edificação a ser reabilitada ou demolida para a construção de uma nova. Concluiu que a reabilitação de uma edificação antiga é mais favorável do ponto de vista ambiental.

Pereira (2014) aplicou a ACVE e a ACVCO₂, quantificando o consumo de energia e as emissões de CO₂ na etapa de pré-uso, para a comparação de três tipos de coberturas, entre elas a vegetal, a de fibrocimento e a de telhas cerâmicas. Concluiu que a cobertura vegetal apresentou os melhores resultados, principalmente relacionado às emissões de CO₂.

Oliveira (2015) aplicou a ACVE na mensuração da energia consumida em uma edificação habitacional com fachadas vivas (vegetais). A autora concluiu que o sistema não foi sustentável do ponto de vista energético, pois a redução obtida na energia operacional não compensou o investimento energético com a instalação e a manutenção das fachadas vivas.

Sombrio (2015) aplicou a ACV de acordo com a metodologia do *Life Cycle Data System* (ILCD) em uma edificação habitacional, constituída de painel pré-moldado de blocos cerâmicos e de concreto armado. Os resultados demonstram uma maior participação do concreto nos impactos produzidos na fabricação dos componentes da edificação, e, portanto, demonstrando uma necessidade de se buscar sistemas alternativos como uma possível solução para minimizar os impactos ambientais.

Bandeira (2015) analisou a influência dos sistemas de fachadas vivas em manta no ciclo de vida energético de uma edificação residencial unifamiliar de 46,35m², na cidade de Vitória, Espírito Santo. Esse estudo demonstrou que a cobertura com fachada viva em todas as paredes externas resultou em maior economia de energia com climatização, mas gerou um gasto energético inicial e com manutenção muito grande, sendo mais viável avaliar as condições de orientação do edifício e escolher uma fachada. A autora conclui ainda que no caso de outras edificações, tais como prédios, por exemplo, as paredes externas recebem maior influência do ambiente externo, e o uso de fachadas vivas torna-se mais viável.

Garcia (2015), apresenta uma reflexão crítica da aplicação da metodologia de ACV em soluções de reabilitação energética de coberturas, focando na diferenciação entre soluções construtivas e materiais de isolamento térmico, numa perspectiva de impacto ambiental.

Caldas, Sposto e Santos Filho (2015), avaliam a utilização de ACVE aplicada ao *retrofit* de fachadas de edificações comerciais, e propõem equações para mensurar o consumo energético, afim de viabilizá-las para emprego em edificações reais.

No âmbito das pesquisas do programa de pós-graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), evidencia-se os trabalhos recentes de Sartori (2018), que analisou o desempenho energético através da ACVE de 5 tipologias residenciais de um bairro, utilizando medidas de *retrofit*. A autora abordou a energia incorporada e operacional e seus impactos no ciclo de vida, assim como apontou o consumo de CO₂ encontrando valores de energia incorporada, na ordem de 7,8GJ/m². Para a energia operacional a média entre as tipologias foi de 14,1 GJ/m², e para a energia no ciclo de vida essa média foi de 22 GJ/m² e consumo de CO₂ de 961,3 KgCO₂/m².

Pretti (2018), por sua vez, analisou a interoperabilidade entre os *softwares* utilizados no desempenho e avaliação do ciclo de vida energético de prédios comerciais, encontrando aproximadamente um consumo energético total de 130,40 KWh/m².

Em relação ao meio técnico, algumas iniciativas isoladas estão surgindo no setor de construção civil brasileira com o interesse em aplicar a ACV, ACVE e ACVCO₂. Entre elas merecem destaque, iniciativas do Programa Brasileiro de Avaliação do ciclo de vida (PBACV), em desenvolver o entendimento sobre ACV no país, inclusive no setor da construção civil (CBCS, 2017).

O estudo do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), que criou a chamada ACV modular (ACV-m), cujo intuito é a criação de uma plataforma de informações com indicadores de sustentabilidade de materiais, produtos e componentes para auxiliar profissionais e consumidores na tomada de decisão. O projeto propõe o levantamento de cinco aspectos ambientais, entre eles o consumo de energia, de água, de matérias primas, geração de resíduos e emissões de CO₂ (CBCS, 2017).

Silva, M. e Silva, V. (2015) e Saade *et al.* (2014) iniciaram a construção de inventários de ciclo de vida para materiais de construção nacionais e a validação de inventários internacionais, por meio da análise dos seus processos produtivos; utilizaram para tal dados para modelagem dos ciclos de produção de materiais e componentes de construção coletados da literatura e adaptados da base de dados do *Ecoinvent*, considerando a análise do berço ao portão. Na pesquisa de Silva, M. e Silva, V. (2015) são apresentados estes materiais e componentes com dados de energia e emissões de CO₂ para o contexto brasileiro.

Apesar dos trabalhos citados e desenvolvidos no Brasil, existem poucas publicações sobre ACVE, mas os trabalhos citados não esgotam a lista de pesquisas realizadas e visam demonstrar a diversidade de temas abordados.

Desta forma salienta-se que a revisão bibliográfica verificou que a produção científica no Brasil ainda ocorre de forma incipiente, talvez pautada na tese que o consumo de energia per capita em países em desenvolvimento é 12 vezes menor que em países desenvolvidos (GEAS, 2012) ou que o país utilize mais fontes renováveis de energia, porém essas fontes, em 1970 representavam 80% da matriz energética, e hoje representam menos de 42% dessa matriz (BRASIL, 2017a).

Embora a revisão bibliográfica sugira que a ACVE é mais utilizada nas edificações residenciais, pela maior demanda energética, cerca de 9,7%, o setor de serviço, que engloba também as edificações públicas e comerciais, representa no Brasil consumo energético de 4,9% (BRASIL, 2017b). Dentro desse percentual as edificações

públicas, representam 2,7% desse consumo (MAGALHÃES, 2011), portanto, mais da metade, configurando um setor relevante no cenário brasileiro.

Ainda, apesar da existência de alguns estudos sobre ACVE, iniciados em 2004, por Tavares no Brasil, ainda são muitos os entraves a serem vencidos.

2.6.3 PRINCIPAIS DESAFIOS E DIFICULDADES

Quando se discute ACVE, também se está discutindo eficiência energética. Avaliando o mercado no Brasil, vê-se que as medidas de eficiência energética ainda são selecionadas tendo em vista especialmente, a economia prevista e a garantia de retorno financeiro.

Da mesma forma, o reconhecimento dos esquemas de etiquetagem ainda não são percebidos como essenciais para redução do consumo de energia e custos associados, sendo mais focados em aspectos de projeto, não alcançando a efetiva operação da edificação.

Mesmo na área projetual, a tomada de decisões deveriam estar pautadas sob o ponto de vista ambiental e econômico para a especificação de melhores materiais e sistemas, o que não acontece de maneira efetiva. Outros estudos, assim como, o de Triana, Lamberts e Sassi (2017) evidenciam a importância da seleção inicial de materiais nos projetos, considerando seus impactos e o desempenho termo energético ocasionado na edificação ao longo da sua vida.

Mas o principal aspecto a ser considerado refere-se à inclusão da eficiência energética em políticas de governo, mediante atos legais. Enquanto no Brasil as ações no setor público encontram grandes restrições por conta das legislações de contratações públicas e gestão orçamentária, nos países de referência (União Européia e Estados Unidos) o setor público é utilizado exatamente para desenvolver o mercado de eficiência energética.

Sendo assim, no âmbito da construção civil no Brasil, pesquisas sobre ACVE são desafiadoras pela falta de banco de dados reais e efetivos por parte da cadeia produtiva da indústria da construção a respeito de consumo de energia nas várias fases envolvidas no ciclo de vida do processo de produção das edificações.

No entendimento das atividades envolvidas na cadeia desta indústria, torna-se de fácil compreensão que as atividades de transformação, manuseio e deslocamento das matérias primas de seus locais de origem até os postos de manufatura, despendem algum tipo de energia.

Ainda considerando que a importância de uma ACV inclui, segundo Silva, M. e Silva, V. (2015), a padronização de um protocolo para análise ambiental de produtos, assim como a existência de métricas que apontem o resultado em relação a referências fixadas contextualmente, a subjetividade ainda é um impasse para pesquisadores de ACV, especialmente no Brasil, pela falta de padronização dos fluxos de produção.

Sendo assim, tanto a falta de banco de dados como a escassez de inventários nacionais de materiais de construção constituem os principais entraves, ocasionando uma falta de uniformidade na comparação de resultados ou restringindo a abrangência de pesquisas voltadas para a ACVE.

Como resultado, tem-se mais estudos concentrados em energia operacional, pautados no fato desta representar o maior impacto no ciclo de vida de uma edificação, sendo poucos os trabalhos voltados para a energia incorporada. Isto deve-se sobretudo a dificuldade de obtenção de dados consistentes, e pela variabilidade na metodologia de cálculo.

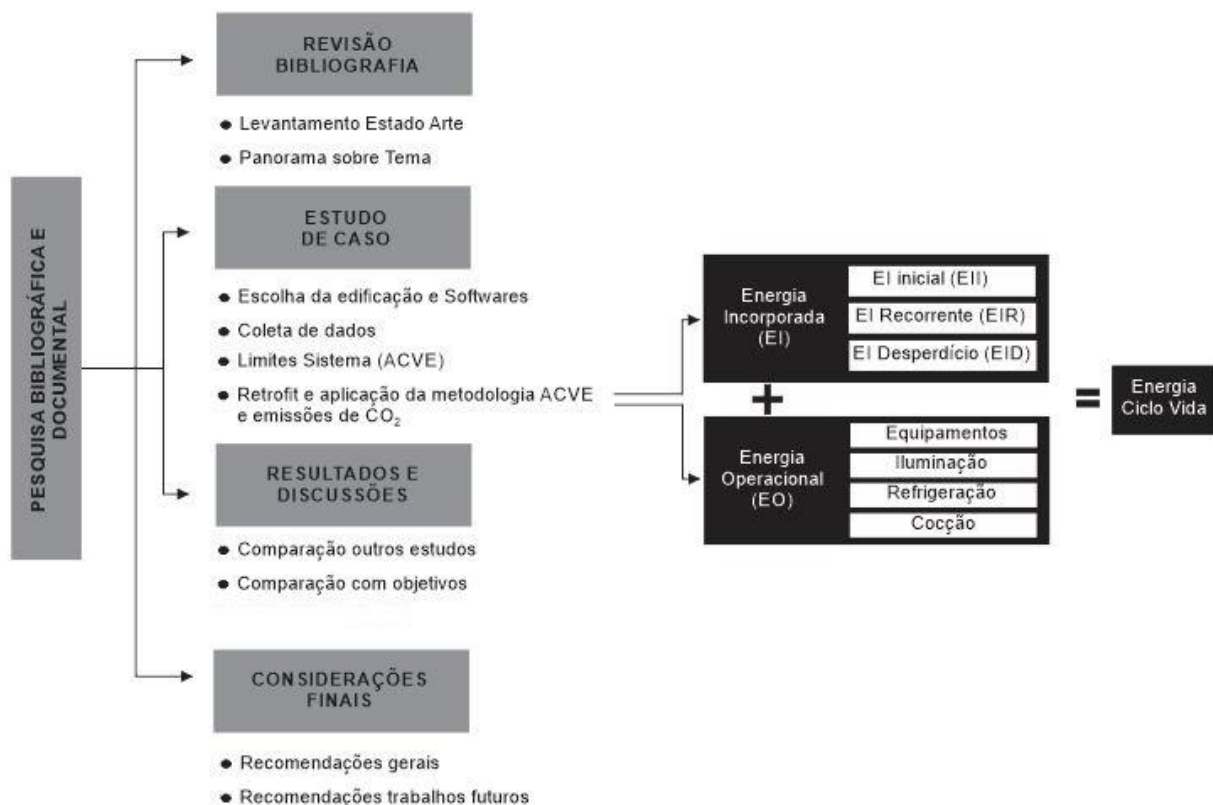
Para Evangelista, Torres e Gonçalves (2016) a escassez de especialistas, falta de incentivos fiscais e políticas públicas, além da baixa adesão de fornecedores de materiais e sistemas que têm restrições em divulgar informações de seus produtos, são outras dificuldades no processo de disseminação da ACV na construção civil.

Sendo assim, a superação das barreiras deve iniciar com a formação de competências, tanto de consumidores quanto dos prestadores de serviço, incluindo arquitetos, engenheiros, construtores, desenvolvedores e autoridades públicas, o que facilitará a expansão do mercado.

3. METODOLOGIA

Este trabalho propõe metodologia dividida em etapas e sub-etapas conforme resumo gráfico demonstrado na figura 11.

Figura 11 – Resumo gráfico da metodologia



Fonte: Elaborado pela autora

A pesquisa tem abordagem quantitativa, considerando que pretende analisar o desempenho da envoltória de uma edificação e demonstrar/quantificar através da ACVE, os impactos na energia incorporada, operacional e no ciclo de vida de uma edificação pública escolar mediante ações de *retrofit* adotadas. Tem também cunho qualitativo, pois utilizou-se de entrevistas informais com alguns funcionários da edificação estudada.

Como procedimentos, utilizou-se a pesquisa bibliográfica e documental, presentes em todas as etapas.

A etapa de revisão da bibliografia ou estado da arte englobou pesquisa com base em livros, artigos científicos, teses e dissertações, e permitiu caracterizar os consumos energéticos nas etapas pré-operacional e operacional do ciclo de vida e elencar estratégias de redução de energia nessas etapas. Ainda com base nessa

pesquisa foram revisados um conjunto de estudos internacionais e brasileiros em que são empregados a ACVE e assuntos afins.

A pesquisa documental, realizada através de consulta a documentos governamentais publicados nacionais e internacionais, permitiram coletar informações sobre o consumo energético nos diversos setores, caracterizar a matriz energética do país e levantar as principais iniciativas brasileiras no que diz respeito a eficiência energética e ACVE.

O conjunto dessas pesquisas permitiram, ainda, o levantamento de coeficientes de energia incorporada em materiais, fatores de perdas, dentre outros.

A etapa do estudo de caso foi realizada com vistas à testar medidas de *retrofit* numa edificação escolar na cidade de Vitória, Estado do Espírito Santo, avaliando-se o desempenho da envoltória, consumo energético e emissões de carbono (CO₂).

Dentre os requisitos para a escolha da edificação ressalta-se: ser uma edificação existente e em uso, além de apresentar características padrões com as outras unidades da rede escolar municipal de Vitória. Esta seleção também foi condicionada à disponibilidade de projetos da Secretaria Municipal de Obras e Habitação (SEMOHAB), documentos e outras informações necessárias à modelagem, como obtenção da planilha orçamentária da obra, composições unitárias de custo da obra, consumos de energia e outros.

Os *softwares* para a modelagem da edificação e simulações energéticas, respectivamente adotados, foram o *Sketchup* através do *plugin Euclid* e o *EnergyPlus*, pela gratuidade e facilidade de interoperabilidade entre ambos.

Além desses dados, foram obtidos através de entrevista informal com funcionários da unidades escolar, informações relativas ao funcionamento da unidade, como padrões de uso, ocupação, iluminação, condicionamento de ar, cocção e outros, que foram complementados através de informações de sites de fabricantes para o dimensionamento energético.

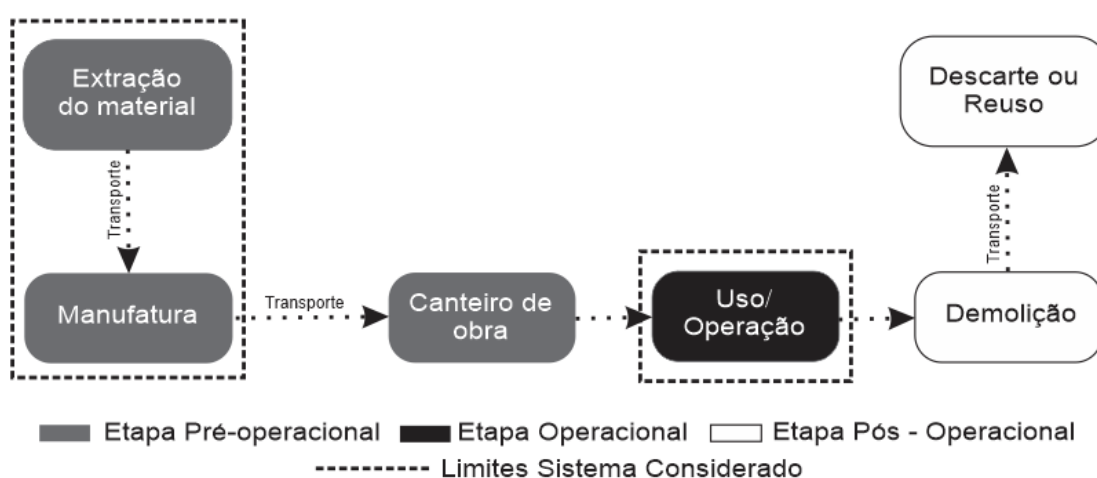
O método adotado no estudo de caso para a avaliação do desempenho da envoltória, considerou os requisitos técnicos do PBE edifica, descritos no item 3.2.

O método de cálculo utilizado para o consumo energético, descrito a partir do item 3.3, baseou-se na ACVE, sendo necessário para a coleta de dados, inicialmente a definição dos limites do sistema (figura 12). Para a etapa pré-operacional, considerou-se a energia necessária à extração da matéria prima, transporte da mesma à fábrica e energia relativa à manufatura do material. Para a etapa

operacional, além da energia necessária ao uso da edificação, como equipamentos, ar condicionado, iluminação e cocção considera-se também aquela necessária à manutenção e reposição dos materiais.

A energia necessária para construção no canteiro de obras não foi considerada por indisponibilidade de dados. As etapas de construção, demolição, descarte e reuso bem como o transporte entre as etapas não foram consideradas, devido à imprecisão dos dados necessários ao cálculo desse consumo energético.

Figura 12 - Limites do sistema considerado no estudo



Fonte: Elaborada pela autora.

Para melhor compreensão dos impactos causados pelas medidas de *retrofit*, a energia no ciclo de vida foi dividida em Energia Incorporada (EI) e Energia Operacional (EO). Isso porque, como verificado em estudos anteriores, à medida que a EI aumenta a partir do acréscimo de materiais pelo *retrofit*, ocorre a redução da EO. Quanto às emissões associadas ao consumo de energia, considerou-se apenas as emissões de carbono (CO₂).

Os resultados do estudo de caso foram discutidos tendo como base o estado da arte apresentado e foram comparados entre si e com os objetivos da pesquisa, resultando em análises de sensibilidade e por fim em recomendações gerais e para trabalhos futuros, baseadas nas lacunas encontradas por esta pesquisa.

3.1 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso refere-se a uma edificação escolar (creche) situada em Vitória, Estado do Espírito Santo, no bairro Jardim Camburi, inaugurada no ano de 2003. A

instituição atende a 565 crianças de 06 meses à 06 anos de idade, em dois turnos, matutino e vespertino (FANTIN, 2018).

A figura 13 é a imagem aérea do bairro Jardim Camburi, identificando a localização da edificação estudada. O terreno onde está inserido o Centro Municipal e Educação Infantil (CMEI) Ana Maria Chaves Colares (AMCC) possui aproximadamente 2.800,00m² de área e em um local predominantemente residencial com casas unifamiliares e condomínios residenciais de até quatro pavimentos, como observado durante visita realizada ao local.

Figura 13 - Localização do CMEI AMCC

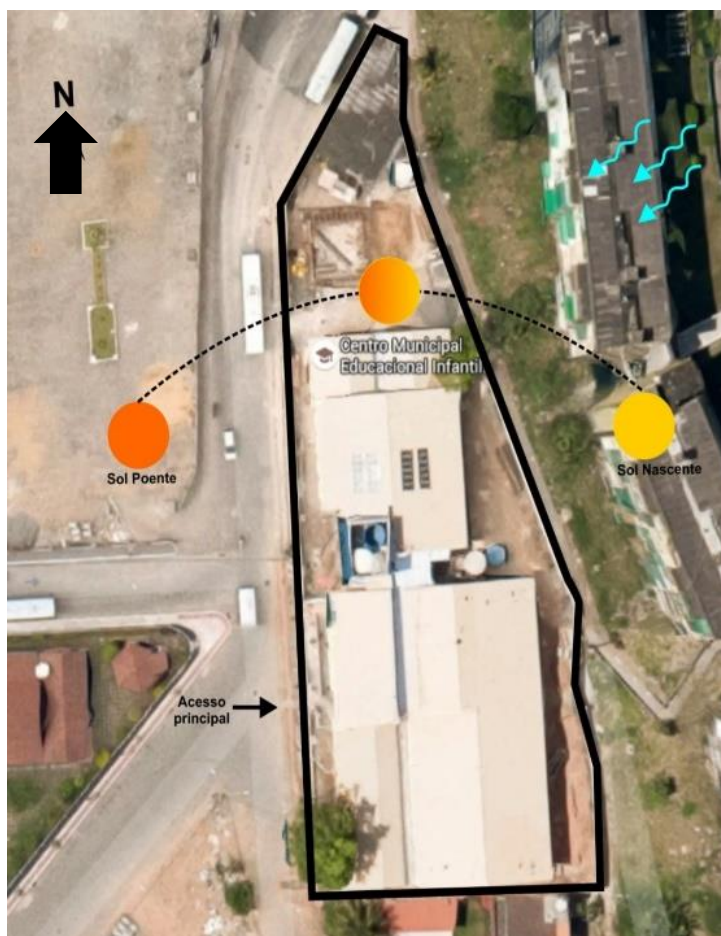


Fonte: Adaptado do Google Earth (2017, s.p.).

O CMEI AMCC localiza-se na Rua Oswaldo Bastos de Souza Freitas. Suas maiores fachadas estão voltadas para o leste e o oeste (figura 14), recebendo a luz solar direta durante a maior parte do ano.

Sendo assim, a implantação da edificação, já não garante uma incidência solar direta de qualidade, pois segundo *California Energy Commission* (2003) e Keeler e Burke (2010), a melhor forma de aproveitar a luz solar por um período maior de tempo, é orientando a edificação na direção Leste-Oeste, para que as aberturas estejam voltadas para Norte-Sul.

Figura 14 - Localização do terreno do CMEI AMCC



Fonte: Adaptado do Google Maps (2017, s.p.).

A figura 15 ilustra a fachada principal do CMEI, com destaque ao fundo (fachada leste) para o Condomínio Atlântica Ville, com 4 pavimentos.

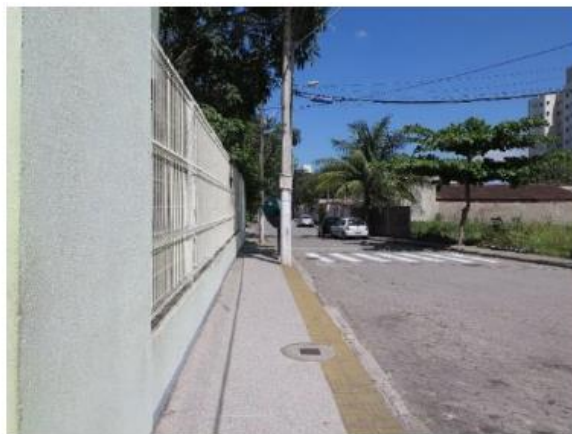
Figura 15 - Fachada principal do CMEI



Fonte: Acervo Pessoal (2017)

As demais edificações do entorno imediato ou são baixas, ou estão mais afastadas, conforme figuras 16 a 19, o que denota disponibilidade de ventilação natural. Observa-se que a presença de vegetação no entorno contribui para o microclima local, porém não oferece sombreamento às fachadas, principalmente a fachada oeste (principal) da edificação, que sofre com a ação solar durante todo o dia.

Figura 16 e 17 - Vistas entorno imediato



Fonte: Acervo Pessoal (2017)

Figura 18 e 19 – Outras vistas do entorno imediato



Fonte: Acervo Pessoal (2017)

O CMEI apresenta 2.323,90m² de área construída dividida em 2 pavimentos, sendo a área útil (Quadro 1), assim distribuída:

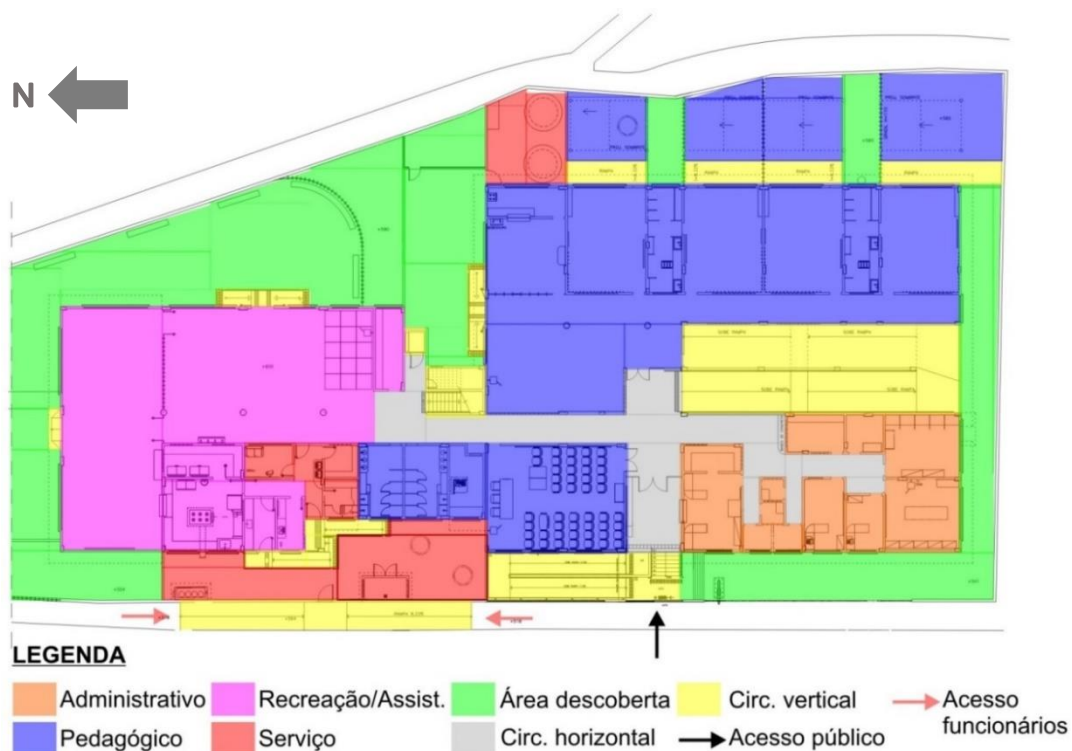
Quadro 1 - Relação ambientes e área útil

Pavimento Térreo	
Ambientes	Área Útil (m²)
Cozinha	27,22
Áreas de apoio cozinha	58,33
Refeitório	118,30
Pátio coberto + circulação	450,10
Banheiros	40,35
Secretaria + arquivo	28,60
Auditório	70,08
Direção	13,86
Sala Pedagogos	9,88
Sala Professores	25,74
Sala Planejamento	22,62
Banheiros Professores	11,36
Depósito Material Didático	10,40
Salas Grupo I (crianças de 6 meses a 1 ano)	160,60
Banheiros Berçário	35,04
Lactário	11,00
Depósito	57,60
Depósito fantasias	10,73
Cabeamento	6,76
Depósito	5,77
Subtotal	1.176,74
Pavimento Superior	
Ambientes	Área útil (m²)
Salas Grupo II (crianças de 1 a 2 anos)	80,30
Banheiros Grupo II	17,52
Salas Grupo III (crianças de 2 a 3 anos)	80,30
Salas Grupo IV (crianças de 3 a 4 anos)	46,48
Salas Grupo V (crianças de 4 a 5 anos)	80,30
Salas Grupo VI (crianças de 5 a 6 anos)	39,32
Sala Pedagogo	17,52
Salas Recursos	40,15
Área de Serviço	7,70
Sala Dança	40,15
Brinquedoteca	40,15
Depósito Brinquedos	15,60
Biblioteca	40,15
Sala Artes	40,15
Banheiros	37,06
Circulação	93,95
Pátio Interno	79,13
Subtotal	790,88
Rampa, escada, plataforma elevatória	140,48
Subtotal	931,36
Área Útil Total	2.108,10

Fonte: Adaptado de SEMOB (2013)

No pavimento térreo (figura 20), tem-se a concentração dos setores administrativos, serviço, recreativo e assistencial e por último o pedagógico. Além disso, há a área descoberta com os pátios e jardins ao redor da creche (SEMOB, 2013).

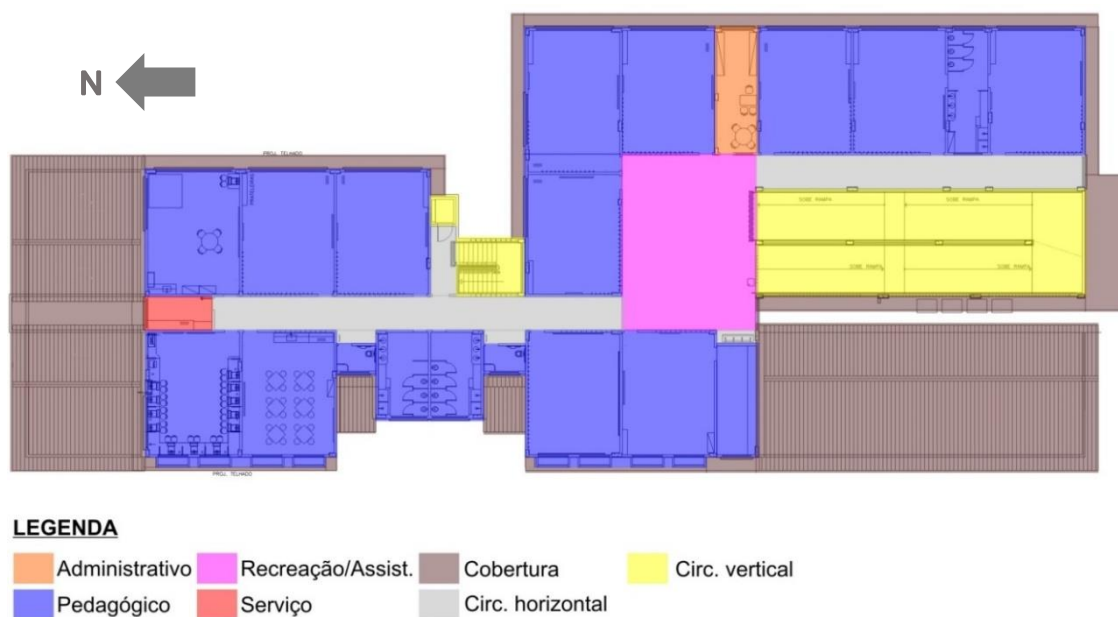
Figura 20 - Planta baixa pavimento térreo CMEI



Fonte: Adaptado de SEMOB (2013, s.p.)

Já no pavimento superior (Figura 21) predomina o setor pedagógico. Do setor administrativo tem-se apenas uma sala de pedagogos utilizada como apoio e do setor de serviço uma pequena área de serviço, de apoio aos funcionários que realizam a limpeza desse pavimento.

Figura 21 - Planta baixa pavimento superior CMEI



Fonte: Adaptado de SEMOB (2013, s.p.)

A grande maioria das salas de aula estão voltadas para a fachada leste, com exceção da sala de artes, biblioteca, dança e brinquedoteca, voltadas para a fachada oeste.

Nesta fachada, percebe-se a existência de brises contornando as janelas, na tentativa de reduzir a incidência solar. Porém o setor administrativo está todo voltado para esta fachada e não recebeu qualquer proteção solar.

Salienta-se ainda que a edificação segue o programa de necessidades (SEMOB, 2013), padrão elaborado pela Secretaria Municipal de Obras, atualmente denominada de Secretaria Municipal de Obras e Habitação (SEMOHAB) e pela Secretaria de Municipal de Educação SEME, constante no anexo B.

Para elaboração dos projetos dos CMEIs do município de Vitória, Muller (2017) destaca além do Programa de Necessidades, a necessidade de atendimento à documentos, como o Caderno de Diretrizes, Caderno de Especificação de Material e o Código de Obras de Vitória – ES, dentre outras.

Quanto a envoltória da edificação, todas as paredes são de blocos cerâmicos de 8 furos nas dimensões 10x20x20cm e a cobertura em telha cerâmica tipo duplan apresenta duas variações, conforme quadro 2.

Quadro 2 - Dados envoltória CMEI

Paredes Envoltória	Cobertura 1	Cobertura 2
		
Bloco cerâmico 9cm e argamassa	Laje maciça 10cm e telha cerâmica	Forro de gesso, Laje maciça 10cm e telha cerâmica (apenas banheiros)

Fonte: Elaborada pela autora

As paredes são pintadas em cores claras, tanto externamente quanto internamente e em sua maioria apresentam revestimento cerâmico à meia altura. Tanto o forro, quanto a laje receberam pintura na cor branca.

As janelas são em vidro e alumínio, sendo o sistema de abertura de correr com bandeira basculantes na parte superior e bandeiras fixas na parte inferior (figura 22).

Figura 22 - Detalhe das janelas



Fonte: Acervo pessoal (2018)

Na parede oposta (figura 23), nota-se a presença de *cobogós* que visam permitir a renovação do ar, através da ventilação cruzada.

Figura 23 - Abertura através de *cobogós*

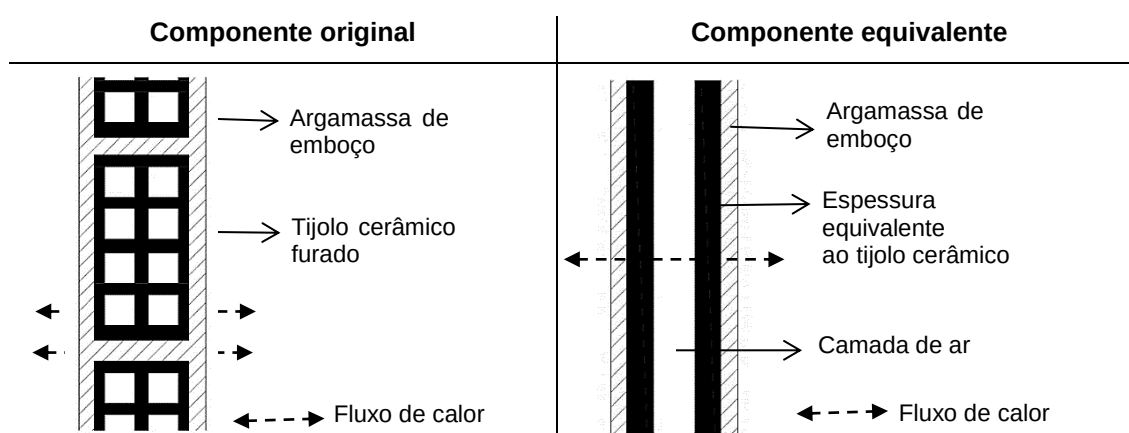
Fonte: Acervo pessoal (2018)

3.2 DESEMPENHO DA ENVOLTÓRIA

Para o cálculo do desempenho da envoltória segundo o PBE Edifica, utilizou-se o método de simulação descrito pelo RTQ-C (BRASIL, 2010). Para tanto, utilizou-se o software *EnergyPlus* 8.7.0. Para modelagem energética utilizou-se o *Euclid* 0.9.0 (BIG LADDER SOFTWARE, 2017), um *plug-in* que aproveita as ferramentas de desenho do *Sketchup* e cria arquivos em formato .idf para simulação no *EnergyPlus*.

O mecanismo de cálculo utilizado pela NBR 15220 (ABNT, 2005) difere daquele estipulado pelo *EnergyPlus*. Para lançamento dos dados relativos às propriedades térmicas dos materiais construtivos, utilizou-se a metodologia de simplificação proposta por Ordenes *et al.* (2003) como mostra a figura 24. Adotou-se espessuras e densidades equivalentes dos materiais construtivos quando os mesmos não estão dispostos em camadas homogêneas, como as alvenarias de tijolo por exemplo, cujo fluxo de calor ocorre tanto no sentido transversal quanto longitudinal.

Figura 24 – Simplificação para cálculo da espessura e densidade equivalentes



Fonte: Adaptado de ORDENES *et al.* (2003)

Modelou-se uma zona térmica para cada ambiente. As zonas possuem orientação solar, características geométricas e propriedades térmicas dos materiais construtivos idênticas ao projeto e edificação construída. Algumas zonas, por apresentarem características similares, e mesmo padrão de uso foram agrupadas, sendo designadas, conforme quadro 3.

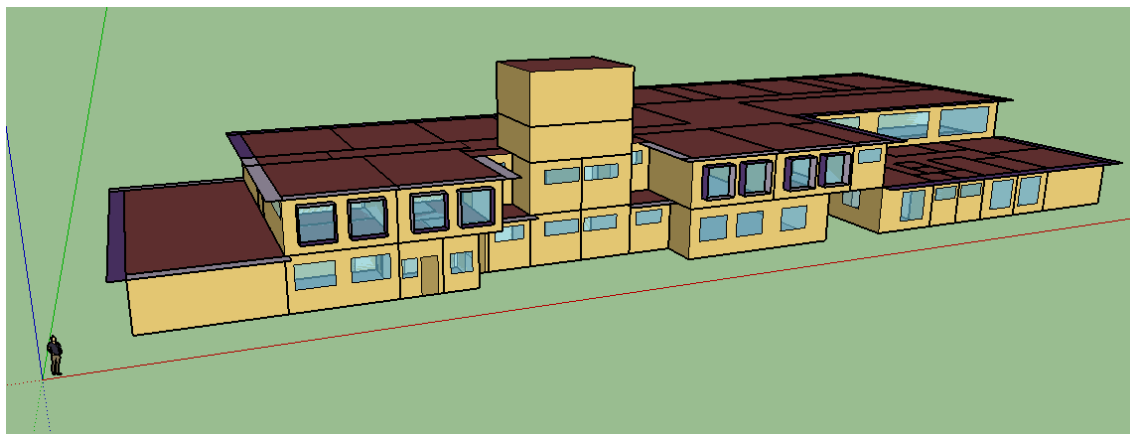
Quadro 3 - Zonas agrupadas no *EnergyPlus*

Designação	Ambientes
Salas	Salas de Aula do Grupo II, Grupo III, IV, V e VI e Sala de artes
Salas Berçário	Salas do Grupo I
Exercício	Brinquedoteca e Dança
Serviço-Professores	Área pedagógica: Secretaria, Direção, Pedagogos e Sala de Professores
Serviço-Cozinha	Área Cozinha: Recebimento, Lavanderia, Sala Funcionários, Área de Serviço 1 e 2, Vestiário, Depósito merenda, Depósito material limpeza e Cozinha.
Vars (Vários)	Pátios e circulações do 1º e 2º pavimento
Banheiros	Todos os banheiros

Fonte: Elaborada pela autora

A Figura 25 representa o modelo energético e o quadro 4 apresenta os dados das propriedades térmicas dos materiais construtivos do CMEI, bem como, os respectivos valores das propriedades térmicas lançadas no *EnergyPlus*.

Figura 25 - Imagem do modelo energético



Fonte: Elaborada pela autora

Quadro 4 - Metodologia de simplificação para cálculo da espessura e densidade equivalentes

Parâmetros dos Materiais Construtivos						
Materiais	Espessura equivalente (cm)	Condutiv. térmica (W/m.K)	Densidade equivalente (Kg/m³)	Calor específico (KJ/Kg.K)	Resistência térmica (m².K/W)	Absort. (α)
Argamassa de emboço	2,50	1,15	2000	1,00	—	0,43 ⁽¹⁾ (flamingo)
Cerâmica	0,06	0,90	1600	0,92	—	-
Tijolo cerâmico 8 furos -10cm	1,30	0,90	1600	0,92	—	—
Laje maciça de concreto	10,00	1,75	2200	1,00	—	—
Telha Cerâmica	0,01	1,05	2000	0,92	—	0,5 ⁽²⁾
Forro gesso	0,03	0,35	900	0,87	—	0,2 ⁽³⁾
Câmara de ar (2 à 5 cm)	—	—	—	—	0,16	—
Câmara de ar (>5cm)	—	—	—	—	0,21	—
Esquadrias	Esquadrias de alumínio com vidro translúcido 3mm para as janelas					

Notas: (1) absorvância de cor similar à adotada no CMEI, apresentada por tese de Dornelles (2008); (2) A telha apresenta-se suja adotando-se uma média entre as absorvâncias da NBR 15220 (ABNT,2005) para telha cerâmica; (3) absorvância para cor branca estabelecida pelo RTQ-C (Brasil, 2010).

Fonte: Elaborado pela autora

Simulou-se o desempenho da edificação em sua situação real considerando ambientes naturalmente ventilados, e alguns condicionados artificialmente.

A envoltória deve atender a um determinado nível de eficiência de acordo com a localização da edificação e sua zona bioclimática. Para Vitória, que encontra-se na ZB 8, os limites requeridos estão representados no quadro 5.

Quadro 5 – Transmitâncias (U)

Nível RTQ-C	U cobertura		U paredes externas	
	Ambientes condicionados	Ambientes não condicionados	Ambientes condicionados	Ambientes não condicionados
A	1,0 W/m ² K	2,0 W/m ² K	2,5 W/m ² K	3,7 W/m ² K
B	1,5 W/m ² K	2,0 W/m ² K	2,5 W/m ² K	3,7 W/m ² K
C	2,0 W/m ² K	2,0 W/m ² K	2,5 W/m ² K	3,7 W/m ² K
D	2,0 W/m ² K	2,0 W/m ² K	2,5 W/m ² K	3,7 W/m ² K

Fonte: Adaptado do RTQ-C (Brasil, 2010).

Para edifícios ventilados naturalmente ou não condicionados é obrigatório comprovar pela simulação que o ambiente interno das áreas não condicionadas proporciona temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual das horas ocupadas. O quadro 6 indica o nível pretendido e o percentual de horas ocupadas em conforto (POC) a ser alcançado na simulação.

Quadro 6 - Percentual de horas em conforto

Nível RTQ-C	Percentual de horas em conforto (POC)
A	POC $\geq$ 80%
B	70% $\leq$ POC $<$ 80%
C	60% $\leq$ POC $<$ 70%
D	50% $\leq$ POC $<$ 60%
E	POC $<$ 50%

Fonte: Adaptado do RTQ-C (Brasil, 2010).

Para a simulação em que a edificação é condicionada artificialmente, calcula-se o consumo relativo de energia necessária para refrigeração (CR), em KWh/m². A capacidade do sistema é automaticamente calculada pelo programa de simulação, a partir dos parâmetros indicados no RTQ-C (Brasil, 2010). O quadro 7 apresenta um resumo dos parâmetros considerados no *software* para cálculo dos níveis de eficiência, conforme especificações do PBE Edifica (Brasil, 2010), do próprio *software*, de informações do projeto e visitas *in loco*.

Quadro 7 - Parâmetros lançados no *software* para cálculo dos níveis de eficiência

Item	Parâmetro	Valor
Ventilação natural	Coeficiente de rugosidade do entorno	0,33
	Coeficiente de descarga (C_D)	0,60
	Coeficiente do fluxo de ar por frestas (C_Q)	0,001 Kg/s.m
	Expoente do fluxo de ar (n)	0,65
Ocupação	Quantidade de pessoas	Quadro 8
	Taxa metabólica SALAS (Grupos II a VI)	99 W
	Taxa metabólica SALAS_BER (Berçários) e AUD (Auditório)	108 W
	Taxa metabólica VARS (Circulações e Pátios)	180 W
	Taxa metabólica SERV_COZ (Área Cozinha)	207 W
	Taxa metabólica SERV_PROF(Administrativo)	117 W
	Taxa metabólica EXERC (Brinquedoteca e Dança)	315 W
	Padrão de ocupação	Figura 26
Iluminação	Densidade de Potência Instalada (DPI) salas	9,6 W/m ²
	Densidade de Potência Instalada (DPI) salas berçário	6,4W/m ²
	Densidade de Potência Instalada (DPI) Área Administrativa	12,3W/m ²
	Densidade de Potência Instalada (DPI) Área Cozinha	7,5W/m ²
	Densidade de Potência Instalada (DPI) Área banheiros	6,9W/m ²
	Densidade de Potência Instalada (DPI) VARS	6,1W/m ²
	Densidade de Potência Instalada (DPI) Auditório e Biblioteca	7,3W/m ²
	Padrão de uso da iluminação	Figura 27
Equipamentos	Carga interna para SALAS (Grupos II a VI)	14,7W/m ²
	Carga interna para SALAS_BER (Grupo I)	15W/m ²
	Carga interna SERV_PROF (Administrativo)	13,5W/m ²
	Carga interna para EXERC (Brinquedoteca e Dança)	13,5W/m ²
	Carga interna para VARS (Circulações e Pátios)	8,5W/m ²
	Carga interna para SERV_COZ (Área Cozinha)	18,5W/m ²
	Padrão de utilização equipamentos cozinha e Área administrativa e pedagógica	Figura 28
	Padrão de utilização ventiladores de teto	Figura 29
Ar condicionado	Temperatura do termostato	22°C (ajuste de aquecimento)
		24°C (ajuste de resfriamento)
	Taxa de fluxo de ar por pessoa	0
	Modo de operação do ventilador	Contínuo
	Eficiência do ventilador	70%
	Eficiência do motor	90%
	Razão entre o calor retirado do ambiente e a energia consumida pelo equipamento	3,00 W/W
	Razão entre o calor fornecido ao ambiente e a energia consumida pelo equipamento	2,75 W/W
	Número máximo de horas não atendidas do sistema de condicionamento de ar	10%
	Padrão de Utilização	Figuras 30 e 31

Fonte: Elaborado pela autora

O quadro 8 identifica o número de pessoas por área conforme dados do caderno de diretrizes para CMEIS e Fantin (2018).

Quadro 8 - Número de pessoas considerado por área útil

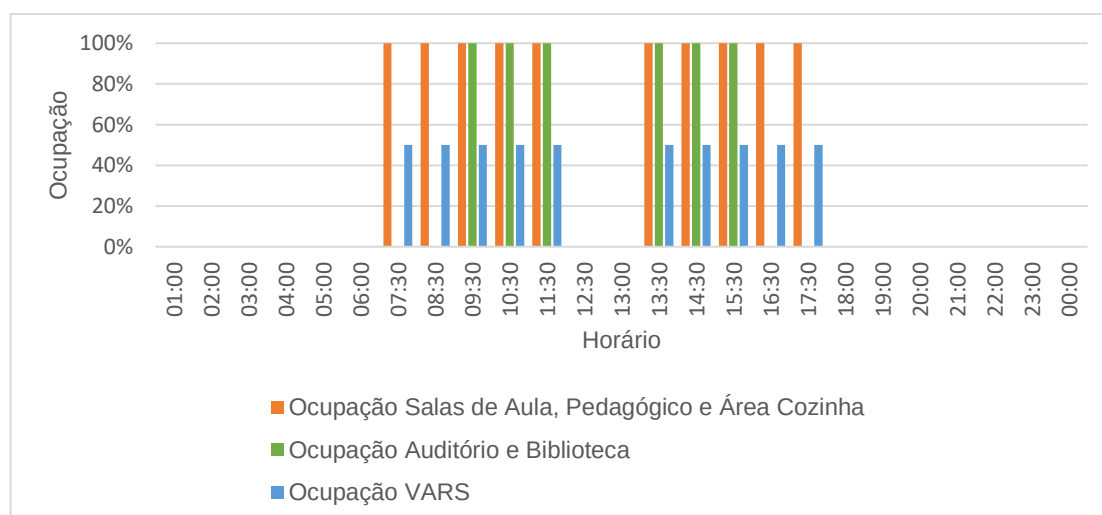
Áreas Pedagógica/Administrativa/Serviço	Nº de pessoas
Direção	1
Sala Pedagogos 1 e 2	2
Sala de Professores	12
Planejamento	9
Secretaria	2
Área Serviço Cozinha	6
Salas Berçário	26
Salas Grupos II, III, IV, V e VI	26
Salas Exercício	26
Área Vários (circulações e pátios)	3 pessoas/m ² *
Auditório	50
Biblioteca	26

Nota: (*) Dado do Caderno de Diretrizes para elaboração de CMEI (SEMOB, 2008)

Fonte: Adaptado de SEMOB (2013)

Os padrões de ocupação, iluminação e usos foram definidos levando-se em consideração as informações prestadas por uma pedagoga, um professor e direção da unidade escolar, obtidas através de entrevista informal. A figura 26 apresenta o padrão de ocupação nos dias de semana respectivamente para todas as Salas de aula, Área Pedagógica e Área Cozinha, assim como para a Biblioteca e VARS (circulações e pátios). Não há atividade nos fins de semana.

Figura 26 - Padrão de ocupação Salas de aula, Área Pedagógica, Área Cozinha, Biblioteca, circulações e pátios para os dias da semana

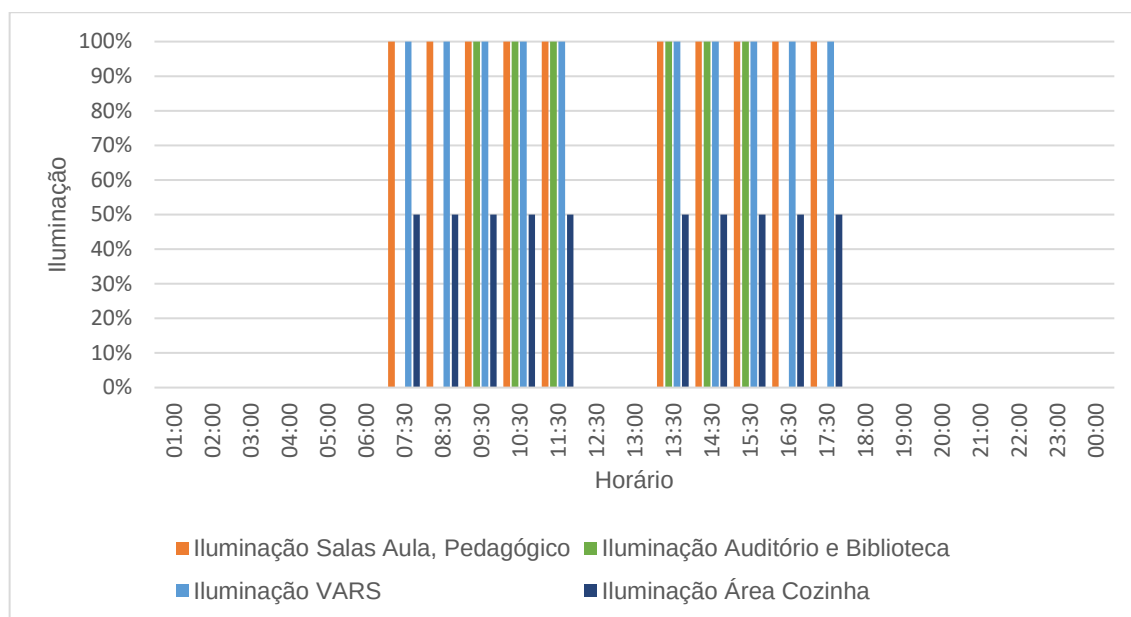


Fonte: Elaborada pela autora

O auditório, Biblioteca e VARS, foram considerados separadamente, por se diferirem em padrão de uso dos demais ambientes.

O Figura 27 apresenta o padrão de iluminação adotado, de acordo com as informações obtidas através dos usuários supracitados.

Figura 27 - Padrão de iluminação para as Salas de aula, Área Pedagógica, Área Cozinha, circulações e pátios, Auditório e Biblioteca para os dias da semana

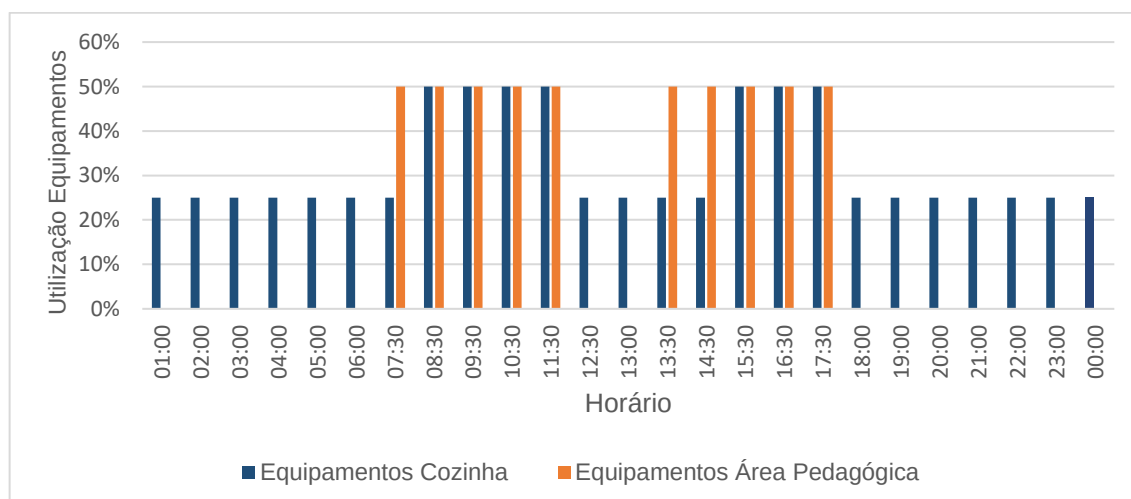


Fonte: Elaborada pela autora

Nos Finais de semana não há ocupação no CMEI e nem a iluminação é acionada.

A figura 28 expressa o padrão de uso de equipamentos adotado, também de acordo com as informações obtidas através dos usuários e observações *in loco*.

Figura 28 - Padrão de uso de equipamentos na Área da Cozinha e na Área Pedagógica para os dias da semana

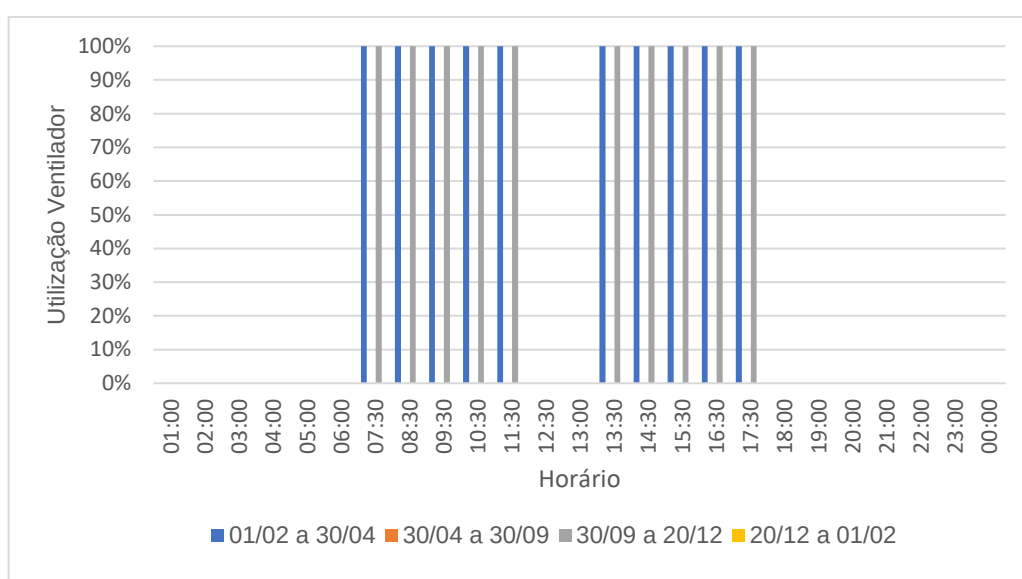


Fonte: Elaborada pela autora

Os equipamentos da cozinha englobam 2 freezers horizontais, geladeira 4 portas, liquidificador industrial, sendo este último utilizado esporadicamente. Para a área pedagógica, 9 computadores, 5 impressoras e televisão.

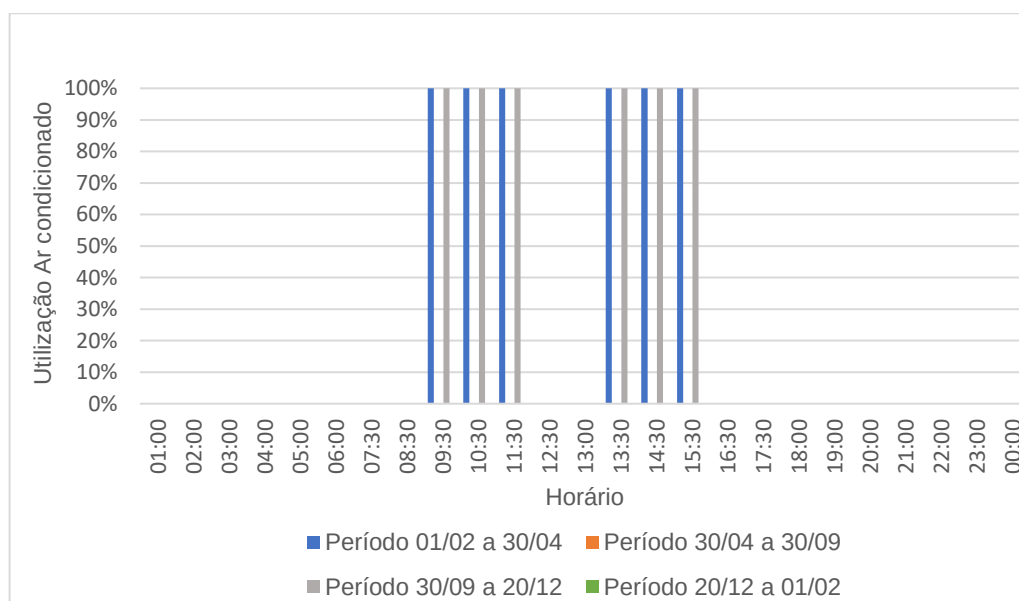
O padrão de utilização de ventiladores, seguem o padrão de uso das salas de aula, estando ligados durante os turnos escolares. Considerou-se que apenas nos períodos de 30/04 a 30/09 (período mais frios) e 20/12 a 01/02 (férias escolares) os ventiladores estão desligados (figura 29).

Figura 29 - Padrão de uso de ventiladores de teto nas salas de aula e Área Pedagógica para os dias da semana



Fonte: Elaborada pela autora

Figura 30 - Padrão de uso ar condicionado no auditório e biblioteca para os dias da semana



Fonte: Elaborada pela autora

A figura 30, acima, apresenta o padrão de utilização dos aparelhos de ar condicionado nos ambientes do auditório e biblioteca, bem como a figura 31 ilustra o padrão de utilização de ar condicionado na sala de planejamento, únicos que apresentam esse tipo de equipamento.

Figura 31 - Padrão de uso ar condicionado na sala de planejamento para os dias da semana



Fonte: Elaborada pela autora

Os resultados das simulações foram comparados com valores de referência ao Percentual de horas ocupadas em conforto (POC) em relação à 90% de aceitabilidade da norma ANSI/ASHRAE 55 (ANSI, 2004), estabelecidos pelo RTQ-C, para as áreas de maior concentração de pessoas e também para transmitâncias térmicas da envoltória.

3.3 ENERGIA INCORPORADA (EI)

A EI é o somatório da Energia Incorporada Inicial (EII), necessária para extração e manufatura dos materiais; a Energia Incorporada Recorrente (EIR), necessária para manutenção, e a Energia Incorporada Desperdiçada (EID), calculada a partir dos índices de perda do material no canteiro.

$$EI = \sum EII + EIR + EID \quad (1)$$

Onde: EII = Energia Incorporada Inicial (MJ); EIR = Energia Incorporada Recorrente (MJ); EID = Energia Incorporada Desperdiçada (MJ)

Também foram calculadas as emissões de carbono associadas ao consumo energético, que dependem do processo de produção do material. As emissões de carbono resultantes do consumo de energia para extração e manufatura dos materiais recebe a denominação de Carbono Incorporado Inicial (CII). A manufatura e reposição dos materiais durante a operação denomina-se Carbono Incorporado Recorrente (CIR) e as emissões de CO₂ resultantes do consumo de energia do material que é perdido no canteiro de obras denomina-se Carbono Incorporado Desperdiçado (CID). Assim como no cálculo da EI, o cálculo do Carbono Incorporado total (CI) é o somatório do CII, CIR e CID.

A tabela 1 apresenta os valores de EI (MJ) por Kg de material construtivo, sendo grande parte dos valores unitários extraídos de Tavares (2006). Sabe-se que, apesar dos esforços, são escassas as literaturas com valores de energia e carbono incorporados voltados para a realidade brasileira. Portanto, os resultados devem ser analisados com cautela e de forma relativa, comparando-os com estudos similares.

3.3.1 ENERGIA INCORPORADA INICIAL (EII)

Para o cálculo da EII é necessário analisar o tipo de material empregado, a sua quantidade e a EII por unidade desse material. Calcula-se a EII por meio da Equação 2.

$$EII = \sum m_i \cdot M_i \quad (2)$$

Onde: m_i = quantidade de material (Kg); M_i = valor de EII por unidade do material (MJ/Kg)

O CII é calculado da mesma forma, multiplicando-se o total de material pela quantidade de CO₂ emitido por Kg de material.

O quantitativo de material foi retirado da planilha de medição da obra do CMEI, cedida pela SEMOHAB.

Para a instalação do gás na cozinha da edificação e de ar condicionado *Split* nos ambientes utilizou-se os índices de consumo de material por ponto estabelecido pelo TCPO (PINI, 2008).

3.3.2 ENERGIA INCORPORADA RECORRENTE (EIR)

Para o cálculo da EIR, necessária à manutenção, faz-se necessário estabelecer a vida útil dos materiais construtivos empregados, bem como a vida útil da edificação. A NBR 15575 (ABNT 2013a) estabelece a vida útil de projeto (VUP), ou seja, um período estimado para o qual um sistema é projetado, que pode ou não ser igual à vida útil da edificação. De acordo com a mesma norma, o VUP de todas as partes do edifício é calculado em função da VUP da estrutura, que é de 50 à 75 anos. Em revisões bibliográficas sobre ACVE em edificações, a maioria dos estudos estabelece um período de vida útil de 50 anos (BUYLE; BRAET; AUDENAERT, 2013, CABEZA *et al.*, 2014, RAMESH; PRAKASH; SHUKLA, 2010, RASHID; YUSOFF, 2015 dentre outros). Portanto, esse mesmo parâmetro foi utilizado para o CMEI.. Calcula-se a EIR através da Equação.

$$EIR = \sum m_i . M_i . (F_r - 1) \quad (3)$$

Onde: m_i = quantidade de material (Kg); M_i = valor de EI por unidade do material (MJ/Kg); F_r = fator de reposição. O fator de reposição (F_r) equivale à razão entre a vida útil da edificação e a vida útil do material.

O CIR é calculado da mesma forma, porém considerando o valor de CI por unidade do material (KgCO₂/Kg). Para a vida útil dos materiais, considerou-se o tempo médio da Vida Útil de Projeto (VUP) estabelecido pela NBR 15575 (ABNT, 2013a).

3.3.3 ENERGIA INCORPORADA DE DESPERDÍCIO (EID)

A EID determina a quantidade de materiais que são desperdiçados durante o processo de transporte, estocagem e manuseio do material no canteiro de obra. Os índices de perda foram extraídos de Agopyan *et al.* (1998) e das Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos - TCPO (PINI, 2008). A EID é calculada a partir da Equação 4.

$$EID = \sum (EII + EIR) . F_p \quad (4)$$

Onde: EII = Energia Incorporada Inicial (MJ); EIR = Energia Incorporada Recorrente (MJ); F_p = Fator de perda (%)

O CID é calculado da mesma forma, multiplicando-se o total de material pela quantidade de CO₂ emitido por Kg de material.

A tabela 1 apresenta os valores considerados para cada material construtivo de densidade (Kg/m³), EI (MJ/Kg), CI (KgCO₂/Kg), VUP (anos), F_r e F_p.

Tabela 1 - Valores considerados para cálculo da EI dos materiais construtivos

Material	Densidade (kg/m ³)	EI ¹ (MJ/kg)	CI ¹ (kgCO ₂ /kg)	VUP ² (anos)	F _r	F _p ³
Aço	7850	30,00	2,31	73	1,00	10%
Alumínio	2700	210,00	9,15	30	1,67	0%
Concreto	2300	1,20	0,09	75	1,00	9%
Cobogó	924	1,2	0,09	75	1,00	17%
Telha Cerâmica	1900	5,4	0,42	30	1,67	10%
Cobre (inst. Elét.)	8900	75,00	3,17	30	1,67	25%
Ferro Galvanizado	7850	33,80	2,31	30	1,67	10%
Madeira	650	7,50	0,52	12	4,17	0%
Estrutura Cobertura (madeira)	600	7,50	0,32	30	1,67	15%
Gesso (forro)	1000	4,50	0,90	20	2,5	45%
PVC	1300	80,00	4,20	30	1,67	20%
Chapisco	2000	1,47	0,11	60	1,00	14%
Emboço	2000	1,47	0,11	60	1,00	59%
Reboco	2000	1,47	0,11	60	1,00	13%
Tijolo Cerâmico	1400	2,90	0,23	60	1,00	17%
Tinta	1300	65,00	4,49	12 (externa)	4,17	16%
				4 (interna)	12,50	
Cerâmica revestimento	2050	5,10	0,26	20	2,50	16%
Piso Granilite	2280	2,10	0,16	20	2,5	
Argamassa assentamento	1860	2,10	0,16	20	2,50	18%
Vidro	2500	18,50	0,89	30	1,67	0%

Nota: EI = Energia incorporada por kg do material; CI = Carbono incorporado por kg do material; VUP = Vida útil de projeto; F_r = Fator de reposição; F_p = Fator de perda.

Fonte: (1) TAVARES, 2006; (2) ABNT, 2013a; (3) AGOPYAN et al. 1998; PINI, 2008.

3.4 ENERGIA OPERACIONAL (EO)

Nessa etapa calcula-se a energia necessária para funcionamento dos equipamentos, iluminação, condicionamento de ar e cocção.

Os resultados das simulações foram comparados com valores de referência do consumo de energia real do CMEI no ano de 2017 (quadro 9) medidos pela ESCELSA.

Quadro 9 - Consumo de energia do CMEI

Mês/Ano	Medidor	Data Leitura	Leitura Ativa	Consumo Ativo (kWh)	Simulação (kWh)
12/17	13831365	08/12/17	69454	4.652	-
11/17	13831365	08/11/17	64802	4.924	-
10/17	13831365	04/10/17	59878	4.099	-
09/17	13831365	05/09/17	55779	4.022	-
08/17	13831365	04/08/17	51757	3.520	-
07/17	13831365	06/07/17	48237	4.400	-
06/17	13831365	06/06/17	43837	4.813	-
05/17	13831365	05/05/17	39024	4.603	-
04/17	13831365	05/04/17	34421	5.325	-
03/17	13831365	07/03/17	29096	3.723	-
02/17	13831365	06/02/17	25373	2.816	-
Total Ano				50.712	50.843,40

Fonte: Adaptado de SEME (2017)

Considerando o consumo de energia elétrica anual de 50.843,40KWh do modelo, multiplicou-se esse valor pela vida útil da edificação, ou seja, 50 anos. Essa é a quantidade de energia secundária necessária para abastecimento da edificação.

Para verificar a quantidade de energia primária, utilizou-se o índice de 1,60 para a energia elétrica (COLTRO, GARCIA E QUEIROZ, 2003). Quanto às emissões de CO₂, considerou-se a produção 0,034 KgCO₂/MJ de energia elétrica distribuída, ou seja, 0,02125 KgCO₂/MJ na fonte primária (COLTRO, GARCIA E QUEIROZ, 2003). Quando a energia é proveniente do gás GLP, considerou-se um índice de 0,0631 KgCO₂/MJ (GOMEZ, WATTERSON, 2006).

A tabela 2 apresenta os valores dos índices considerados para converter a energia secundária em primária e os índices de produção de CO₂ por MJ de energia, tanto a elétrica, quanto à gerada pelo gás GLP.

Tabela 2 - Índices para energia primária e produção de CO₂

Fonte secundária	Índice multiplicador para energia primária	Índice de produção de CO ₂ (KgCO ₂ /MJ)
Eletricidade	1,60	0,02125
Gás GLP	1,10	0,0631

Fonte: Elaborado pela Autora

O consumo de energia operacional foi dividido em categorias: equipamentos, iluminação, ar condicionado e cocção. Para cada das três primeiras categorias obteve-se o consumo através de simulação, levando-se em consideração a situação real apresentada.

Quadro 10 - Consumo simulado no *EnergyPlus*

Categoria	Eletricidade (KWh)
Resfriamento	3.464,95
Iluminação	22.618.18
Equipamento	24.686.78

Fonte: Elaborado pela Autora

Quanto ao consumo de energia advindo da cocção, optou-se por utilizar a apuração *in loco*, considerando o consumo real. A unidade escolar utiliza o gás GLP, botija de 45Kg como combustível para a cocção. Considerando que são consumidos cerca de 02 cilindros a cada 20 dias, o consumo anual é de 1.642Kg, que representam, 21.952,88KWh ou 79,03GJ/ano.

3.5 ENERGIA NO CICLO DE VIDA

O total de energia consumido no ciclo de vida da edificação é expresso pela Equação 5.

$$E_{total} = EI + EO \quad (5)$$

Onde, EI = Energia Incorporada total; EO = Energia Operacional total.

Ao se considerar como um dos objetivos da implementação de medidas de *retrofit*, a redução da energia no ciclo de vida das edificações, faz-se necessário analisar se o acréscimo de EI causado pelo processo de *retrofit* foi suficiente para reduzir a EO durante o uso/operação, determinando-se o período de armotização (PA). Este só é calculado caso haja redução efetiva de energia no ciclo de vida, constituindo-se importante dado na verificação da viabilidade das propostas. Por exemplo, se o PA for igual a 20, significa que serão necessários 20 anos de operação para que a EI da edificação advinda pelo *retrofit* comece a reduzir a energia no ciclo de vida. Quanto menor o PA, maior é a viabilidade das propostas, já que mais rápido será o retorno ambiental proporcionado pelo *retrofit*. Esse período de amortização é calculado pela Equação 6.

$$PA = \frac{EI_{ret} - EI_{exist}}{EO_{exist} - EO_{ret}} \cdot VU \quad (6)$$

Onde: PA = Período de amortização;

E_{ret} = EI do edifício com a medida de *retrofit*;

E_{exist} = EI do edifício existente;

EO_{exist} = EO do edifício existente;

EO_{ret} = EO do edifício com a medida de *retrofit*;

VU = Vida Útil do edifício, que no caso, adotou-se 50 anos.

3.6 PROPOSTAS DE RETROFIT E ANÁLISES DE SENSIBILIDADE

A metodologia é aplicada à edificação da forma como ela se encontra atualmente, para, em seguida, verificar a influência das propostas de *retrofit*, tanto no desempenho da envoltória segundo os padrões PBE Edifica, quanto na energia consumida e emissões de CO₂ no ciclo de vida das edificações.

As propostas de *retrofit* foram selecionadas levando em consideração a melhoria do desempenho térmico, priorizando a envoltória como principal componente. Buscou-se elaborar propostas pensando na facilidade de instalação e manutenção, bem como, interferência mínima na estética da fachada, nos ambientes internos e nos hábitos de consumo dos usuários, já que esses são fatores de difícil controle.

Foram propostas 5 (cinco) medidas de *retrofit*:

Medida 1 - Substituição da cobertura existente por telha metálica tipo sanduiche;

Medida 2 - Substituição da cobertura existente por telhado verde;

Medida 3 - Instalação de película refletora nos vidros das janelas;

Medida 4 - Instalação de Fachada Dupla ou Ventilada

Medida 5 - Instalação de Brises para sombreamento das aberturas;

Essas medidas foram simuladas separadamente e também reunidas, considerando a opção com telha sanduiche e a opção com telhado verde.

As análises de sensibilidade consistem em modificar dados do modelo, a fim de verificar seus efeitos sobre os resultados (RODRÍGUEZ *et al.*, 2013; TIAN, 2013).

Para as mesmas, os resultados serão apresentados em 4 (quatro) situações:

Situação 1 - Edificação existente;

Situação 2 - Edificação funcionando com mais salas de aula condicionadas

Situação 3 - Edificação funcionando em período integral, ou seja, incluindo-se o período noturno.

Situação 4 – Edificação funcionando em período integral e condicionada.

Essas situações foram testadas levando-se em consideração a necessidade da

comunidade escolar, bem como, pensando-se em otimizar o uso das salas de aula para outros fins sociais, como alfabetização de idosos e adultos, dentre outros.

3.6.1 TELHA SANDUICHE COM ISOLAMENTO EM POLIURETANO

A telha metálica escolhida para a cobertura consiste num sistema sanduiche montado em camadas: telha inferior, isolante poliuretano (PU) e telha superior. Esse sistema pesa 10,47Kg/m². Os dados para cálculo da EI e CI estão especificados na tabela 3.

O poliuretano é um dos materiais mais utilizados como isolante em coberturas, por ser um material não tóxico, não propício ao emboloramento, ser inerte e inodoro, não absorver umidade e não se degradar com o tempo (GRUPO PIZZINATTO, 2018).

Figura 32 - Telha Sanduiche adotada



Fonte: GRUPO PIZZINATTO (2018, p.9)

Tabela 3 - Dados para cálculo da EI e CI da telha sanduiche

Material	Densidade (kg/m ³)	EI (MJ/kg) ¹	CI (kgCO ₂ /kg)	VUP (anos) ³	F _r	F _p
Telha metálica	-	33,8	1,63 ¹	50	1,0	0%
Poliuretano	38	74	3,0 ²	50	1,0	0%

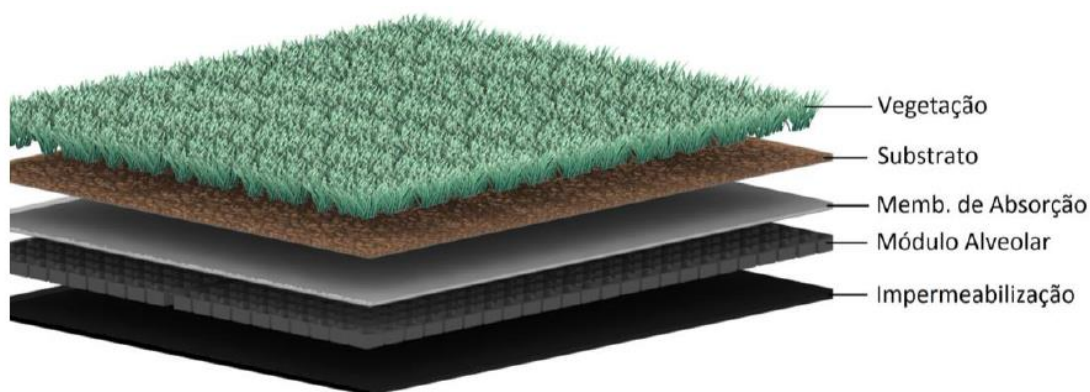
Nota: EI = Energia incorporada por kg do material; CI = Carbono incorporado por kg do material; VUP= Vida útil de projeto; F_r = Fator de reposição; F_p = Fator de perda.

Fonte: (1) Tavares (2004), (2) Augusto, Bragança e Almeida (2015) , (3) ABNT, 2013^a

3.6.2 TELHADO VERDE

O sistema de telhado verde considerado nesse estudo é o Sistema Modular Alveolar Leve (ECOTELHADO, 2018), pois, como o próprio nome sugere, tem pouco peso e é recomendado para telhados onde há pouca circulação. Cabe destacar que o fabricante solicita que a estrutura existente deve suportar peso de 80Kg/m².

Figura 33 - Camadas do Sistema Modular Alveolar Leve



Fonte: ECOTELHADO (2018, p. 5)

Conforme especificado na figura 33, a instalação do telhado verde necessita de impermeabilização de toda a superfície da cobertura. A tabela 4 apresenta os dados de EI e CI obtidos pelo *SimaPro* (SIMAPRO, 2018) que calcula ACV dos materiais a partir do banco de dados Ecoinvent (ECOINVENT, 2018). Utilizou-se no *SimaPro* o “cumulative energy demand” como método de avaliação de impacto para cálculo da Energia Incorporada e o “selected LCI results”, onde foi selecionada a quantidade de CO₂. O apêndice B apresenta com mais detalhes os valores de energia e carbono extraídos do Ecoinvent pelo *SimaPro*.

Tabela 4 - Dados para cálculo da EI e CI do telhado verde

Material	Densidade (kg/m ³) ¹	EI (MJ/kg) ²	CI (kgCO ₂ /kg) ²	VUP (anos) ³	F _r	F _p
Manta impermeabilizante	1125	52,90	0,48	10	5,00	0%

Nota: EI = Energia incorporada por kg do material; CI = Carbono incorporado por kg do material; VUP= Vida útil de projeto; F_r = Fator de reposição; F_p = Fator de perda.

Fonte: (1) Derbigum, 2017, (2) ECOINVENT, 2018, (3) ABNT, 2013a

Para a simulação do edifício no *software* de simulação de desempenho, utilizou-se a pré-configuração do *EnergyPlus*, que apresenta um padrão de propriedades para o telhado verde.

3.6.3 PELÍCULA REFLETORA NOS VIDROS

As películas de superfície são feitas com material policloreto de vinila (PVC), e possuem espessura média de 0,76mm (ARCOWEB, 2018). São utilizadas para controle dos raios solares e podem ser coloridas e/ou metalizadas. A Tabela 5 apresenta os dados para cálculo da EI e CI da película de vidro, que foram obtidos a

partir do banco de dados Ecoinvent. (ECOINVENT, 2018) e acessados pelo *software SimaPro* (SIMAPRO, 2018). Considerou-se um fator de perda (F_p) de 20%, já que o produto é fornecido em bobinas e não é permitido emendas (ARCOWEB, 2018).

Tabela 5 - Dados para cálculo da EI e CI da película de vidro

Material	Densidade (kg/m ³)	EI (MJ/kg) ¹	CI (kgCO ₂ /kg) ¹	VUP (anos) ²	F _r	F _p
Película de vidro em PET	1380	186,40	6,92	25	2,00	20%

Nota: EI = Energia incorporada por kg do material; CI = Carbono incorporado por kg do material; VUP= Vida útil de projeto; F_r = Fator de reposição; F_p = Fator de perda.

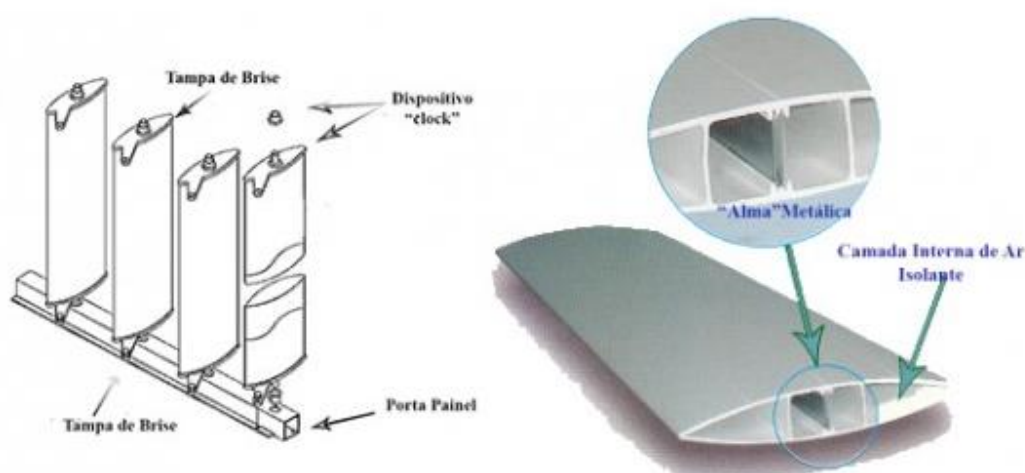
Fonte: (1) ECOINVENT, 2017, (2) ABNT, 2013a

Quanto às propriedades térmicas do vidro após aplicação da película refletora, optou-se por utilizar a pré-configuração do *software EnergyPlus* para vidro de cor bronze.

3.6.4 SOMBREAMENTO DAS ABERTURAS (BRISES)

Optou-se por fazer o sombreamento das aberturas por sistema de brise-soleil verticais móveis em PVC conforme figura 34, pois de acordo com informações do fabricante os brises termoplásticos, são superiores em termos de ecossustentabilidade a outras composições, tais como o alumínio (INCONYLON, 2018).

Figura 34 - Sistema de sombreamento (brises) em PVC



Fonte: INCONYLON (2018, s.p)

Esse sistema pesa 8,76 Kg/m². Para o estudo de caso considerou-se que os brises são instalados no comprimento das aberturas. Os dados para cálculo da EI e CI estão especificados na tabela 6.

Tabela 6 - Dados para cálculo da EI e CI do brise

Material	Densidade (kg/m ³)	EI (MJ/kg) ¹	CI (kgCO ₂ /kg) ¹	VUP (anos) ²	F _r	F _p
PVC	1300	80	3,20	25	2,00	20%
Perfis Alumínio	2700	210	9,15	25	2,0	0%

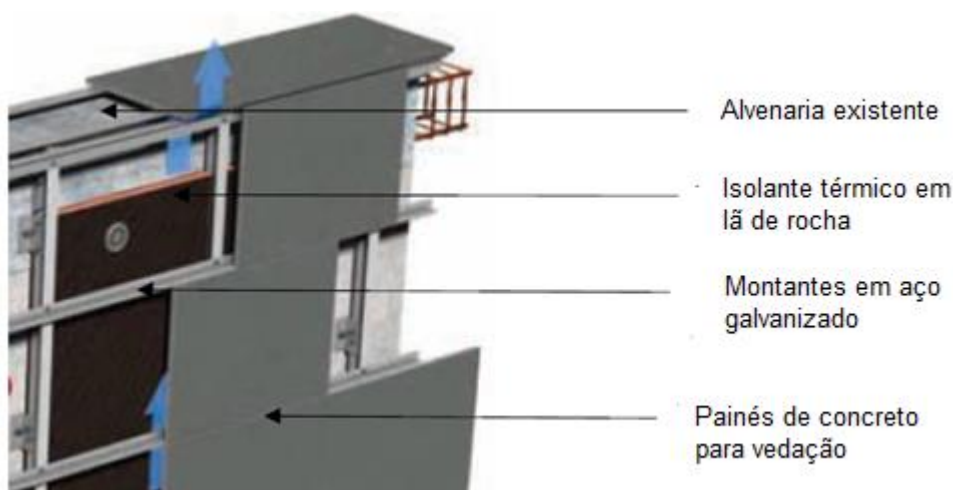
Nota: EI = Energia incorporada por kg do material; CI = Carbono incorporado por kg do material; VUP= Vida útil de projeto; F_r = Fator de reposição; F_p = Fator de perda.

Fonte: (1) Tavares, 2006; (2) ABNT, 2013^a

3.6.5 FACHADA VENTILADA

A fachada ventilada consiste num sistema de fechamento que produz uma camada de ar entre a superfície da fachada principal e o material de revestimento. A Figura 35 mostra a imagem esquemática do sistema de fachada ventilada, que é composto por uma camada de isolante térmico e painéis de concreto para vedação, que são fixados por meio de montantes em aço galvanizado.

Figura 35 - Imagem esquemática do sistema de fachada ventilada



Fonte: Adaptado de ULMA (2018)

A Tabela 7 apresenta os dados para cálculo da EI e CI, que foram obtidos a partir do banco de dados Ecoinvent (ECOINVENT, 2018) e acessados pelo *software SimaPro* (SIMAPRO, 2018). Os dados relativos aos painéis de vedação em concreto foram extraídos da Tabela 1.

Tabela 7 - Dados para cálculo da EI e CI da fachada ventilada

Material	Densidade (kg/m ³) ¹	EI (MJ/kg) ²	CI (kgCO ₂ /kg) ²	VUP (anos) ³	F _r	F _p
Lã de Rocha	64	16,60	1,22	50	1,00	0%
Perfis de aço Galvanizado	7850	33,8	1,63	50	1,00	0%

Nota: EI = Energia incorporada por kg do material; CI = Carbono incorporado por kg do material;

VUP= Vida útil de projeto; Fr = Fator de reposição; Fp = Fator de perda.

Fonte: (1) ECOINVENT, 2018, (2) ABNT, 2013a

Para inclusão da fachada ventilada nos modelos energéticos, utilizou-se a propriedade de superfície “*other side condition model*”, do tipo “*gap convection radiation*”, que permite simular o efeito na convecção do ar entre camadas de revestimento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos são apresentados em 4 partes: (1) Desempenho da envoltória segundo o PBE Edifica; (2) Energia Incorporada - EI; (3) Energia Operacional - EO; (4) Energia no Ciclo de Vida.

Para cada parte são apresentados as análises de sensibilidade, considerando os seguintes cenários: Edificação existente, Edificação funcionando com mais salas condicionadas, Edificação funcionando em período integral, ou seja, incluindo-se o período noturno e a Edificação funcionando em período integral e condicionada.

Em seguida, para cada uma das situações, demonstra-se o resultado após aplicação das medidas de *retrofit*.

4.1 DESEMPENHO DA ENVOLTÓRIA SEGUNDO O PBE EDIFICA

4.1.1 EDIFICAÇÃO EXISTENTE

No quadro 11, apresenta-se os resultados do desempenho da envoltória segundo os requisitos estabelecidos pelo RTQ-C para a ZB8, quanto à transmitância térmica da cobertura e paredes externas da edificação.

Quadro 11 - Referências de transmitância térmica de paredes e coberturas

Nível RTQ-C	Ref. Cobertura Ambientes condicionados	Ref. Cobertura Ambientes não condicionados	Valor encontrado Cobertura 1 (sem forro)	Valor encontrado Cobertura 2 (com forro)	Ref. Fachadas	Valor encontrado Fachadas
A	1,0 W/m ² K	2,00 W/m ² K	2,20	1,37	3,7	2,59
B	1,5 W/m ² K				3,7	
C	2,0 W/m ² K				3,7	
D	2,0 W/m ² K				3,7	

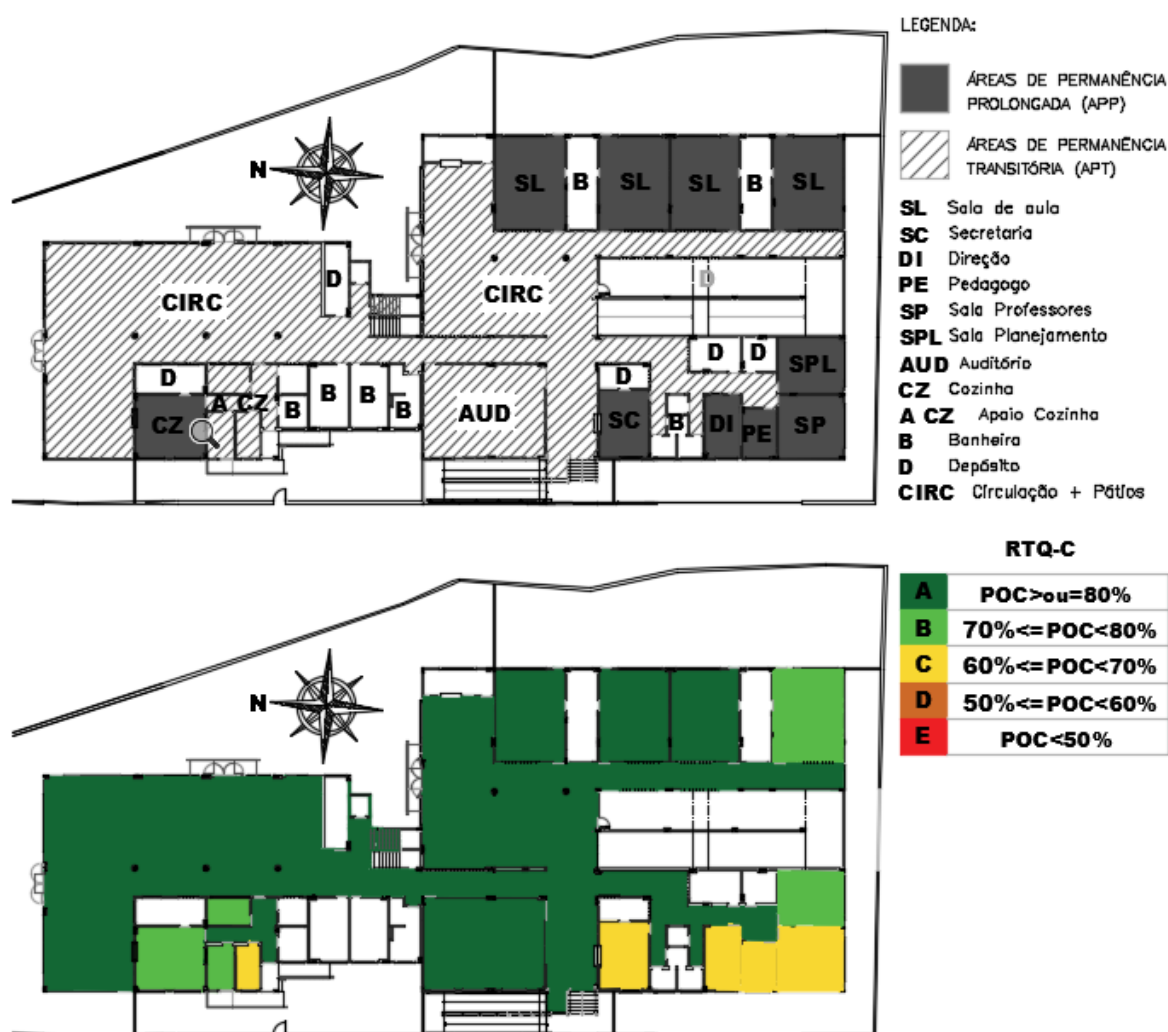
Nota: Cobertura 2 – existente apenas nos banheiros
 Fonte: Adaptado do RTQ-C (Brasil, 2010)

Quanto a transmitância térmica encontrada para a cobertura da edificação em sua situação real, verifica-se que não atenderia a classificação para a ZB8, apontada pelo regulamento para as salas de aulas, e sim apenas para áreas molhadas, que apresentam forro de gesso, além da cobertura em telha cerâmica e laje, sendo aconselhável, a colocação de forro de gesso em todo o CMEI.

Para as salas condicionadas artificialmente, tanto no térreo (auditório, sala de planejamento) quanto no pavimento superior (biblioteca), a situação se mantém a mesma, já que o índice máximo para ambientes condicionados é de 1,0W/m²K.

Na figura 36, estão os resultados quanto ao percentual de horas em conforto (POC) para os ambientes de permanência prolongada e transitória do pavimento térreo.

Figura 36 - POC ambientes pavimento térreo edificação existente



Fonte: Elaborado pela Autora

Para o pavimento térreo, as salas voltadas para a fachada leste, apresentam em sua maioria classificação A, enquanto que apenas uma sala, que faz limite com a fachada sul recebe classificação B.

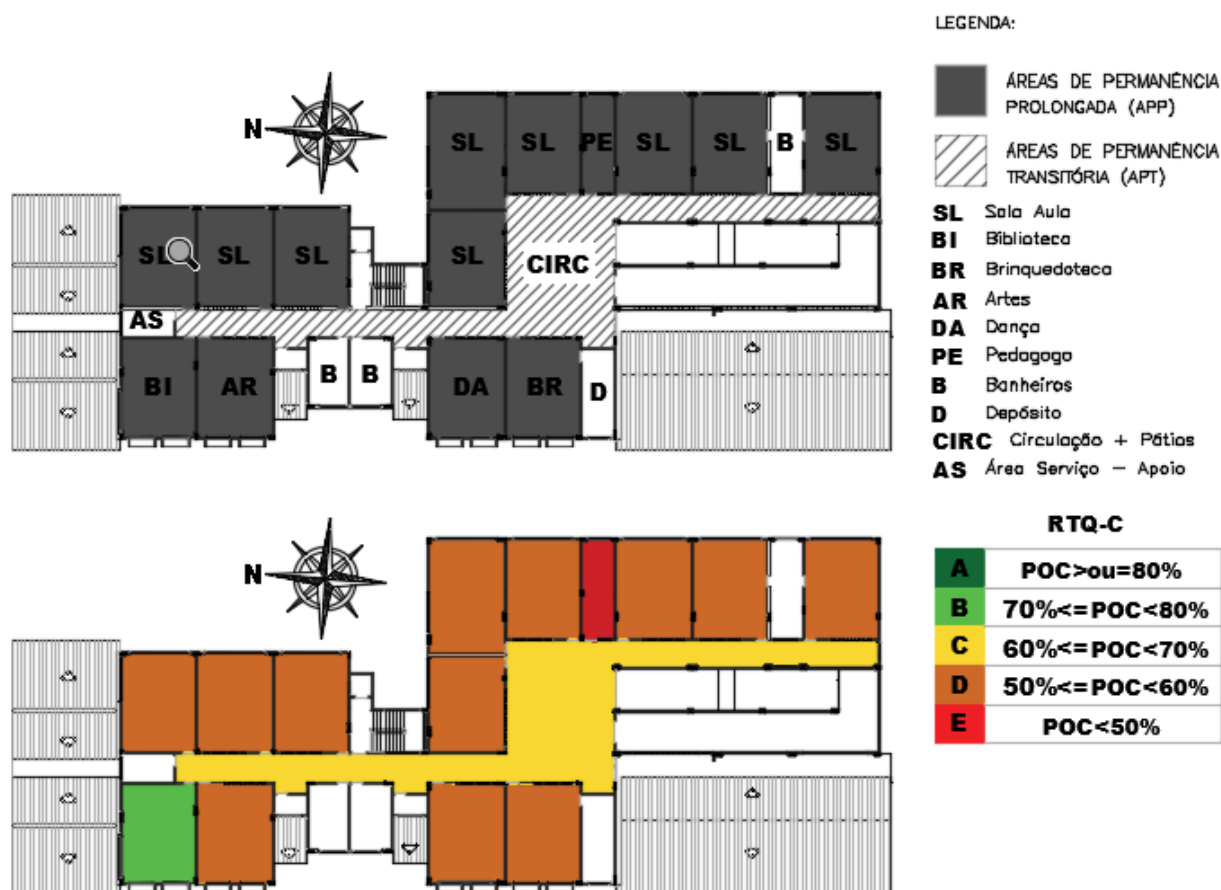
Nota-se que os ambientes de permanência do pavimento térreo que recebem radiação solar direta da cobertura enquadram-se na classificação C. A exceção se dá na sala de planejamento que por apresentar condicionamento artificial, chega a um nível B de conforto.

A cozinha, surpreendentemente, classificou-se no nível B, apesar de localizada na fachada oeste, porém salienta-se que o índice de área de fachada voltada para o

exterior é baixo em relação a sua área útil, além de não sofrer radiação solar direta em sua cobertura, por situa-se no térreo.

A situação se modifica no pavimento superior (Figura 37).

Figura 37 - POC ambientes pavimento superior edificação existente



Fonte: Elaborado pela Autora

Pode-se perceber que o POC dos ambientes do 2º pavimento, tanto as salas voltadas para a fachada leste como oeste, receberia a classificação D pelo RTQ-C, o que deve-se a radiação solar direta sobre a cobertura neste pavimento. Tal situação justifica-se ainda pelo percentual de abertura da fachada leste ser maior que na fachada oeste, e pelas aberturas da fachada oeste apresentarem um dispositivo de sombreamento, o que compensa esse índice de conforto. Deve-se salientar que nem mesmo a área da biblioteca sendo condicionada em alguns períodos do ano (verão), essa realidade se modifica.

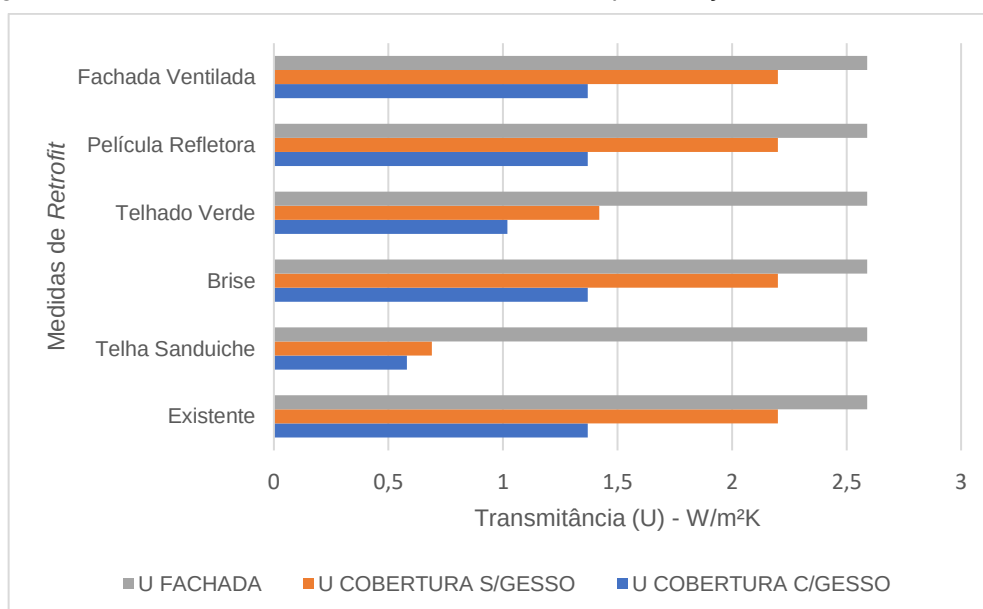
A exceção seria a área de circulação e pátio interno, que receberia a classificação C, por estar localizada nas porções mais internas do pavimento, não recebendo

radiação direta nas paredes, e também pelo fato da carga interna desta zona ser inferior a das salas de aula.

4.1.1.1 Análises após adoção das medidas de *retrofit*

A Figura 38 apresenta os resultados de transmitância térmica da cobertura e paredes externas. Foram avaliados também os resultados para o consumo de refrigeração e o POC referente às medidas de *retrofit* adotadas em relação a situação real apresentada. Para o POC, estes resultados foram separados por pavimento.

Figura 38 - Transmitâncias da cobertura e fachadas após adoção das medidas de *retrofit*

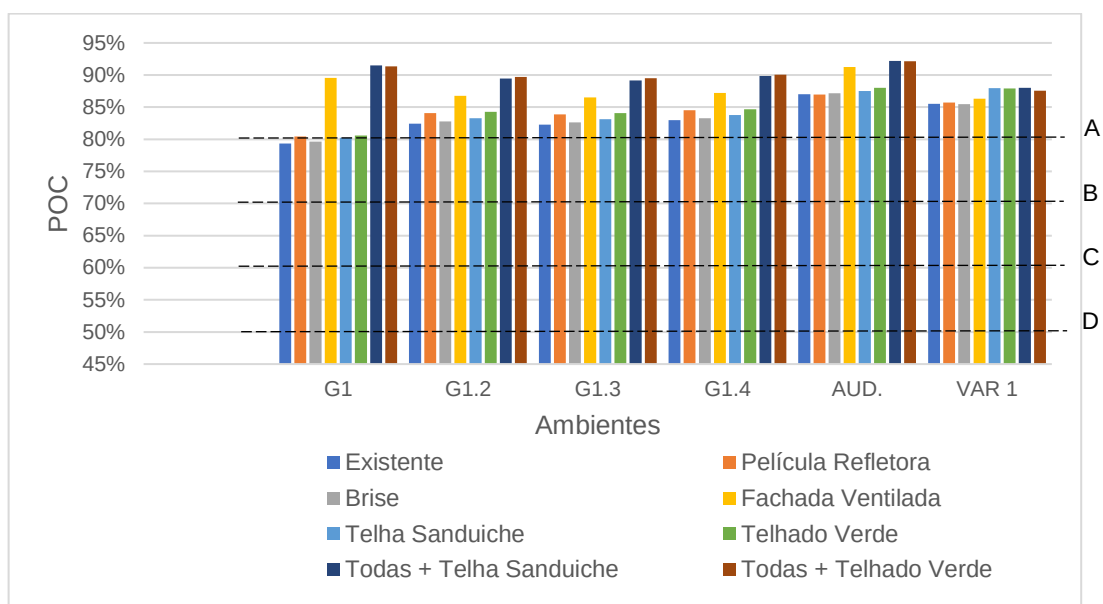


Fonte: Elaborado pela Autora

A diminuição da transmitância da cobertura ocorreu especialmente com a mudança da telha cerâmica para a telha sanduiche, devido a alteração de cor e isolante em poliuretano, seguido do telhado verde, sendo a primeira classificada no nível A e a segunda no nível B. Quanto ao U das fachadas, nenhuma das medidas contribuiu para sua redução, mantendo-se o índice real de 2,2 W/m²K.

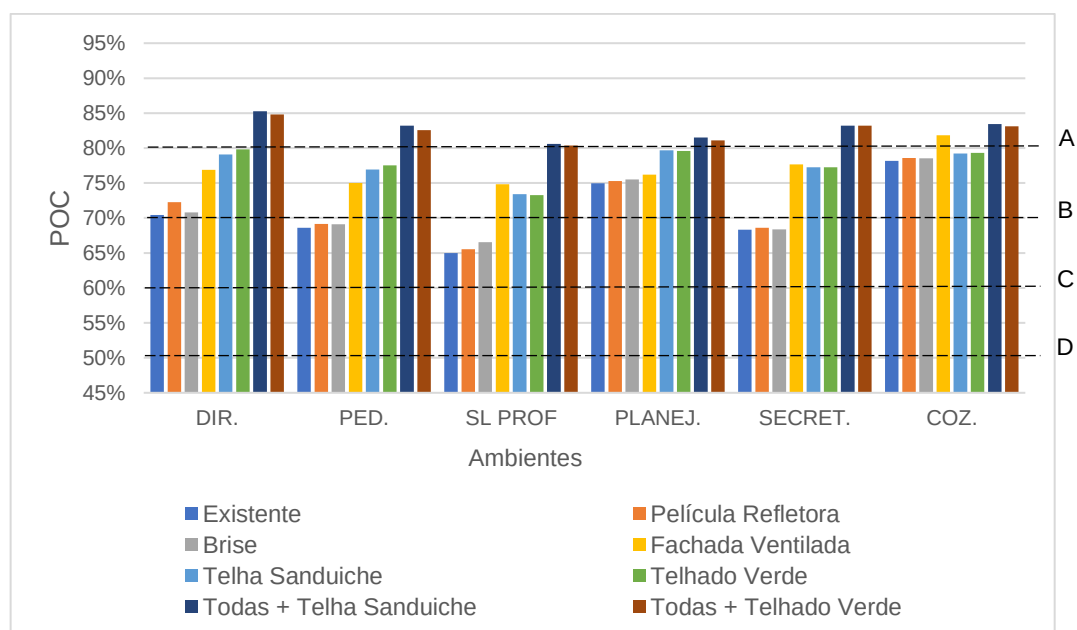
Com relação ao POC, todas as medidas de *retrofit* adotadas mantiveram a categoria da edificação original ou aumentaram uma categoria.

A fachada ventilada se mostrou mais eficiente na maioria dos ambientes do pavimento térreo, assim como o telhado verde e a telha sanduiche, no aumento das horas em conforto (figuras 39 e 40).

Figura 39 - POC das Salas de aula do pavimento térreo após adoção das medidas de *retrofit*

Nota: G1 a G1.4 = Salas aula Grupo 1; AUD = Auditório; VAR 1 = Vários(Circulação e pátios internos)

Fonte: Elaborado pela Autora

Figura 40 – POC dos demais ambientes do pavimento térreo após adoção das medidas de *retrofit*

Nota: DIR = Direção; PED = Pedagogo; SL.PROF = Sala Professores; PLANEJ. = Planejamento; SECRET. = Secretaria; COZ= Cozinha

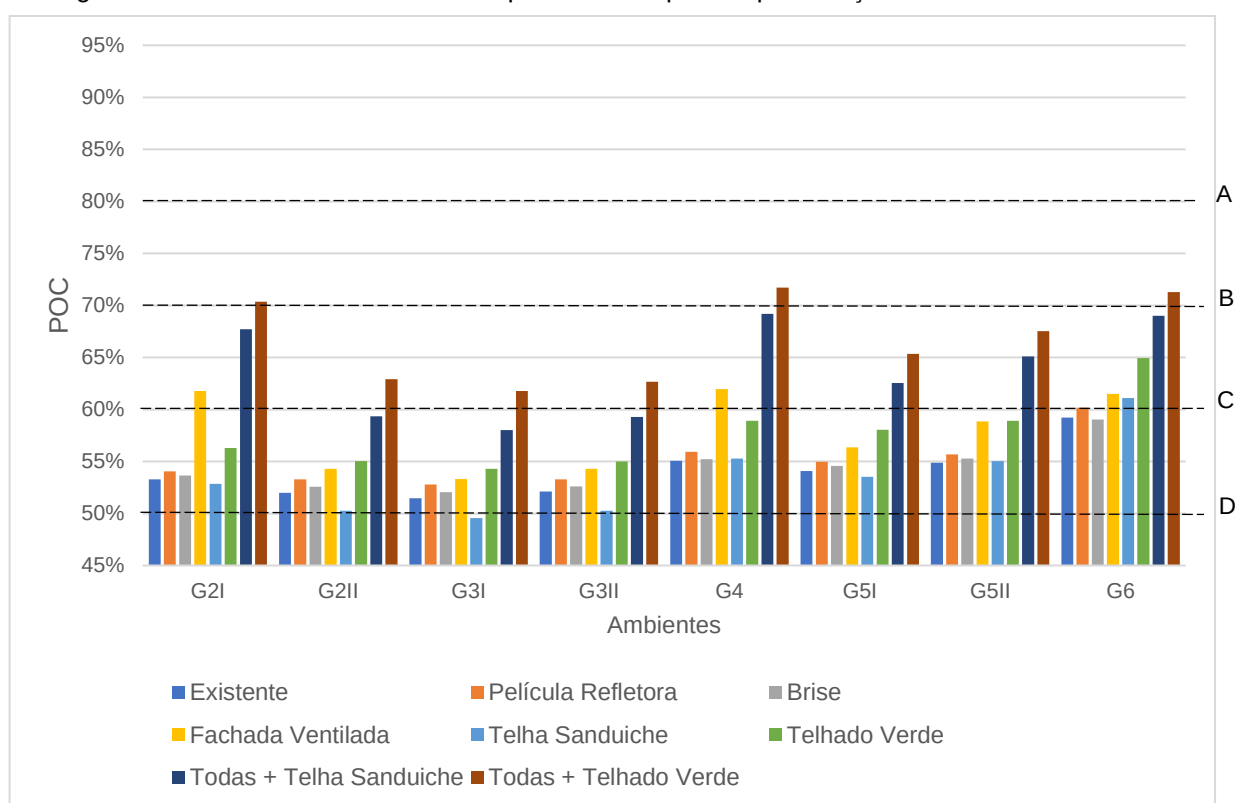
Fonte: Elaborado pela Autora

Tanto a colocação de película refletora, quanto brises verticais, se mostraram ineficientes para os ambientes do pedagogo, sala de professores e secretaria que mantiveram a classificação C em relação a edificação existente.

Quanto aos ambientes condicionados artificialmente localizados no térreo, observa-se que na sala de professores, a colocação da telha sanduiche ou telhado verde ou a inserção da fachada ventilada, melhoraria o padrão de conforto, elevando-se o nível de classificação de C para B. No auditório manteve-se a condição A, já experimentada na edificação existente, certamente pela não exposição direta da cobertura ao sol neste trecho.

Nos ambientes do pavimento superior todas as salas de aula encontram-se no nível D, considerando a situação existente (figura 41). Nota-se que a fachada ventilada melhorou um pouco o conforto no pavimento superior. Contudo, a melhora significativa ocorre nas situações em que todas as medidas de *retrofit* reunidas são aplicadas, sendo a condição com o telhado verde a mais eficiente.

Figura 41 - POC das salas de aula do pavimento superior após adoção das medidas de *retrofit*

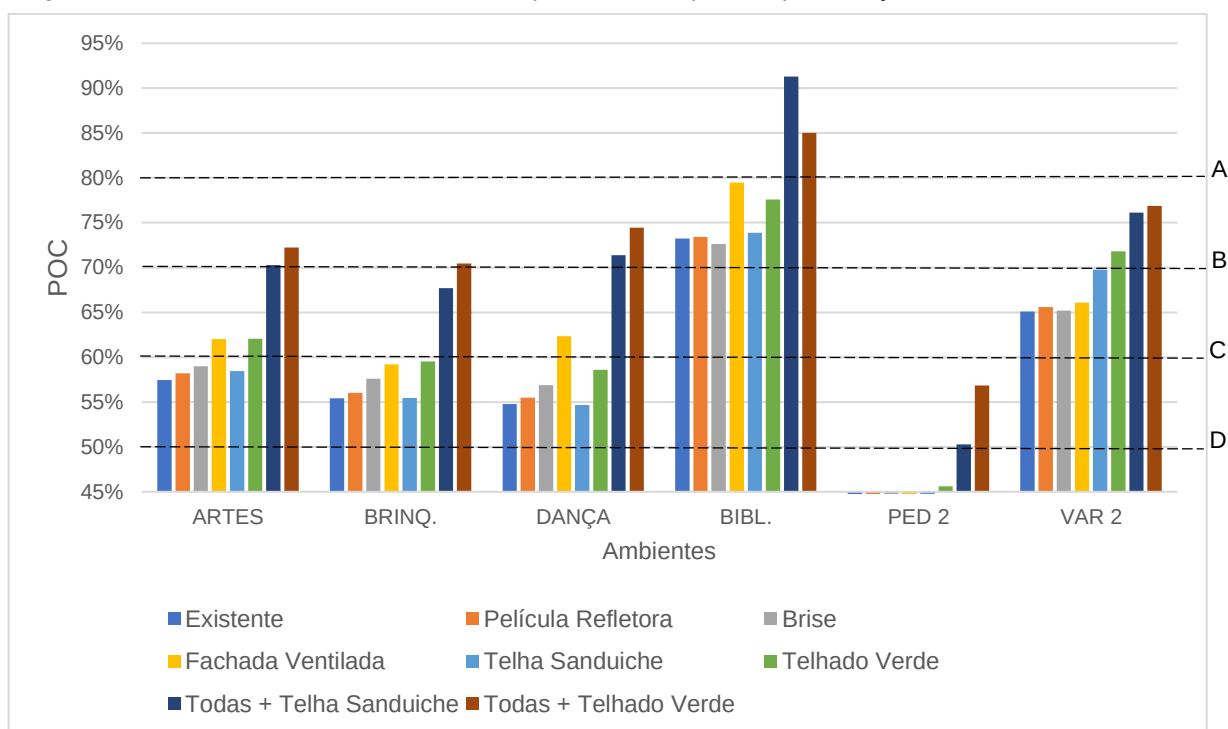


Nota: Salas de aula - G2 = Grupo 2; G3 = Grupo 3; G4= Grupo 4; G5= Grupo 5; G6= Grupo 6

Fonte: Elaborado pela Autora

No pavimento superior, a biblioteca - único ambiente condicionado, o POC manteve-se no nível B, com as medidas de *retrofit* em separado, mas para todas as medidas juntas, tanto para telha sanduiche, quanto telhado verde, o POC eleva-se para o nível A (Figura 42).

Figura 42 - POC dos demais ambientes do pavimento superior após adoção das medidas de *retrofit*

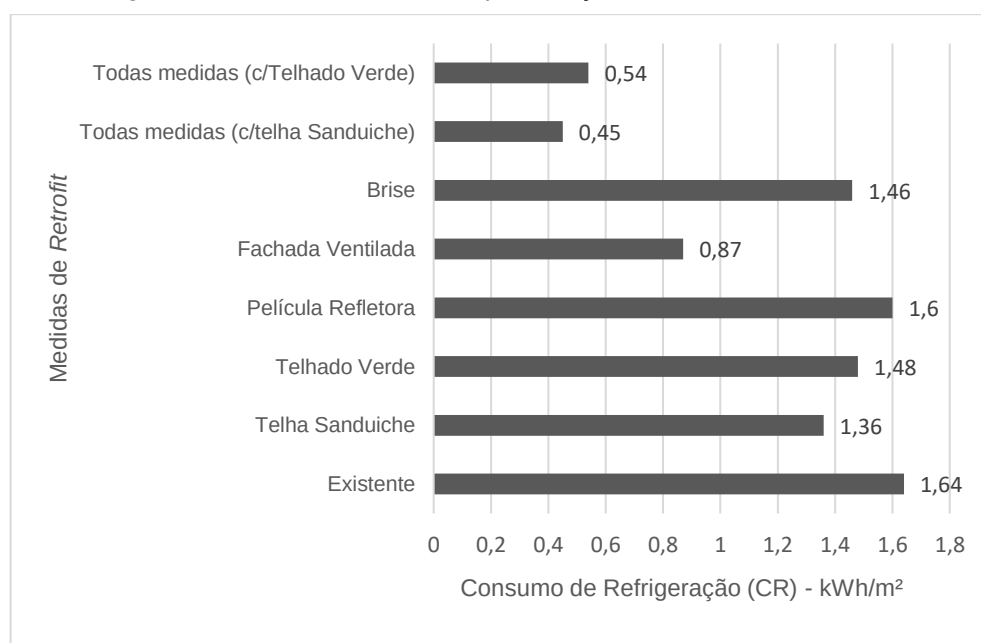


Nota: BRINQ = Brinquedoteca; BIBL.= Biblioteca; PED 2 = Pedagogo 2; VAR 2 = Vários (Circulação e pátios internos)

Fonte: Elaborado pela Autora

Já o consumo de refrigeração (CR) obteve a melhor condição com a fachada ventilada, seguido da telha sanduiche na cobertura. A instalação de brises nas fachadas norte e leste, obtiveram melhor desempenho comparado ao telhado verde (Figura 43).

Figura 43 - CR anual do CMEI após adoção das medidas de *retrofit*



Fonte: Elaborado pela Autora

Na condição em que todas as medidas de *retrofit* são adotadas juntas, a opção com telha sanduiche, mostrou-se mais vantajosa em relação ao consumo de refrigeração do que telhado verde, conforme observa-se na figura 43.

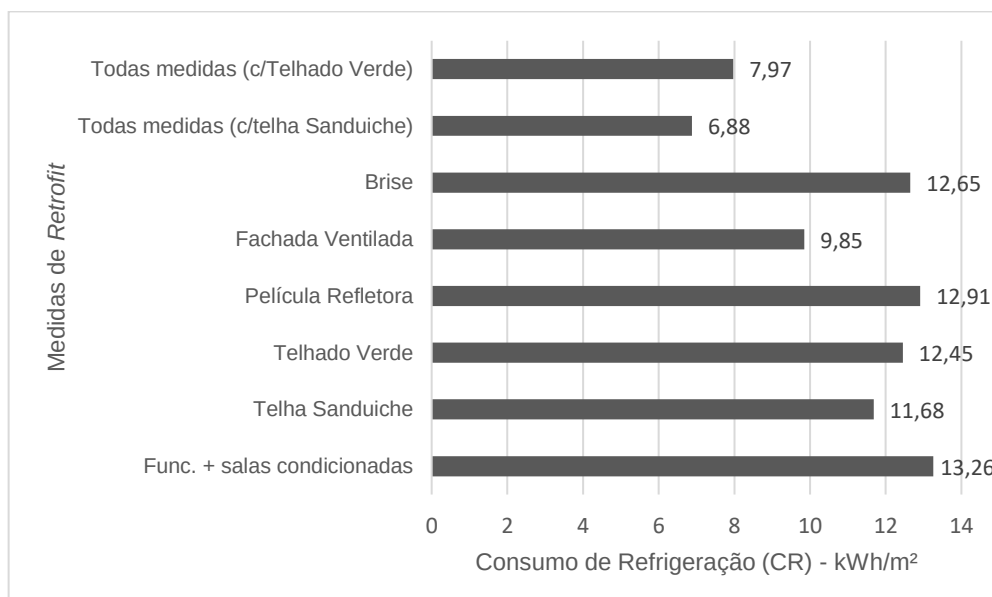
4.1.2 EDIFICAÇÃO FUNCIONANDO COM MAIS SALAS CONDICIONADAS

Optou-se ainda por simular a edificação no padrão original, com todas as salas de aula e administrativas condicionadas artificialmente, a fim de verificar como se comportariam os resultados de CR (figura 44) nas condições com e sem medidas de *retrofit*. O POC não se altera, vez que não se utiliza essa classificação para ambientes condicionados.

Verifica-se que o CR aumentaria cerca de oito vezes, se comparado ao CR da edificação existente (figura 43), representando um consumo de 27.965, 52 KW/h por ano para refrigeração, sem aplicação de nenhuma das medidas de *retrofit*.

A opção com todas as medidas de *retrofit* e telha sanduiche mostrou-se mais benéfica em termos de consumo, reduzindo o mesmo em 52%. A medida que isoladamente apresentou melhor resultado foi a fachada ventilada, representando uma economia de 26%.

Figura 44 - CR anual do CMEI funcionando com mais salas condicionadas



Fonte: Elaborado pela Autora

4.1.3 EDIFICAÇÃO FUNCIONANDO EM PERÍODO INTEGRAL

A unidade escolar funciona regularmente no período diurno, porém optou-se por testar a edificação em funcionamento incluindo o período noturno, afim de verificar a situação de conforto nos ambientes e consumos de energia.

Quanto a aferição de conforto, utilizou-se a classificação do POC de acordo com o RTQ-C e comparou-se também às medidas de *retrofit* utilizadas.

Pode-se perceber que o POC dos ambientes do pavimento térreo principalmente, os voltados para a fachada oeste, que recebe muito sol a tarde, sofrem alteração com a inclusão do período noturno de funcionamento: A sala de pedagogos, sala de professores e secretaria passam do nível C para B. Tal situação explica-se pela diminuição de temperatura a noite, resfriando as fachadas e cobertura. Já a grande maioria das salas de aula, permanecem na mesma categoria A, por estarem voltadas para a fachada leste (Figura 45).

Figura 45 - POC considerando funcionamento integral (Pavimento térreo)



Fonte: Elaborado pela Autora

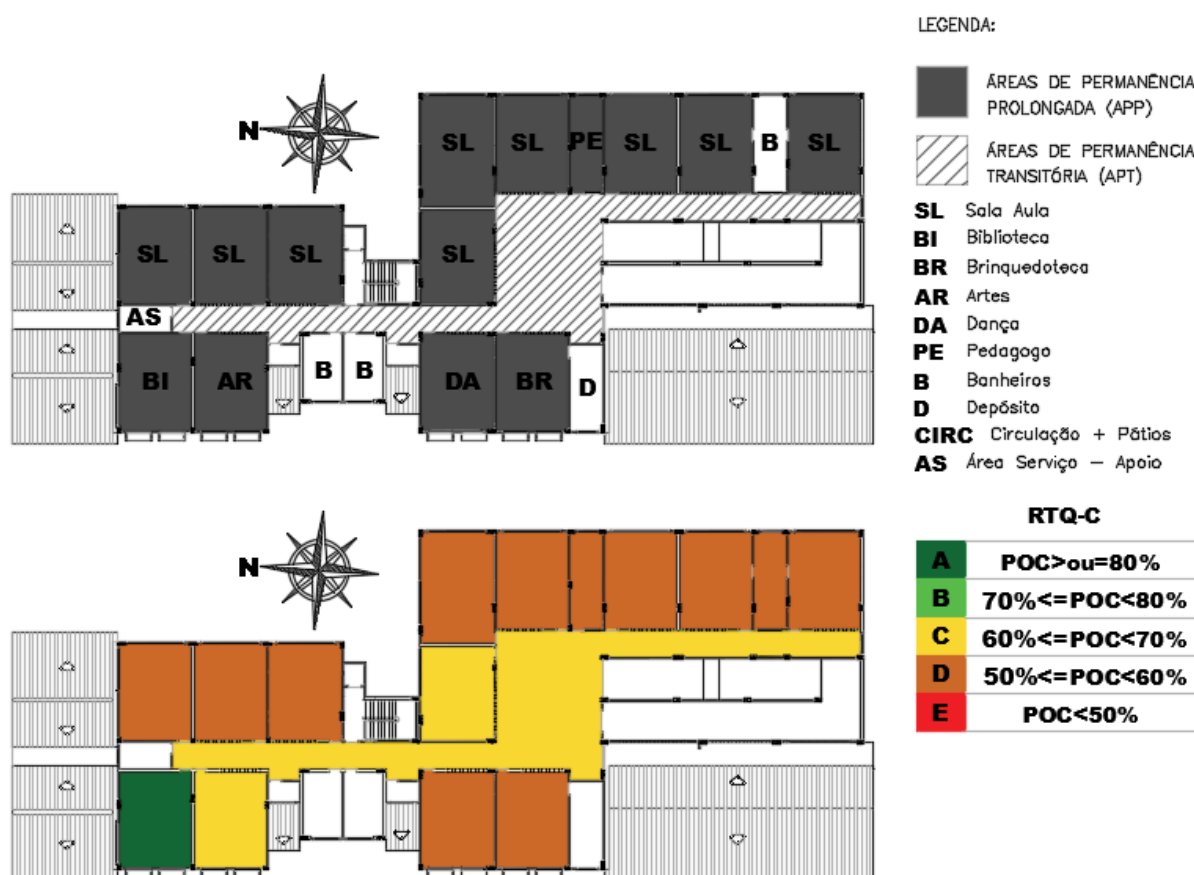
Pode-se perceber que o POC dos ambientes do pavimento superior (Figura 46) não sofrem tanta alteração com o aumento do funcionamento, apenas as salas de artes e grupo 6 subiram da categoria D para C, e a biblioteca, único ambiente condicionado foi de B para A.

Importante ressaltar que a variação percentual tanto a sala de artes quanto da sala do grupo 6, é muito pequena, ficando em 3%, o que não permite resultados conclusivos.

A sala de artes, apesar de estar localizada na fachada oeste, pode estar sendo influenciada pela sala da biblioteca ao lado, que é a única condicionada neste pavimento.

O POC não se aplica a ambientes condicionados, porém devido à proximidade aos demais ambientes pode influenciar sua classificação, por isso, este foi representado na imagem.

Figura 46 - POC considerando funcionamento integral (Pavimento Superior)

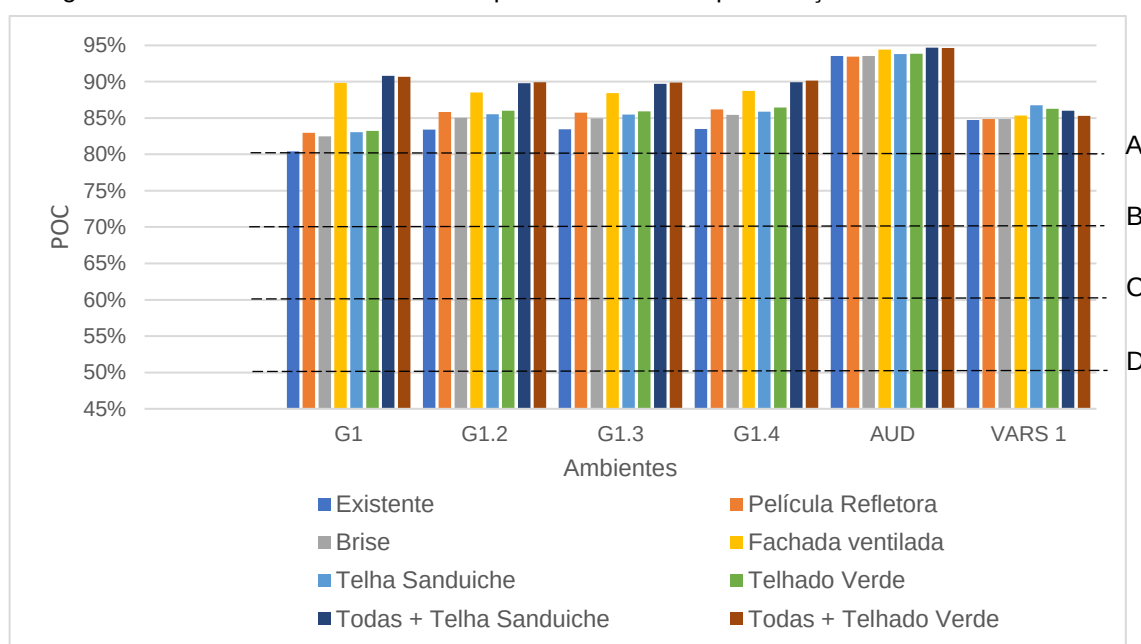


Fonte: Elaborado pela Autora

4.1.3.1 Análises após adoção das medidas de *retrofit*

Considerando o POC após as medidas de *retrofit* aplicadas separadamente, o melhor resultado nas salas de aula do pavimento térreo (Figura 47), ocorre com a instalação de fachada ventilada que classifica todas as salas no nível A, ou seja, estando o POC entre 85% e 90%. Porém deve-se considerar que qualquer das medidas já classificam estas salas no nível A.

Figura 47 - POC das salas de aula do pavimento térreo após adoção das medidas *retrofit*



Nota: G1 a G1.3 – Salas aula Grupo 1; AUD = Auditório; VARS 1 = Vários (Circulação e pátios internos)

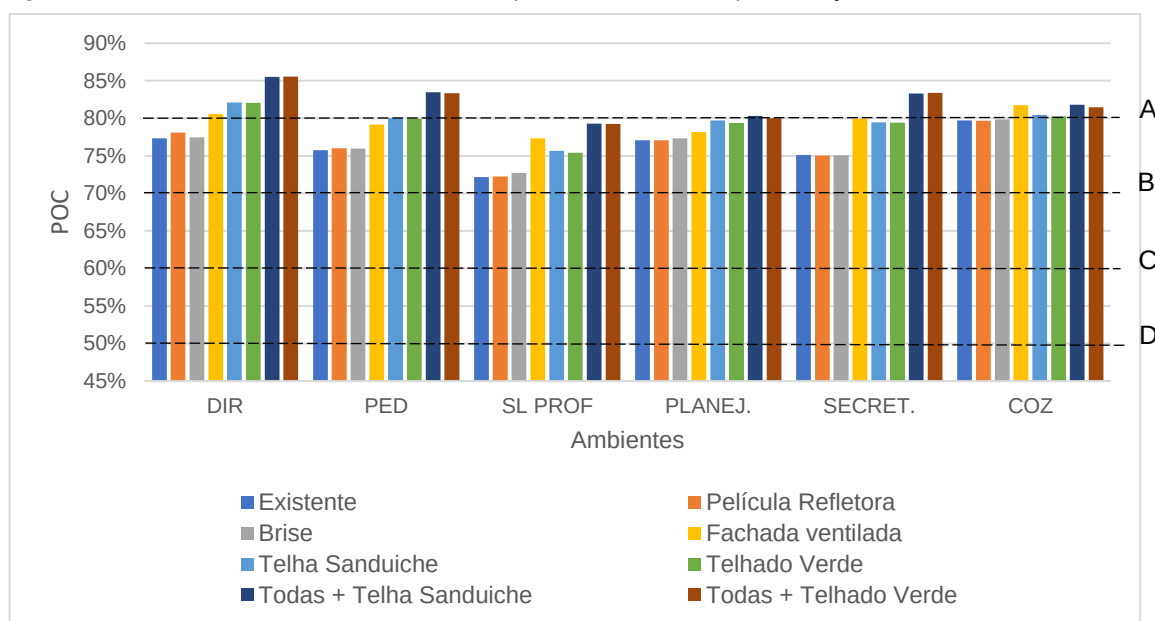
Fonte: Elaborado pela Autora

Quando as medidas de *retrofit* são analisadas juntas, o telhado verde tem desempenho similar a telha sanduiche, classificando as salas no nível A, com excelentes percentuais. Também é importante destacar que a troca da cobertura para telha sanduiche seria mais viável em termos de custo e manutenção.

Para as demais salas deste pavimento (Figura 48), a situação se mantém, sendo importante destacar que a sala de professores, é a única que não chega ao nível A, para quaisquer medidas de *retrofit* em separado. A secretaria só atinge o nível A com a fachada ventilada.

Já com as medidas de *retrofit* reunidas, apenas a sala de professores se mantém no nível B, possivelmente pela sua orientação também sul, mas como o índice de conforto fica em 79%, a variação é insignificante.

Figura 48 - POC dos demais ambientes do pavimento térreo após adoção das medidas de *retrofit*

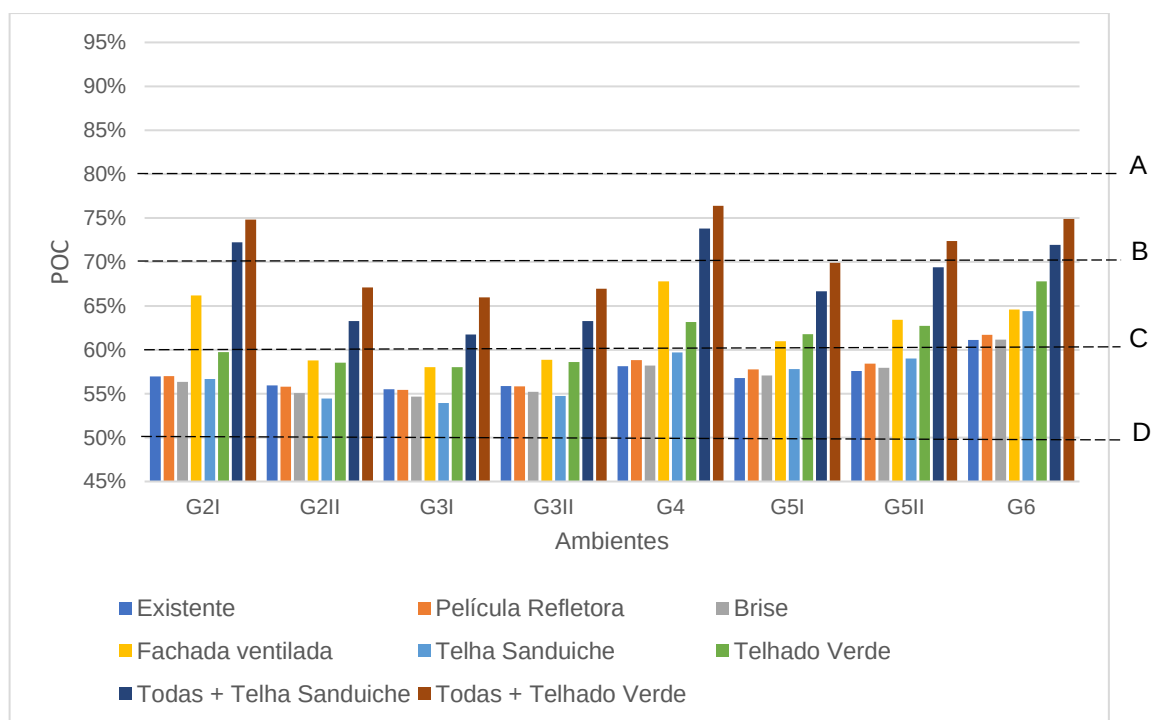


Nota: DIR = Direção; PED = Pedagogo; SL.PROF = Sala Professores; PLANEJ. = Planejamento; SECRET. = Secretaria; COZ= Cozinha

Fonte: Elaborado pela Autora

Para as salas do pavimento superior a situação muda completamente, pois este pavimento sofre ação direta do sol na cobertura, o que contribui para um menor percentual de conforto, estando a maioria das salas no nível D. (Figura 49 e 50)

Figura 49 - POC das salas de aula pavimento superior após adoção das medidas de *retrofit*



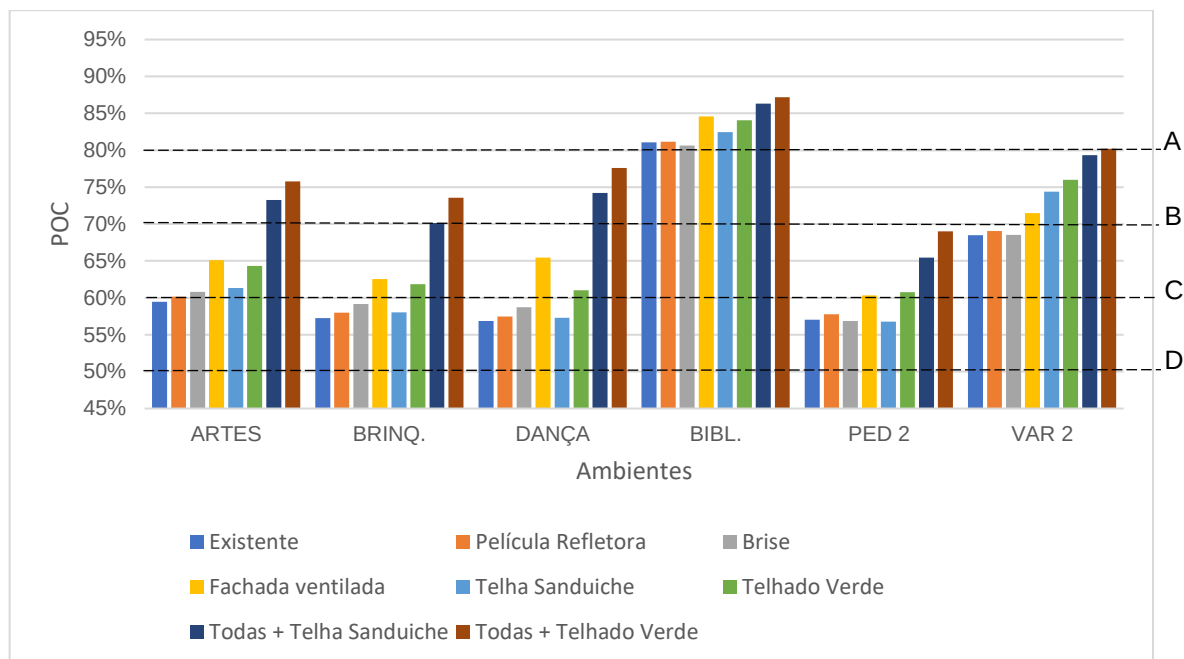
Nota: Salas de aula - G2 = Grupo 2; G3 = Grupo 3; G4= Grupo 4; G5= Grupo 5; G6= Grupo 6

Fonte: Elaborado pela Autora

Contudo, ao aplicar as medidas de *retrofit*, o POC dos ambientes é elevado ao nível B e C para grande parte das salas, quando todas as medidas são reunidas com a opção telhado verde e telha sanduiche.

Considerando as medidas de *retrofit* analisadas separadamente, apenas a instalação de fachada ventilada e telhado verde, conseguiu elevar o nível das salas para C.

Figura 50 - POC dos demais ambientes do pavimento superior após adoção das medidas de *retrofit*



Notas: BRINQ = Brinquedoteca; BIBL. = Biblioteca; PED 2 = Pedagogo 2; VAR 2 = Vários (Circulação e pátios internos)

Fonte: Elaborado pela Autora

Com a edificação funcionando nas mesmas condições físicas, e apenas ampliando seu turno de funcionamento, o consumo energético como um todo seria alterado. Desta forma, o tabela 8 demonstra a variação ocorrida após a realização do novo modelo de comparação.

Tabela 8 - Consumo de energia por categoria

Categoria	Edificação Existente (KWh)	Edificação Existente (KWh/m²)	Edificação Período integral (KWh)	Edificação Período integral (KWh/m²)
Resfriamento	3464,95	1,64	4.193,17	2,0
Iluminação	22618,18	10,72	29.931,81	14,2
Equipamentos	24686,78	11,71	34.389,60	16,30
Cocção	21.952,88	10,41	30.185,21	14,31
Total	72.722,79	34,49	98.699,79	46,81

Fonte: Elaborado pela Autora

Pode-se perceber que o consumo de energia da unidade escolar, cresce em 35% para atendimento do turno noturno, demandando cerca de 355.319,25 MJ/ano ou 355,30 GJ/ano.

Com as medidas de *retrofit* aplicadas, apenas o consumo de refrigeração sofre alteração, conforme demonstrado na figura 51.

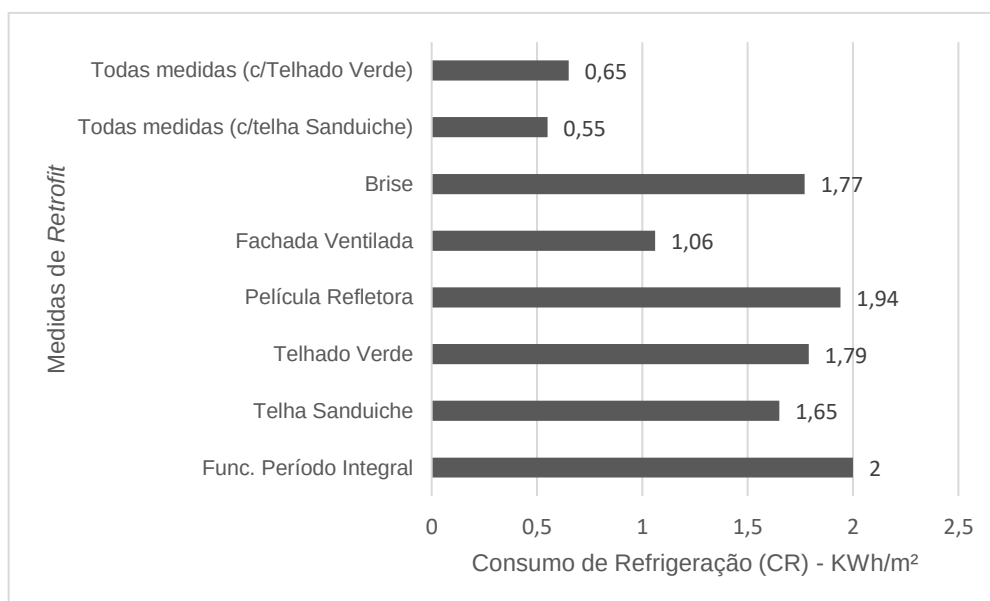
O aumento do consumo de refrigeração sobe 22% mantendo-se o condicionamento das salas de biblioteca, sala de planejamento e auditório.

Todas as medidas de *retrofit* resultaram na redução do CR. A fachada ventilada e telha sanduiche conseguiram reduzir o CR abaixo do CR da edificação funcionando apenas no período noturno. A telha sanduiche reduziu o CR em 17%, porém a fachada ventilada obteve desempenho muito superior, conseguindo reduzir o CR em 53%.

O telhado verde e brise obtiveram resultados similares, reduzindo o CR em aproximadamente 10%. Já a aplicação de película refletora nos vidros não representou uma redução significativa no CR.

Considerando todas as medidas de *retrofit* reunidas, a opção com telha sanduiche, mostrou-se mais vantajosa para economia no CR, reduzindo-o em 67%. O CR foi menor que a situação original (edificação funcionando apenas período diurno) em 60%.

Figura 51 - CR anual do CMEI em funcionamento período integral



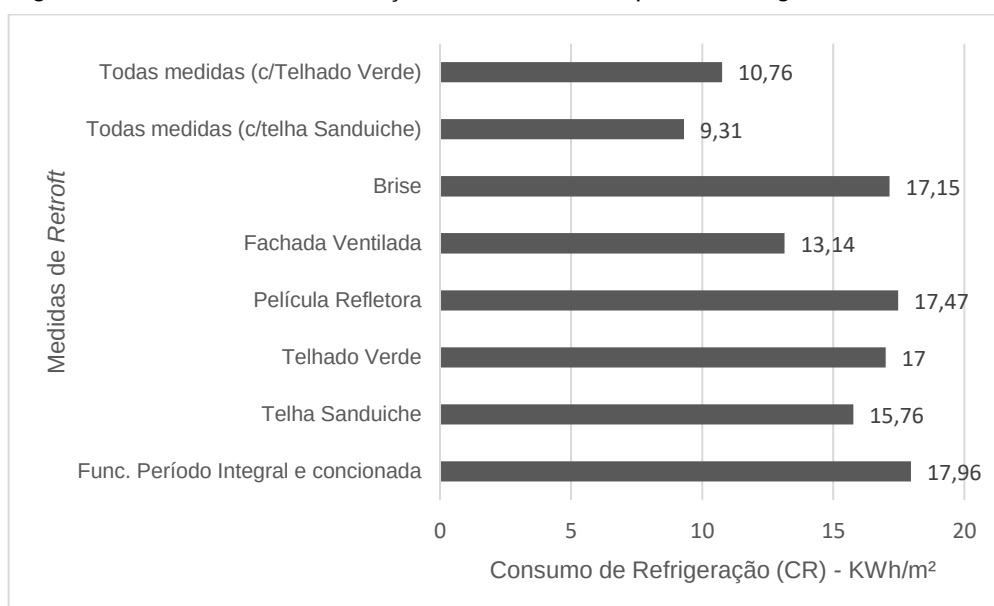
Fonte: Elaborado pela Autora

4.1.4 EDIFICAÇÃO FUNCIONANDO EM PERÍODO INTEGRAL E CONDICIONADA

Com a edificação funcionando em período integral e com as salas administrativa condicionadas, o POC não se altera, visto que não se utiliza essa classificação para ambientes condicionados.

Em relação às categorias de consumo, apenas o CR sofre alteração, vez que as condições físicas da edificação permanecem idênticas. Este cresce em 26% se compararmos à situação com mais salas condicionadas funcionando apenas no período diurno.

Figura 52 – CR anual da Edificação funcionando em período integral e condicionada



Fonte: Elaborado pela Autora

Todas as medidas de *retrofit* resultaram na redução do CR. Ao analisar as medidas separadamente a fachada ventilada e telha sanduiche apresentam os melhores resultados. Já o telhado verde e película refletora não representaram redução significativa no CR.

Considerando todas as medidas de *retrofit* reunidas, a opção com telha sanduiche, novamente apresenta-se mais vantajosa para economia no CR, reduzindo-o em 52%.

4.2 ENERGIA INCORPORADA

4.2.1 EDIFICAÇÃO EXISTENTE

A Tabela 9 apresenta os resultados de EI e CI do CMEI, considerando as quantidades necessárias para produção dos materiais, manutenção e desperdício. O total de energia e carbono incorporados por m² de área útil é de 7,71 GJ e 540,15 KgCO₂ respectivamente.

Tabela 9 - Energia Incorporada (MJ) e Carbono Incorporado (KgCO₂) do CMEI

MATERIAL	ENERGIA INCORPORADA (MJ)				CARBONO INCORPORADO - CI (KgCO ₂)			
	EII	EIR	EID	EI (TOTAL)	CII	CIR	CID	CI (TOTAL)
Concreto	4 075 263,78	-	367 061,85	4 442 325,63	299 935,34	-	27 015,39	326 950,72
Aço	1 634 714,41	95 220,01	172 993,44	1 902 927,86	123 005,26	-	12 759,72	135 764,98
Tijolo cerâmico	1 372 564,20	-	233 335,91	1 605 900,11	107 519,82	-	18 278,37	125 798,19
Tinta	237 335,40	1 473 394,20	273 716,74	1 984 446,34	15 769,79	99 411,32	18 428,98	133 610,08
Reboco+emboço+chapiso	739 086,60	-	155 119,40	894 206,00	53 992,49	-	11 331,94	65 324,43
Alumínio	226 772,70	226 772,70	-	453 545,40	9 877,31	9 877,31	-	19 754,62
PVC	403 642,40	403 642,40	161 456,96	968 741,76	21 211,41	21 211,41	8 484,56	50 907,38
Granito	40 176,00	40 176,00	13 659,84	94 011,84	2 812,32	2 812,32	956,19	6 580,83
Gesso (forro)	45 270,00	88 276,50	60 095,93	193 642,43	9 054,00	17 655,30	12 019,19	38 728,49
Cerâmica de revestimento	104 462,03	203 700,97	49 306,08	357 469,08	5 402,25	10 534,40	2 549,86	18 486,51
Piso granilite	123 003,72	239 857,25	65 314,98	428 175,95	9 371,71	18 274,84	4 976,38	32 622,93
Argamassa de assentamento	351 461,88	685 350,67	186 626,26	1 223 438,80	26 926,20	52 506,09	14 297,81	93 730,09
Madeira (portas+cob)	364 282,50	461 100,00	99 603,00	924 985,50	16 402,60	23 113,12	4 249,73	43 765,44
Telha cerâmica	151 335,00	151 335,00	30 267,00	332 937,00	11 910,40	11 910,40	2 382,08	26 202,88
Vidro	80 012,50	80 012,50	-	160 025,00	3 857,40	3 857,40	-	7 714,81
Metais para instalações	120 368,61	120 368,61	59 997,22	300 734,44	5 100,60	5 100,60	2 537,53	12 738,73
TOTAL	10 069 751,73	4 269 206,80	1 928 554,60	16 267 513,14	722 148,90	276 264,50	140 267,72	1 138 681,12
TOTAL / m²	4 776,70	2 025,14	914,83	7 716,67	342,56	131,05	66,54	540,15

Fonte: Elaborado pela Autora

A Figura 53 apresenta a EII, EIR e EID dos materiais construtivos que compõem o CMEI. Grande parte da EI estão concentrados no concreto, aço e tijolo cerâmico, que somados representam 43,5% do total de EI de toda a edificação. A energia incorporada recorrente (EIR), necessária à manutenção e reposição dos materiais, representa 26% de toda a EI do edifício.

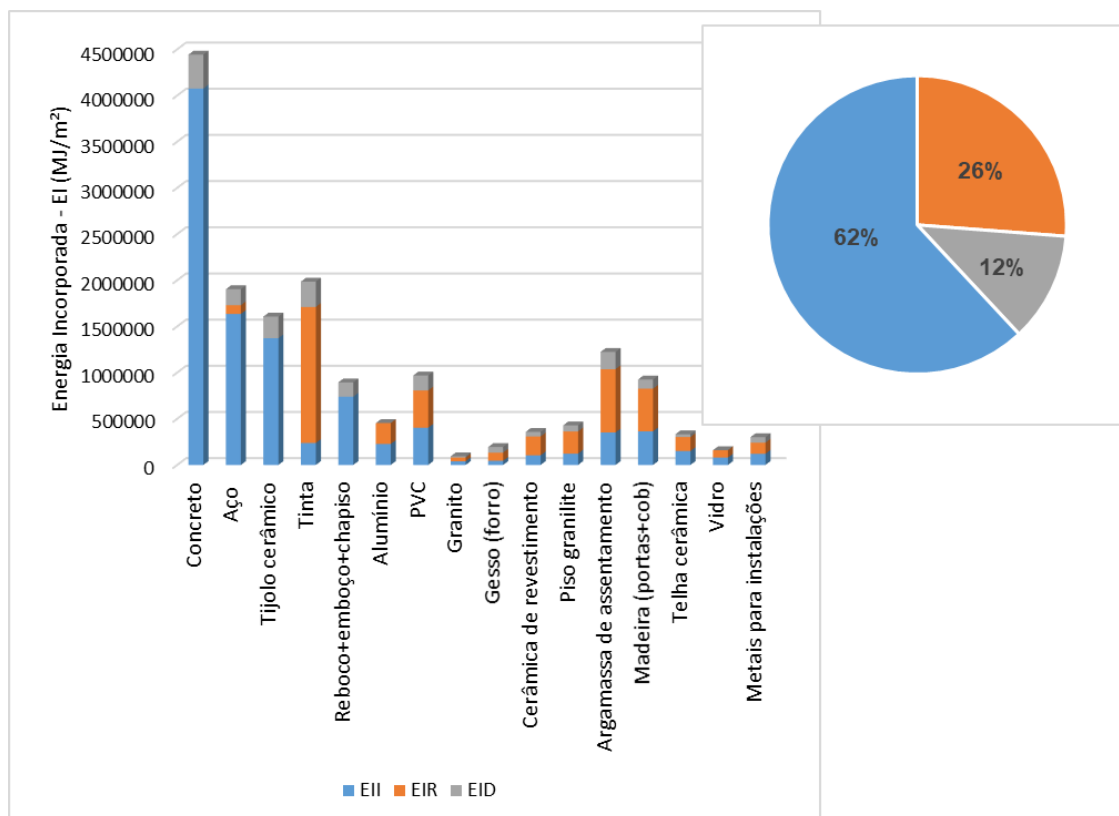
A tinta é o material que mais acumula EIR, já que o serviço de pintura é realizado diversas vezes ao longo do ciclo de vida do edifício.

O desperdício representa 12% do total de EI, sendo que, desse total, 60% estão associadas ao concreto (27%), aço e tinta (12% cada) e tijolo cerâmico (10%).

Esses resultados corroboram com pesquisa de Devi e Palaniappan (2014) que ao analisar diversos cenários de eficiência energética de edificações típicas indianas, apontam o concreto e aço como materiais que mais contribuíram para o consumo de EI. Assim como Paulsen e Sposto (2013), que ao avaliar o ciclo de vida energético

de uma edificação habitacional no Brasil, apontam grande consumo energético para tintas, sobretudo em função da manutenção.

Figura 53 - Energia Incorporada do CMEI



Fonte: Elaborado pela Autora

A pesquisa de Sombrio (2015), para uma edificação habitacional demonstra igualmente uma maior participação do concreto nos impactos produzidos na fabricação dos materiais, apontando necessidade de se buscar opções alternativas para minimizá-los.

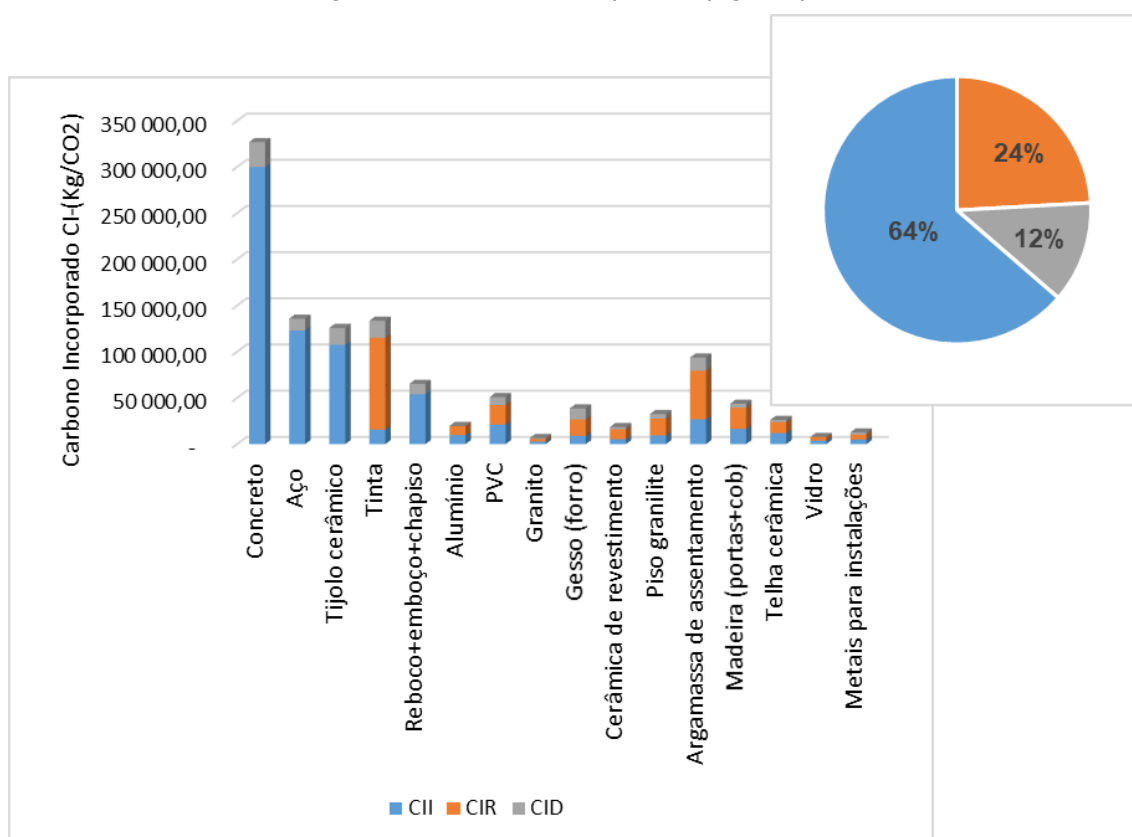
Os valores de EI aqui encontrados mostram-se similares em relação às pesquisas internacionais. Dixit *et al.* (2010) encontraram uma média de EI correspondente a 5,5 GJ/m² para edificações residenciais, com desvio padrão de 1,56 GJ/m², e para edificações comerciais de 9,19GJ/m² e desvio padrão de 5,4GJ/m², denotando maior variabilidade para as edificações comerciais. Essa diferença ocorre principalmente pela variação de materiais e sistemas construtivos empregados nessas edificações se comparadas as edificações brasileiras.

Em pesquisas no Brasil, foram encontrados valores aproximados aos encontrados neste estudo, a exemplo de Sartori (2018) que alcançou um valor de EI 7,8GJ/m², para prédios residenciais. Outros como Paulsen e Sposto (2012) alcançaram um

valor igual a 7,6 GJ/m² para uma residência unifamiliar típica do Programa Minha Casa Minha Vida e Tavares (2006) observou valores na mesma ordem de grandeza, atingindo uma média de 7,0 GJ/m².

A Figura 54 apresenta o CII, CIR e CID dos materiais construtivos que compõem o CMEI. Nota-se que o gráfico segue a mesma tendência do consumo de energia. Concreto, aço e tijolo participam de 52% de todo o CI.

Figura 54 - Carbono Incorporado (Kg/CO₂) do CMEI



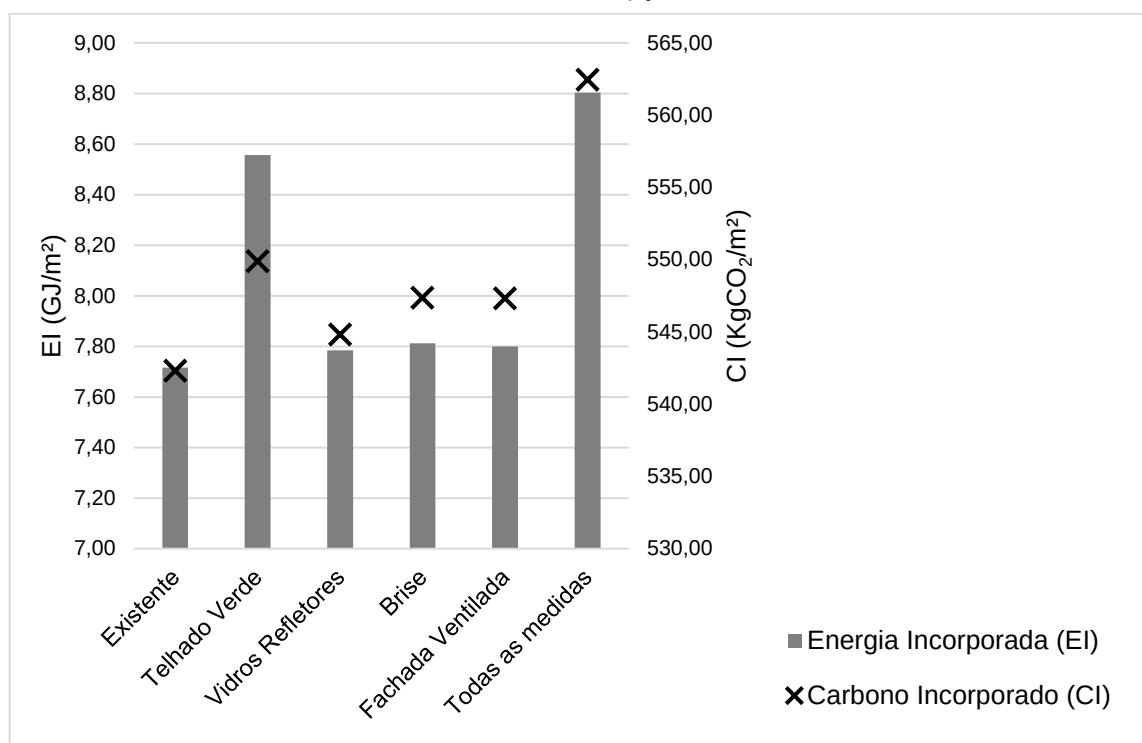
Fonte: Elaborado pela Autora

Em pesquisa similar, com relação ao consumo de CO₂ Sartori (2018), encontrou valores de 492kgCO₂/m², aproximados aos valores deste estudo com 540KgCO₂/m².

4.2.1.1 Análises após adoção das medidas de *retrofit*

A Figura 55 e 56 apresentam os valores de Energia Incorporada (EI) e Carbono Incorporado (CI) do CMEI existente e após a adoção das medidas de *retrofit*, com as opções telhado verde e cobertura metálica sanduiche respectivamente. Ambas as medidas proporcionaram um acréscimo na EI e CI, especialmente no telhado verde e telha sanduiche.

Figura 55 - Gráfico comparativo de EI e CI da edificação existente, as medidas de *retrofit* e todas as medidas reunidas com a opção telhado verde



Fonte: Elaborado pela Autora

Após a adoção do telhado verde, o total de EI passou de 7,72 GJ/m² para 8,56 GJ/m², se comparado à edificação existente. Grande parte desse acréscimo deve-se à Energia Incorporada Recorrente (EIR) necessária à manutenção do sistema. Além disso, o volume de material por m² para a instalação desse material é maior se comparado à fachada, pelo caráter de horizontalidade da edificação escolar.

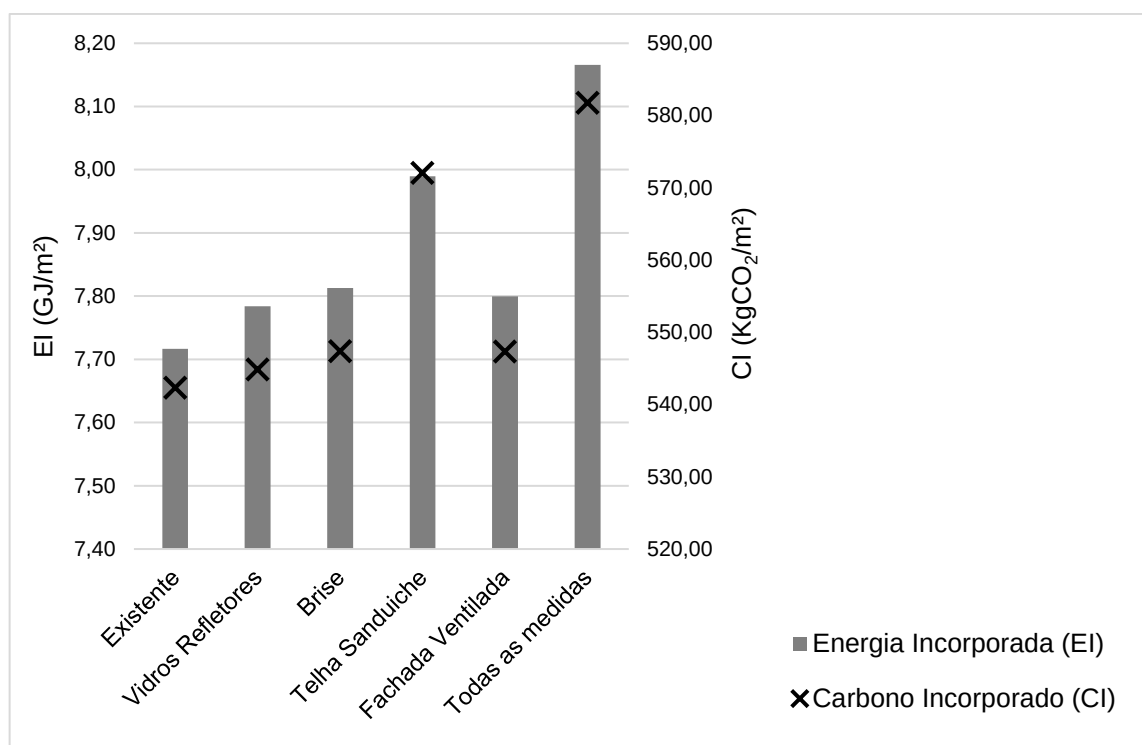
Já a telha sanduiche, elevou a EI da edificação existente para 7,72 GJ/m², bem próximo do resultado da fachada ventilada, com 7,8GJ/m². Esses dois sistemas, possuem VUP igual ao do edifício, ou seja, não necessitam de grandes manutenções ou reposição de materiais ao longo da sua vida útil, assim como, as perdas também são reduzidas pelo caráter industrializado de ambos.

A instalação de película refletora nos vidros, bem como o sombreamento das aberturas com brises de pvc representaram um acréscimo de aproximadamente 1% na EI da edificação existente.

Ao aplicar todas as medidas de *retrofit* com a opção telhado verde, o CMEI apresentou valores de EI e CI iguais a 8,8 GJ/m² e 562,45 KgCO₂/m² respectivamente. Esses valores representam um acréscimo de 14% na EI e 3,7% no CI.

Já ao aplicar todas as medidas de *retrofit* com a opção telha sanduiche, o CMEI apresentou valores de EI e CI iguais a 8,17 GJ/m² e 581,75 KgCO₂/m² respectivamente. Esses valores representam um acréscimo de 5,8% na EI e 7,2% no CI. (figura 56)

Figura 56 - Gráfico comparativo de EI e CI da edificação existente, as medidas de *retrofit* e todas as medidas reunidas com a opção telha sanduiche



Fonte: Elaborado pela Autora

A energia incorporada não é afetada por nenhuma das análises de sensibilidade realizadas, tanto para consumo energético, quanto em emissões de CO₂.

Ao compararmos os resultados com pesquisas referenciadas neste trabalho, Ardente *et. al.* (2011), ao apresentar os resultados de ACVE de ações de *retrofit* implementadas em 6 edificações públicas, também concluíram que o isolamento térmico tanto de cobertura quando de fachadas, contribuíram para a economia de energia.

4.3 ENERGIA OPERACIONAL

4.3.1 EDIFICAÇÃO EXISTENTE

A Tabela 10 apresenta os valores de consumo de energia na etapa de operação do CMEI (50 anos), separados por categorias: equipamentos, iluminação, ar condicionado e cocção.

O total de energia primária e emissões de CO₂ resultantes desse consumo é de 9 GJ/m² e 277,5 KgCO₂/m² respectivamente.

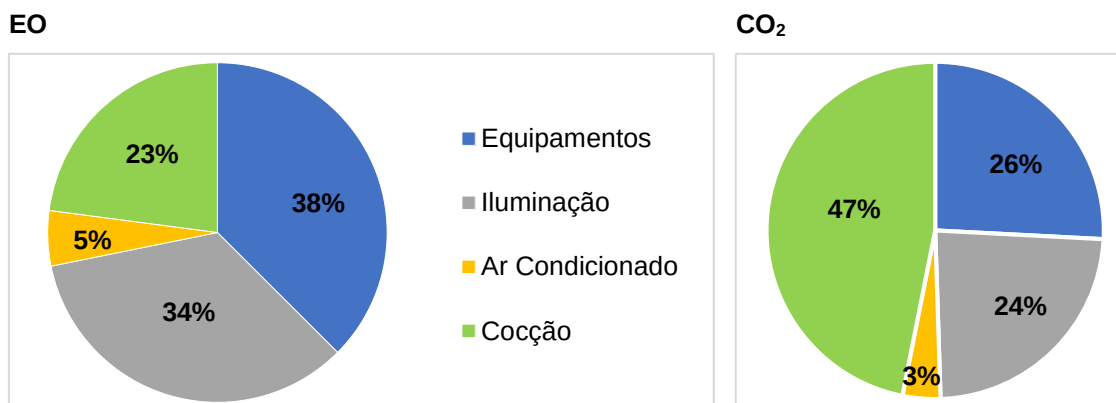
De acordo com a Figura 57, os equipamentos são responsáveis por 38% da energia consumida, seguida pela iluminação com 34%, cocção 23% e ar condicionado 5%. O ar condicionado é pouco representativo, já que grande parte dos ambientes da unidade escolar não possuem aparelho de ar condicionado. Em termos de emissões de CO₂, o gás GLP utilizado na cocção dos alimentos representa 47% do total de emissões, seguido dos equipamentos com 26%, iluminação com 24% e ar condicionado com 3%.

Tabela 10 - EO e emissões de carbono da edificação existente

Categoria	EO (KWh)	EO (MJ)	Emissão de CO ₂ (KgCO ₂)
Iluminação	1.809.454,40	6.514.035,84	138.423,26
Refrigeração	277.196,00	997.905,60	21.205,49
Equipamentos	1.974.942,40	7.109.792,64	151.083,09
Cocção	1.207.408,40	4.346.670,24	274.274,89
Total	5.269.001,2	18.968.404,32	584.986,73
Total/m²	2.499,41	8.997,87	277,49

Fonte: Elaborado pela Autora

Figura 57 - Participação das categorias de consumo de EO e emissões de CO₂ da edificação existente



Fonte: Elaborado pela Autora

Resultados quase que em dobro com relação a EO foram encontrados na pesquisa de Sartori (2018), para habitação multifamiliar com características construtivas similares a edificação estudada. A autora encontrou valor de 14GJ/m^2 e emissões de CO_2 de $426\text{ KgCO}_2/\text{m}^2$. Essa diferença se explica em função do tempo de ocupação de ambas as edificações, assim como o fator de uso tanto de equipamentos, iluminação, cocção, ar condicionado e principalmente aquecimento de água, este último não significativo no CMEI visto que as crianças não tomam banho na escola. Para o edifício residencial os equipamentos são os que mais impactam seguindo a mesma tendência do edifício escolar. Já a iluminação representa um percentual de 34% para o edifício escolar enquanto que apenas 12% para o residencial. A cocção apresenta participação similar na EO em ambos os usos, porém a unidade escolar a energia para refrigeração é menor que no uso residencial, pois a creche possui apenas 3 salas condicionadas, que não funcionam todo o período de utilização. Ramesh, Prakash e Shukla (2012), também evidenciaram que a iluminação de edifícios comerciais é um dos fatores que mais impactam a energia operacional de edifícios comerciais em comparação aos residenciais. Apresentam uma EO de 150 a 400KWh/m^2 ($0,54\text{GJ/m}^2$ a $1,44\text{GJ/m}^2$) por ano para edificações residenciais e de 250 a 500KWh/m^2 ($0,9\text{GJ/m}^2$ a $1,8\text{GJ/m}^2$) para as comerciais.

4.3.1.1 Análises após adoção das medidas de *retrofit*

A Figura 58 apresenta o gráfico comparativo de EO e emissões de CO_2 na etapa de operação. De maneira geral, todas as medidas proporcionaram redução no consumo. A medida menos expressiva foram os vidros refletos, reduzindo o consumo de energia em menos de 1%, seguido do telhado verde e brises.

O telhado verde reduziu o consumo energético em aproximadamente 1%, já que apenas os ambientes do último pavimento são realmente influenciados por essa medida. O mesmo aconteceu com a telha sanduiche.

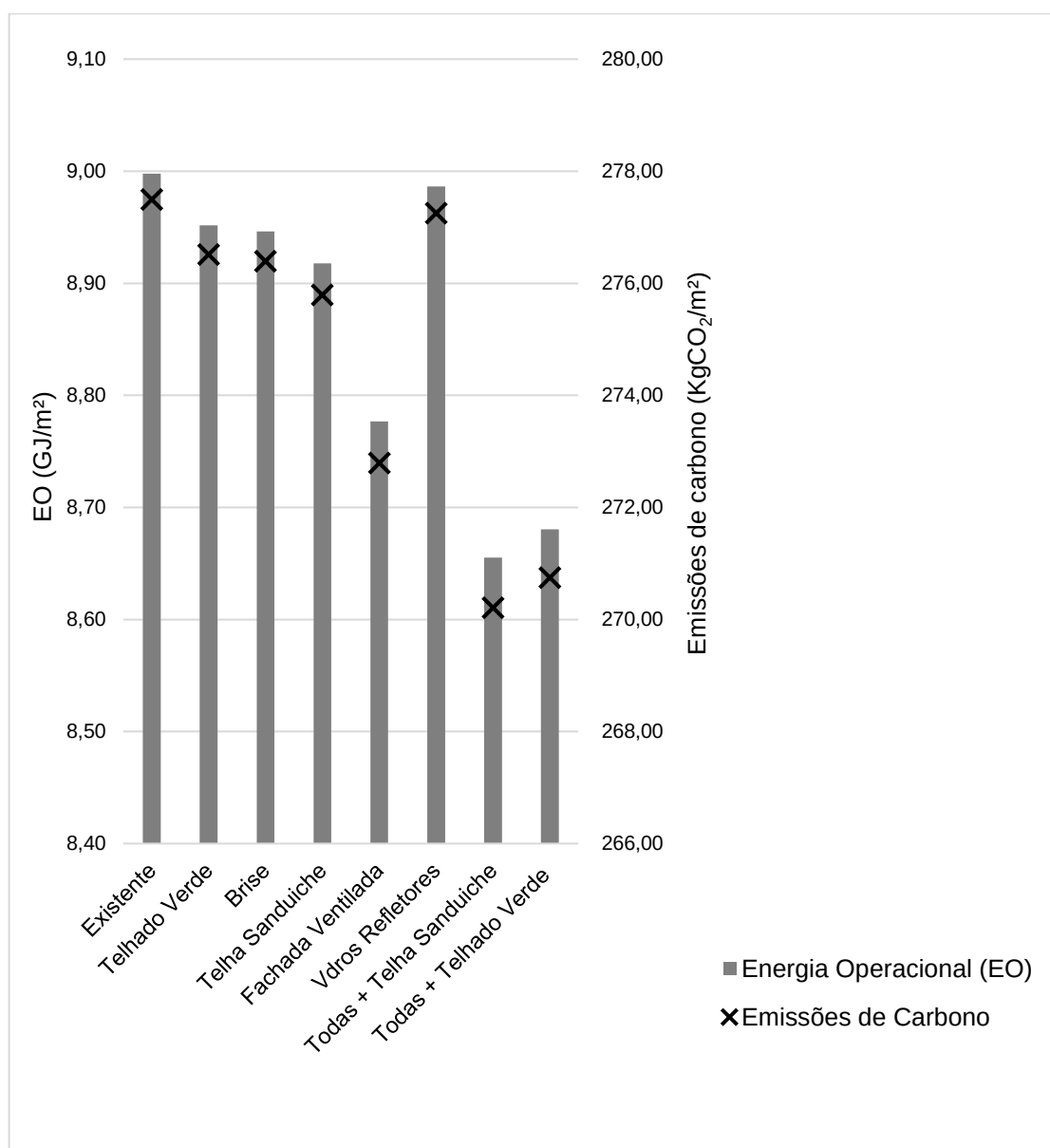
Na fachada ventilada essa redução foi de aproximadamente 2,5% no consumo energético e de quase 2% quanto às emissões de CO_2 .

Contudo, a aplicação de todas as medidas de *retrofit* com a telha sanduiche se tornou a melhor opção. A EO reduziu de 9 GJ/m^2 do edifício existente para $8,66\text{ GJ/m}^2$. Porém pode-se dizer que a performance da aplicação de todas as medidas reunidas com a opção telhado verde, foi similar, já que a EO foi reduzida para $8,68\text{ GJ/m}^2$.

Os resultados encontrados são pouco significativos em termos de valores, pois o cenário de consumo de iluminação, cocção e equipamentos não se modifica com a implantação das medidas de *retrofit*. A única energia que varia é a de consumo de refrigeração, que não é significativa, pois o CMEI possui apenas 3 salas condicionadas.

Dessa forma, optou-se por realizar análises de sensibilidade, pautadas na eventual necessidade da unidade escolar usar ar condicionado em todas as salas de aula e administrativas e ainda funcionar no período noturno, para outras atividades voltadas ao ensino.

Figura 58 - Gráfico comparativo de EO e emissões de CO₂ da edificação existente e após adoção das medidas de *retrofit*



Fonte: Elaborado pela Autora

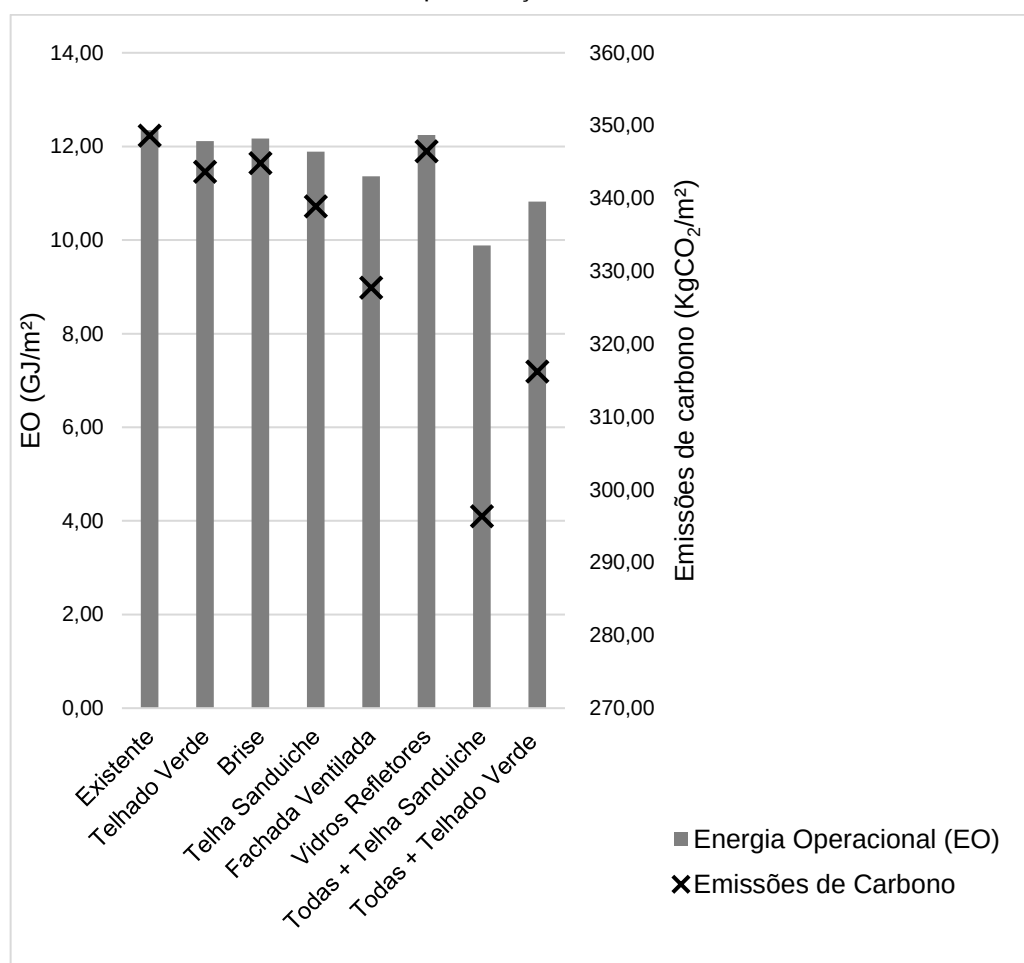
4.3.2 EDIFICAÇÃO FUNCIONANDO COM MAIS SALAS CONDICIONADAS

Com a edificação existente, funcionando com mais salas de aula e administrativas condicionadas, os resultados mostram-se similares quanto às medidas, quando ocorre um aumento do consumo de ar refrigerado (figura 59).

Considerando cada medida de *retrofit* analisada em separado, a fachada ventilada se mostra mais eficiente, trazendo uma redução no consumo de energia de 12,35MJ/m² para 11,36 MJ/m² e no consumo de CO₂ de 348,62KgCO₂ para 327,76KgCO₂.

Considerando todas as medidas de *retrofit* reunidas com a opção de cobertura em telha sanduiche, a redução se dá na ordem de 20% para energia e 15% para CO₂, ou seja, a EO reduz para 9,89 MJ/m² e o CO₂ para 296,38 KgCO₂.

Figura 59 - Gráfico comparativo de EO e emissões de CO₂ da edificação com mais salas condicionadas e após adoção das medidas de *retrofit*



Fonte: Elaborado pela Autora

Os estudos de Ramesh, Prakash e Shukla (2012), corroboram com o fato do isolamento térmico aplicado a cobertura contribuir para a redução da EO.

4.3.3 EDIFICAÇÃO FUNCIONANDO EM PERÍODO INTEGRAL

A Tabela 11 apresenta os valores de consumo de energia na etapa de operação do CMEI (50 anos), separados por categorias: equipamentos, iluminação, ar condicionado e cocção, no caso de funcionamento integral da edificação.

O total de energia primária e emissões de CO₂ resultantes desse consumo é de 11,5 GJ/m² e 356,80 KgCO₂/m² respectivamente.

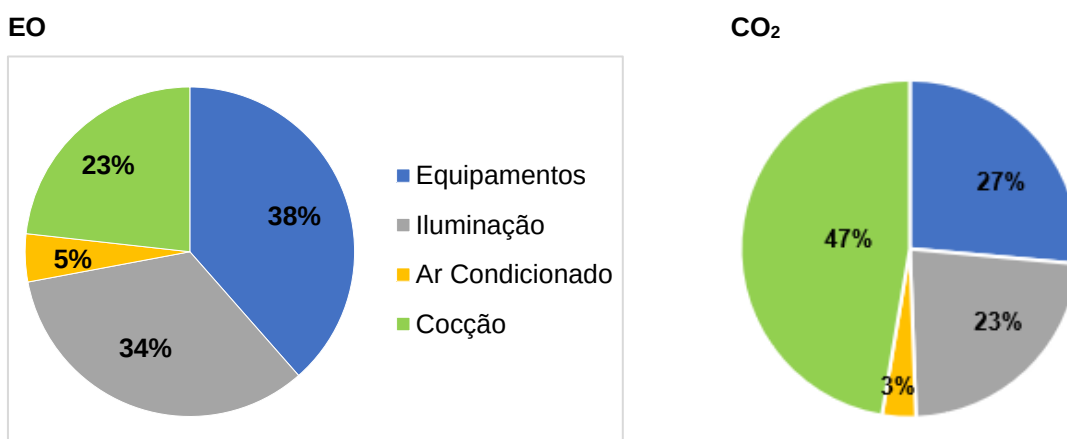
De acordo com a Figura 60, os equipamentos são responsáveis por 38% da energia consumida, seguida pela iluminação com 34%, cocção 23% e ar condicionado 5%. O ar condicionado é pouco representativo, já que grande parte dos ambientes da unidade escolar não possuem aparelho de ar condicionado. Em termos de emissões de CO₂, o gás GLP utilizado na cocção dos alimentos representa 47% do total de emissões, seguido dos equipamentos com 27%, iluminação com 23% e ar condicionado com 3%. Percebe-se que as proporções se mantêm tanto para a edificação funcionando em período integral, quanto para apenas o período diurno.

Tabela 11 - EO e emissões de carbono da edificação funcionando em período integral

Categoria	EO (KWh)	EO (MJ)	Emissão de CO ₂ (KgCO ₂)
Iluminação	2.394.544,80	8 141 452,32	173 005,86
Refrigeração	335.453,60	1 140 542,24	24 236,52
Equipamentos	2.751.168,00	9 353 971,20	198 771,89
Cocção	1.660.186,55	5 644 634,27	356 176,42
Total	7.141.352,95	24.280.600,03	752.190,69
Total/m²	3.387,57	11.517,76	356,81

Fonte: Elaborado pela Autora

Figura 60 - Participação das categorias de consumo de EO e emissões de CO₂ da edificação funcionando em período integral



Fonte: Elaborado pela Autora

Percebe-se ainda que os resultados com o funcionamento integral do CMEI aproximam-se dos resultados em relação a EO encontrados na pesquisa de Sartori (2018), que como mencionado anteriormente foram para uma edificação residencial de área similar e mesmo padrão construtivo, 14GJ/m² em EO e 426 KgCO₂/m², nas emissões de CO₂.

4.3.3.1 Análises após adoção das medidas de *retrofit*

A Figura 61 apresenta o gráfico comparativo de EO e emissões de CO₂ na etapa de operação. De maneira geral, todas as medidas proporcionaram redução no consumo, tanto de energia quanto de CO₂. A medida menos expressiva foi o vidro refletor, reduzindo o consumo de energia em menos de 1%, seguido do telhado verde e brises.

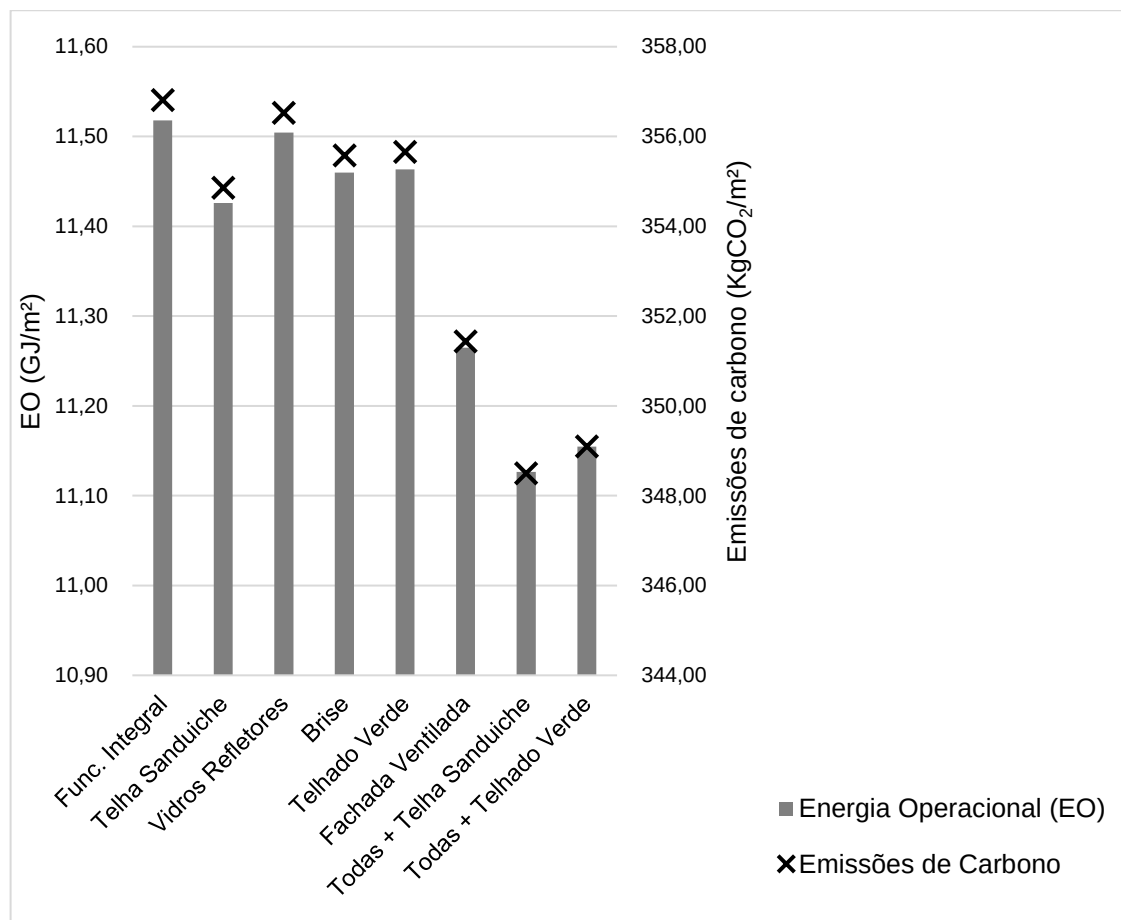
O telhado verde e telha sanduiche reduziram o consumo energético em aproximadamente 1%, já que apenas os ambientes do último pavimento são realmente influenciados por essa medida.

A fachada ventilada teve uma performance melhor tanto em termos de redução do consumo energético, quanto de emissões de CO₂, reduzindo respectivamente em 2,2% e 1,5%.

Novamente, a aplicação de todas as medidas de *retrofit* com a cobertura sanduiche se tornou a melhor opção. A EO reduziu de 11,5 GJ/m² do edifício existente para 11,13 GJ/m². Porém pode-se dizer que a performance da aplicação de todas as medidas com a opção telhado verde, foi similar, já que a EO foi reduzida para 11,15 GJ/m².

Os resultados encontrados não se mostram ainda significativos em termos de valores, pois o cenário de consumo de iluminação, cocção e equipamentos não se modifica com a implantação das medidas de *retrofit*. A única energia que varia é a de consumo de refrigeração, que não é significativa, pois o CMEI possui apenas 3 salas condicionadas.

Figura 61 - Gráfico comparativo de EO e emissões de CO₂ da edificação funcionando em período integral e após adoção das medidas de *retrofit*



Fonte: Elaborado pela Autora

4.3.4 EDIFICAÇÃO FUNCIONANDO EM PERÍODO INTEGRAL E CONDICIONADA

Já com o CMEI funcionando em período integral e com suas salas de aula e administrativas condicionas essa realidade se altera, sofrendo significativa mudança o consumo de ar condicionado (tabela 12).

Tabela 12 - EO e emissões de carbono da edificação funcionando em período integral e condicionada

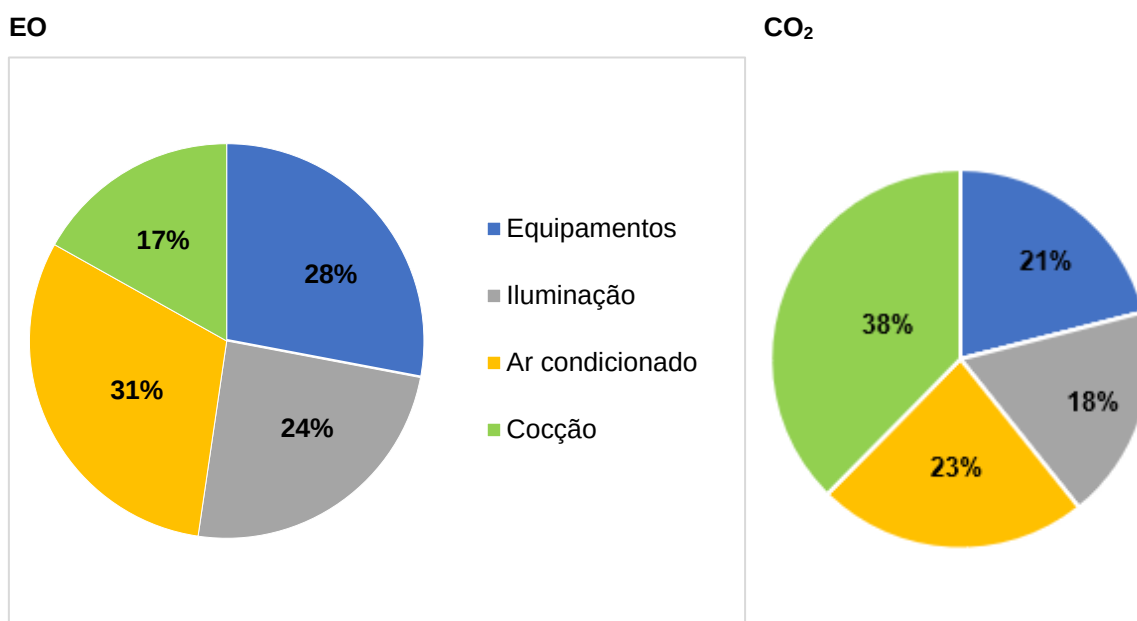
Categoria	EO (KWh)	EO (MJ)	Emissão de CO ₂ (KgCO ₂)
Iluminação	2 394 544,80	8 141 452,32	173 005,86
Refrigeração	3 029 409,60	10 905 875	231 749,83
Equipamentos	2 751 168,00	9 353 971,20	198 771,89
Cocção	1 660 186,55	5 644 634,27	356 176,42
Total	9.835.308,95	35.407.112,22	1.002.524,84
Total/m²	4.665,48	16.795,75	475,56

Fonte: Elaborado pela Autora

O total de energia primária e emissões de CO₂ resultantes desse consumo é de 16,8 GJ/m² e 475,56 KgCO₂/m² respectivamente.

De acordo com a Figura 62, o ar condicionado é responsável por 31% da energia consumida, seguida pelos equipamentos com 28%, iluminação 24%, e cocção com 17%.

Figura 62 - Participação das categorias de consumo de EO e emissões de CO₂ da edificação funcionando em período integral e condicionada



Fonte: Elaborado pela Autora

Em termos de emissões de CO₂, o gás GLP utilizado na cocção dos alimentos representa 38% do total de emissões, seguido ar condicionado com 23%, equipamentos 21% e iluminação com 18%.

4.3.4.1 Análises após adoção das medidas de *retrofit*

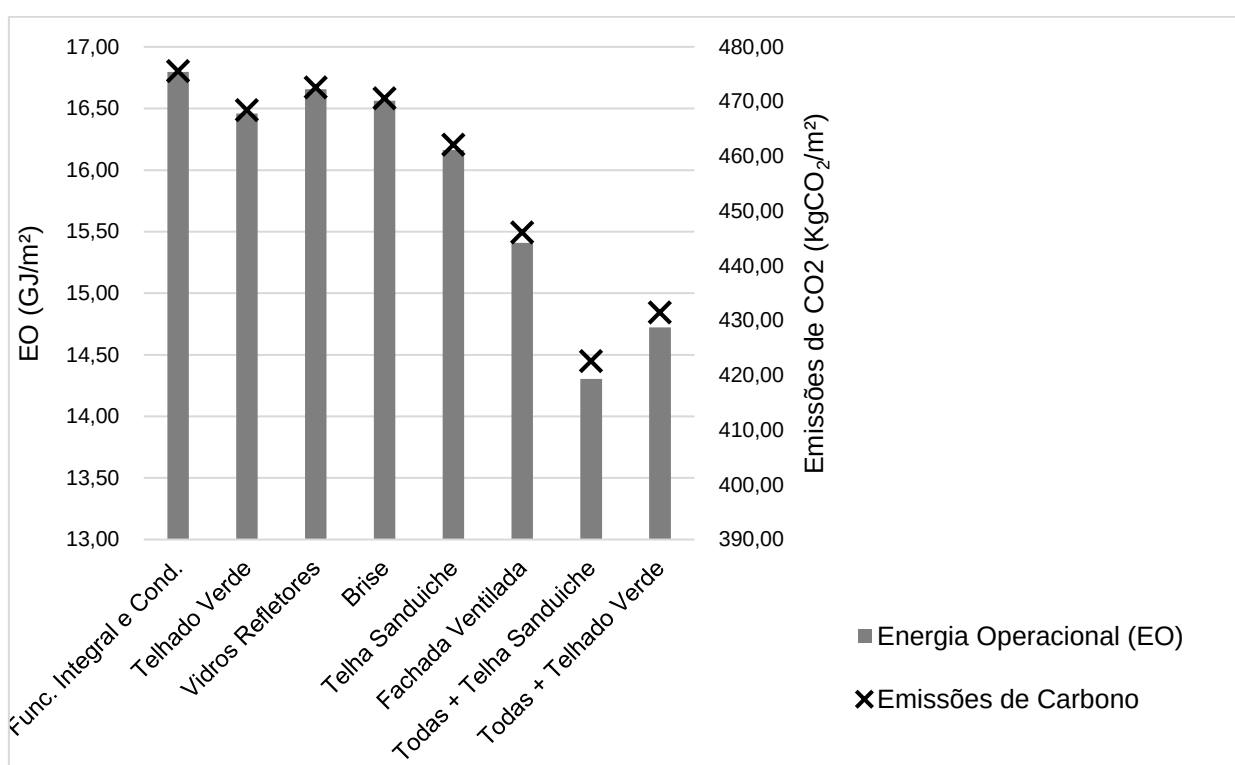
A Figura 63 apresenta o gráfico comparativo de EO e emissões de CO₂ na etapa de operação. De maneira geral, todas as medidas proporcionaram redução, tanto no consumo de energia, quanto emissões de CO₂. A medida menos expressiva foi novamente o vidro refletor, reduzindo o consumo de energia em menos de 1%, seguido dos brises.

O telhado verde reduziu o consumo energético em aproximadamente 2%, e a telha sanduiche em 4%.

A fachada ventilada teve uma performance melhor tanto em termos de redução do consumo energético, quanto de emissões de CO₂, reduzindo energia em 8,2% e CO₂ em 6%.

A aplicação de todas as medidas de *retrofit* com a cobertura sanduiche continuou a apresentar melhor performance. A EO reduziu de 16,80 GJ/m² para 14,30GJ/m², o que representa 15% de redução. Então pode-se afirmar que tem rendimento 25% melhor que a aplicação de todas as medidas com a opção telhado verde que obteve 12% de redução.

Figura 63 - Gráfico comparativo de EO e emissões de CO₂ da edificação funcionando em período integral e condicionada e após adoção de medidas de *retrofit*



Fonte: Elaborado pela Autora

4.4 ENERGIA NO CICLO DE VIDA

4.4.1 EDIFICAÇÃO EXISTENTE

A Tabela 13 apresenta os valores do consumo de energia e emissões de carbono no ciclo de vida do CMEI existente, resultando um total de 16,71 GJ/m² e 819,81 KgCO₂/m² respectivamente.

De acordo com a Figura 64, a energia operacional contribui com 54% do total de energia no ciclo de vida. Entretanto, em termos de emissões de carbono, a energia

para operação da edificação gera 34% do total de CO₂ no ciclo de vida.

Tabela 13 - Total de energia e emissões de carbono no ciclo de vida da edificação existente

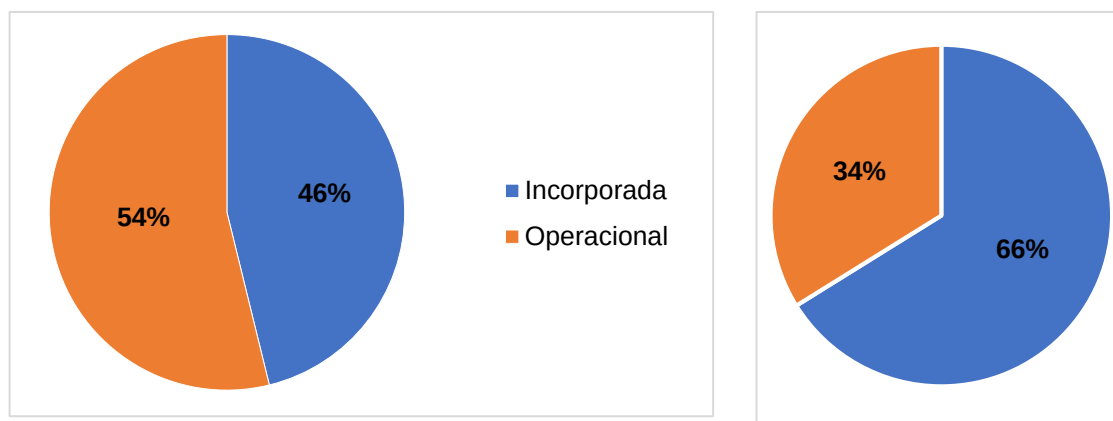
Categoria	Energia		Carbono	
	MJ	GJ/m ²	KgCO ₂	KgCO ₂ /m ²
Incorporada	16.267.513,14	7,72	1.143.273,09	542,32
Operacional	18.968.404,32	9,00	584.986,74	277,49
Total	35.235.917,46	16,71	1.728.259,83	819,81

Fonte: Elaborado pela Autora

Figura 64 - Participação da energia e emissões de CO₂ no ciclo de vida da edificação existente

ENERGIA

CO₂



Fonte: Elaborado pela Autora

Em trabalhos internacionais esses resultados mostram-se divergentes, pela própria fonte de energia utilizada, e padrão construtivo diferenciado. Grande variação de resultados são mencionados na literatura estudada: Macias *et al.* (2017) apontam a energia operacional entre 81 e 97% do ciclo de vida. Já Sharma *et al.* (2011) afirmam que o consumo de energia na fase operacional, para edifícios convencionais, tem sido maior que 50% do consumo no ciclo total de vida.

4.4.1.1 Análises após adoção das medidas de *retrofit*

A Tabela 14 apresenta os resultados da energia no ciclo de vida comparando o edifício existente com as medidas de *retrofit*. Para todas as medidas houve acréscimo na EI e redução da EO, ou seja, os acréscimos de materiais pelo processo de *retrofit* contribuíram para reduzir o consumo de energia operacional.

Entretanto, apenas para as medidas relativas à instalação de fachada ventilada é que houve redução efetiva do consumo energético no ciclo de vida.

Trabalhos internacionais como de Pomponi *et al.* (2015), apontam que fachada de pele dupla (a exemplo da utilizada neste dissertação) tornam em 98% dos casos as edificações comerciais mais eficientes no que diz respeito a energia operacional no ciclo de vida e 85% dos casos em emissões de CO₂, corroborando com o resultado aqui encontrado.

Além de reduzir o consumo no ciclo de vida, a fachada ventilada apresentou um período de amortização relativamente extenso, de aproximadamente 19 anos.

Para as demais medidas, a quantidade de energia incorporada à edificação pelo processo de *retrofit* foi superior à economia de energia que tais medidas proporcionam na operação do edifício. O telhado verde apresentou o pior resultado, aumentando a energia no ciclo de vida em 4,8%.

Tabela 14 - Comparativo da Energia no ciclo de vida da edificação existente e as medidas de *retrofit*

	Edificação Existente (GJ/m ²)	Telha Sanduiche	Vidros Refletores	Brise	Telhado Verde	Fachada Ventilada	Todas + Telha Sanduiche	Todas + Tethado Verde
Energia Incorporada (EI)	7,72	▲ 3,5%	▲ 0,9%	▲ 1,2%	▲ 10,9%	▲ 1,1%	▲ 5,8%	▲ 14,1%
Energia Operacional (EO)	9,00	▼ -0,9%	▼ -0,1%	▼ -0,6%	▼ -0,5%	▼ -2,5%	▼ -4,3%	▼ -3,5%
Energia no Ciclo de Vida	16,71	▲ 1,2%	▲ 0,3%	▲ 0,3%	▲ 4,8%	▼ -0,8%	▲ 0,4%	▲ 4,6%
Período de Amortização (anos)	—	—	—	—	—	18,76	—	—

Fonte: Elaborado pela Autora

Ao analisar as medidas de *retrofit* separadamente a partir do período de amortização, ou seja, o tempo de operação necessário para compensar o acréscimo de energia incorporada pelo *retrofit*, nenhuma das demais medidas apresentaram período de amortização, pois acarretaram aumento na energia no ciclo de vida.

A aplicação de todas as medidas reunidas não se mostrou eficaz na redução da energia no ciclo de vida, porém na situação com a telha sanduiche esse acréscimo foi de menos de 1%.

4.4.2 EDIFICAÇÃO FUNCIONANDO EM PERÍODO INTEGRAL

A Tabela 15 apresenta os valores do consumo de energia e emissões de carbono no ciclo de vida do CMEI funcionando em tempo integral, resultando um total de 19,23 GJ/m² e 819,33 KgCO₂/m² respectivamente.

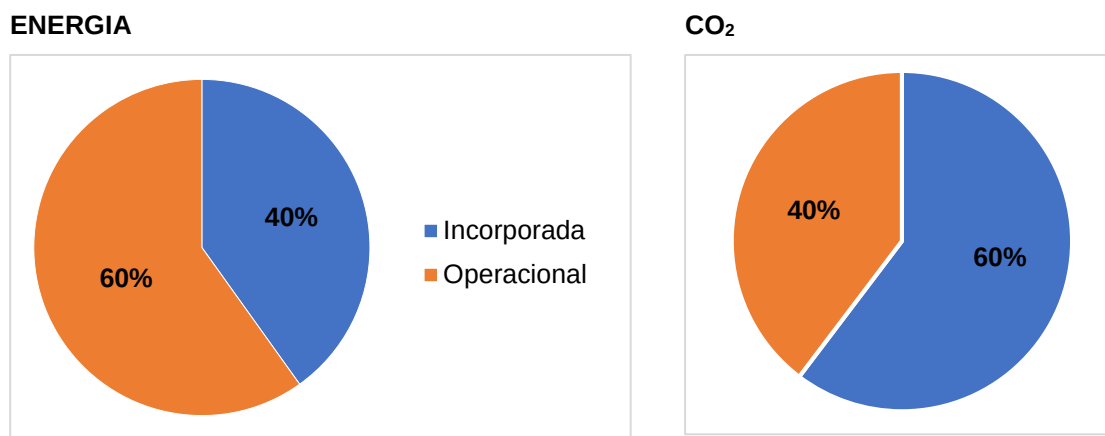
De acordo com a Figura 65, a energia operacional contribui com 60% do total de energia no ciclo de vida. Entretanto, em termos de emissões de carbono, a energia necessária para operação da edificação gera 40% do total de CO₂ no ciclo de vida.

Tabela 15 - Total de energia e emissões de carbono no ciclo de vida da edificação em funcionamento integral

Categoria	Energia		Carbono	
	MJ	GJ/m ²	KgCO ₂	KgCO ₂ /m ²
Incorporada	16.267.513,14	7,72	1.143.273,09	542,32
Operacional	24.280.600,03	11,51	752.190,69	356,81
Total	40.548.113,17	19,23	1.895.463,78	819,33

Fonte: Elaborado pela Autora

Figura 65 - Participação da energia e emissões de CO₂ no ciclo de vida do CMEI em funcionamento período integral



Fonte: Elaborado pela Autora

4.4.2.1 Análises após adoção das medidas de *retrofit*

A Tabela 16 apresenta os resultados da energia no ciclo de vida comparando o CMEI funcionando período integral com as medidas de *retrofit*. Para todas as medidas houve acréscimo na EI e redução da EO, ou seja, os acréscimos de materiais pelo processo de *retrofit* contribuíram para reduzir o consumo de energia operacional. Entretanto, apenas para as medidas relativas à instalação de fachada ventilada é que houve redução efetiva do consumo energético no ciclo de vida.

Além de reduzir o consumo no ciclo de vida, a fachada ventilada apresentou um período de amortização relativamente pequeno, de aproximadamente 16 anos e meio. Ao considerar a NBR 15575 (ABNT, 2013a) que avalia o desempenho das

edificações e aponta uma vida útil de projeto para vedações externas como painéis de fachadas de no mínimo 40 anos e máximo de 60 anos, a fachada ventilada se apresenta como excelente opção de *retrofit*.

Para as demais medidas, a quantidade de energia incorporada à edificação pelo processo de *retrofit* foi superior à economia de energia que tais medidas proporcionam na operação do edifício. O telhado verde apresentou o pior resultado, aumentando a energia no ciclo de vida em 4,1% e mesmo junto à outras medidas esse percentual foi de 3,8%.

Tabela 16 - Comparativo da Energia no ciclo de vida da edificação em funcionamento integral e as medidas de *retrofit*

	Edificação Func. Int. (GJ/m²)	Telha Sanduiche	Vidros Refletores	Brise	Telhado Verde	Fachada Ventilada	Todas + Telha Sanduiche	Todas + Tethado Verde
Energia Incorporada (EI)	7,72	▲ 3,5%	▲ 0,9%	▲ 1,2%	▲ 10,9%	▲ 1,1%	▲ 5,8%	▲ 14,1%
Energia Operacional (EO)	11,52	▼ -0,8%	▼ -0,1%	▼ -0,5%	▼ -0,5%	▼ -2,2%	▼ -3,4%	▼ -3,2%
Energia no Ciclo de Vida	19,23	▲ 0,9%	▲ 0,3%	▲ 0,2%	▲ 4,1%	▼ -0,9%	▲ 0,3%	▲ 3,8%
Período de Amortização (anos)	—	—	—	—	—	16,41	—	—

Fonte: Elaborado pela Autora

Ao analisar as medidas de *retrofit* separadamente a partir do período de amortização, ou seja, o tempo de operação necessário para compensar o acréscimo de energia incorporada pelo *retrofit*, nenhuma das demais medidas apresentaram período de amortização, pois acarretaram aumento na energia no ciclo de vida.

A aplicação de todas as medidas reunidas não se mostrou eficaz na redução da energia no ciclo de vida, porém na situação com a telha sanduiche esse acréscimo foi de apenas de 0,3%.

4.4.3 EDIFICAÇÃO FUNCIONANDO COM MAIS SALAS CONDICIONADAS

A Tabela 17 apresenta os valores do consumo de energia e emissões de carbono no ciclo de vida do CMEI existente funcionando com as salas de aula e administrativas condicionadas, resultando um total de 20,06GJ/m² e 890,95 KgCO₂/m² respectivamente.

De acordo com a Figura 66, a energia operacional contribui com 62% do total de energia no ciclo de vida. Entretanto, em termos de emissões de carbono, a energia necessária para operação da edificação gera 39% do total de CO₂ no ciclo de vida.

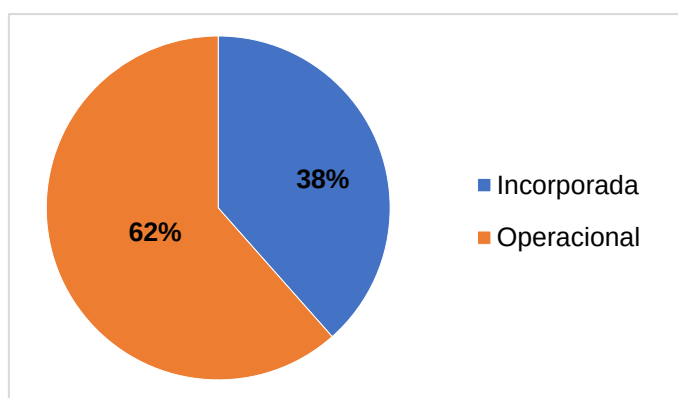
Tabela 17 - Total de energia e emissões de carbono no ciclo de vida da edificação existente com mais salas condicionadas

Categoria	Energia		Carbono	
	MJ	GJ/m ²	KgCO ₂	KgCO ₂ /m ²
Incorporada	16.267.513,14	7,72	1.143.273,09	542,32
Operacional	26.024.568,04	12,35	734.930,23	348,62
Total	42.292.081,18	20,06	1.878.203,32	890,95

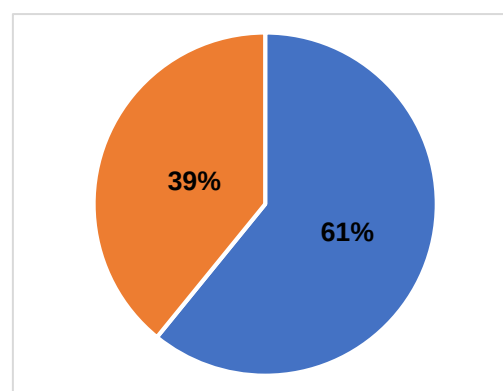
Fonte: Elaborado pela Autora

Figura 66 - Participação da energia e emissões de CO₂ no ciclo de vida da edificação existente com mais salas condicionadas

ENERGIA



CO₂



Fonte: Elaborado pela Autora

4.4.3.1 Análises após adoção das medidas de *retrofit*

A Tabela 18 apresenta os resultados da energia no ciclo de vida comparando o CMEI funcionando com mais salas condicionadas com as medidas de *retrofit*. Para todas as medidas houve acréscimo na EI e redução da EO, ou seja, os acréscimos de materiais pelo processo de *retrofit* contribuíram para reduzir o consumo de energia operacional.

Quando se analisa, as medidas de *retrofit* separadamente, a maioria das medidas não apresenta valores significativos, ficando abaixo de 1% a redução no ciclo de vida. Apenas a instalação de fachada ventilada é que representou redução efetiva do consumo energético no ciclo de vida. O telhado verde apresentou o pior resultado, aumentando a energia no ciclo de vida em 3%.

Se for considerado as opções reunidas com a telha sanduiche, obteve-se o melhor resultado, reduzindo a energia no ciclo de vida em 10%. Já para o telhado verde, essa redução ficou em apenas 2,2%.

Tabela 18 - Comparativo da Energia no ciclo de vida da edificação existente com mais salas condicionadas e as medidas de *retrofit*

	Edificação + salas cond. (GJ/m²)	Telha Sanduiche	Vidros Refletores	Brise	Telhado Verde	Fachada Ventilada	Todas + Telha Sanduiche	Todas + Telhado Verde
Energia Incorporada (EI)	7,72	▲ 3,5%	▲ 0,9%	▲ 1,2%	▲ 10,9%	▲ 1,1%	▲ 5,8%	▲ 14,1%
Energia Operacional (EO)	12,35	▼ -3,7%	▼ -0,8%	▼ -1,4%	▼ -1,9%	▼ -8,0%	▼ -19,9%	▼ -12,3%
Energia no Ciclo de Vida	20,06	▼ -0,9%	▼ -0,2%	▼ -0,4%	▲ 3,0%	▼ -4,5%	▼ -10,0%	▼ -2,2%
Período de Amortização (anos)	—	29,92	33,56	27,20	—	4,23	9,13	288,89

Fonte: Elaborado pela autora

Porém, quanto ao período de amortização, a fachada ventilada apresentou melhor performance, apresentando um prazo pequeno, de aproximadamente 4 anos e meio para compensar o acréscimo de energia incorporada pelo *retrofit*, seguida da opção de todas as medidas reunidas com telha sanduiche, onde esse período dobrou.

4.4.4 EDIFICAÇÃO FUNCIONANDO EM PERÍODO INTEGRAL E CONDICIONADA

A Tabela 19 apresenta os valores do consumo de energia e emissões de carbono no ciclo de vida do CMEI funcionando período integral e com salas de aula e administrativas condicionadas, resultando um total de 24,51GJ/m² e 1017,90 KgCO₂/m² respectivamente.

De acordo com a Figura 67, a energia operacional contribui com 69% do total de energia no ciclo de vida. Entretanto, em termos de emissões de carbono, a energia necessária para operação da edificação gera 47% do total de CO₂ no ciclo de vida.

Tabela 19 - Total de energia e emissões de carbono no ciclo de vida da edificação funcionando em período integral e condicionada

Categoria	Energia		Carbono	
	MJ	GJ/m²	KgCO ₂	KgCO ₂ /m²
Incorporada	16.267.513,14	7,72	1.143.273,09	542,32
Operacional	35.407.112,22	16,80	1.002.524,84	475,56
Total	42.292.081,18	24,51	2.145.797,93	1017,88

Fonte: Elaborado pela Autora

Figura 67 - Participação da energia e emissões de CO₂ no ciclo de vida da edificação em funcionamento integral e condicionada



Fonte: Elaborado pela Autora

4.4.4.1 Análises após adoção das medidas de *retrofit*

A Tabela 20 apresenta os resultados da energia no ciclo de vida comparando o CMEI funcionando período integral e com salas de aula e administrativas condicionadas com as medidas de *retrofit*. Para todas as medidas houve acréscimo na EI e redução da EO, ou seja, os acréscimos de materiais pelo processo de *retrofit* contribuíram para reduzir o consumo de energia operacional.

Quando se analisa, as medidas de *retrofit* separadamente, os vidros refletos e brises não apresentam valores significativos, ficando baixo de 1% a redução no ciclo de vida. Apenas a instalação de fachada ventilada é que representou redução efetiva do consumo energético no ciclo de vida. O telhado verde apresentou o pior resultado, aumentando a energia no ciclo de vida em 2,1%. Se considerarmos as opções reunidas com a telha sanduiche, obteve-se o melhor resultado, reduzindo a energia no ciclo de vida em 8,3%. Já para o telhado verde, essa redução ficou em apenas 4%.

Tabela 20 - Comparativo da Energia no ciclo de vida da edificação em funcionamento integral e condicionada

	Edificação Int. e Cond. (GJ/m²)	Telha Sanduiche	Vidros Refletores	Brise	Telhado Verde	Fachada Ventilada	Todas + Telha Sanduiche	Todas + Telhado Verde
Energia Incorporada (EI)	7,72	▲ 3,5%	▲ 0,9%	▲ 1,2%	▲ 10,9%	▲ 1,1%	▲ 5,8%	▲ 14,1%
Energia Operacional (EO)	16,80	▼ -3,8%	▼ -0,8%	▼ -1,4%	▼ -2,0%	▼ -8,3%	▼ -14,8%	▼ -12,3%
Energia no Ciclo de Vida	24,51	▼ -1,5%	▼ -0,3%	▼ -0,6%	▲ 2,1%	▼ -5,3%	▼ -8,3%	▼ -4,0%
Período de Amortização (anos)	—	21,57	24,20	20,70	—	2,99	9,01	26,22

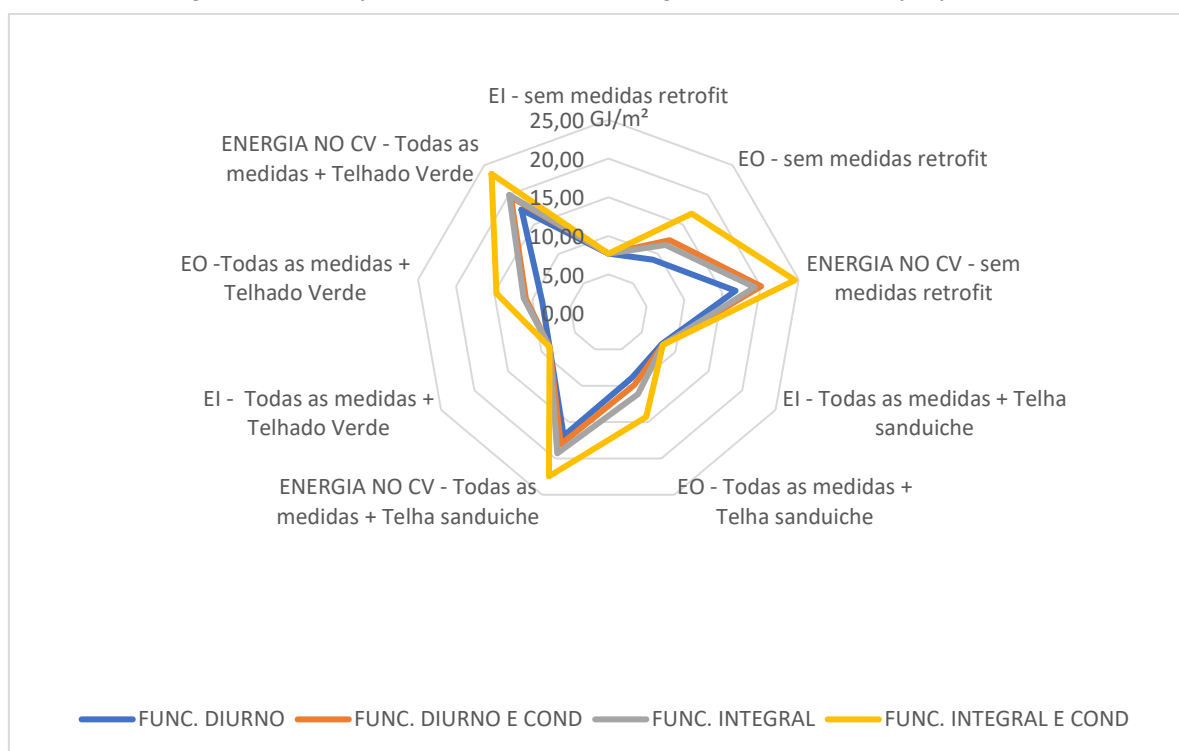
Fonte: Elaborado pela Autora

Porém, quanto ao período de amortização, a fachada ventilada apresentou melhor performance, apresentando um prazo mínimo de aproximadamente 3 anos para compensar o acréscimo de energia incorporada pelo *retrofit*, seguida da opção de todas as medidas reunidas com telha sanduiche, onde esse período foi de 9 anos.

4.5. COMPARAÇÃO GERAL ENTRE OS RESULTADOS

Comparando-se os resultados entre análises de sensibilidade realizadas, tem-se a figura 68, identificando a EI, EO e energia no ciclo de vida referente ao CMEI, sem e com todas as medidas de *retrofit* reunidas, sendo uma opção com telha sanduiche e outra com telhado verde.

Figura 68 - Comparativo da EI, EO e energia no ciclo de vida (CV) do CMEI



Fonte: Elaborado pela Autora

A energia incorporada da edificação mantém-se a mesma mediante as análises realizadas, considerando que uma única edificação foi testada.

Quanto à energia operacional, sem medidas de *retrofit*, a variação de EO ocorreu de forma crescente. Ao considerar a edificação existente funcionando no período noturno, a EO aumentou cerca de 22%. Aumentando a área útil condicionada, ou seja, CMEI funcionando período diurno e com todas as salas de aula e

administrativas condicionadas, esse percentual sobe para 27%, representando 12,35 GJ/m².

A situação em que a edificação funciona em período integral e com salas de aula e administrativas condicionadas, obteve maior consumo por m² de área útil, chegando a 16,80GJ/m²

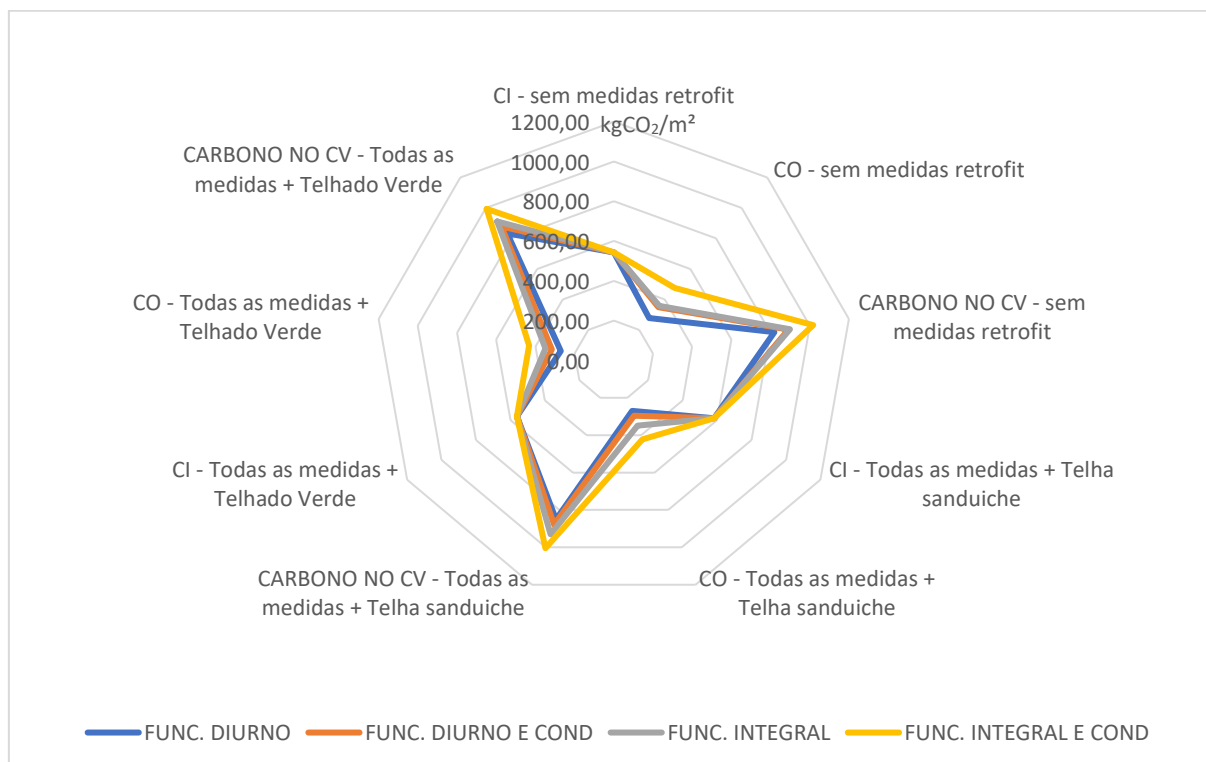
A média dos valores de EO das situações analisadas foi de 12,41 GJ/m².

Quanto a energia operacional, com todas as medidas de *retrofit*, a EO do telhado verde se mostrou maior que a EO da telha sanduiche cerca de 3%.

Quanto à energia consumida no ciclo de vida a situação em que a edificação funciona em período integral e com salas de aula e administrativas condicionadas sem medidas de *retrofit*, apresentou o maior valor. A média dos valores de energia no ciclo de vida analisados foi de 20,12 GJ/m².

Já com as medidas de *retrofit* com o telhado verde, o consumo de energia no ciclo de vida se mostrou novamente maior que a telha sanduiche.

Figura 69 - Comparativo da CI, CO e carbono no ciclo de vida (CV) do CMEI



Fonte: Elaborado pela Autora

De acordo com a figura 69, o carbono incorporado do CMEI sem medidas de *retrofit* representa 542,32 KgCO₂/m².

Nota-se que a edificação funcionando em período integral, as emissões de carbono decorrentes da EO são de 356,81 KgCO₂/m², ou seja, se comparada a edificação funcionando no período diurno, nas situações condicionadas, esse aumento foi de 20% para funcionamento do CMEI diurno e 41% para funcionamento do CMEI integral.

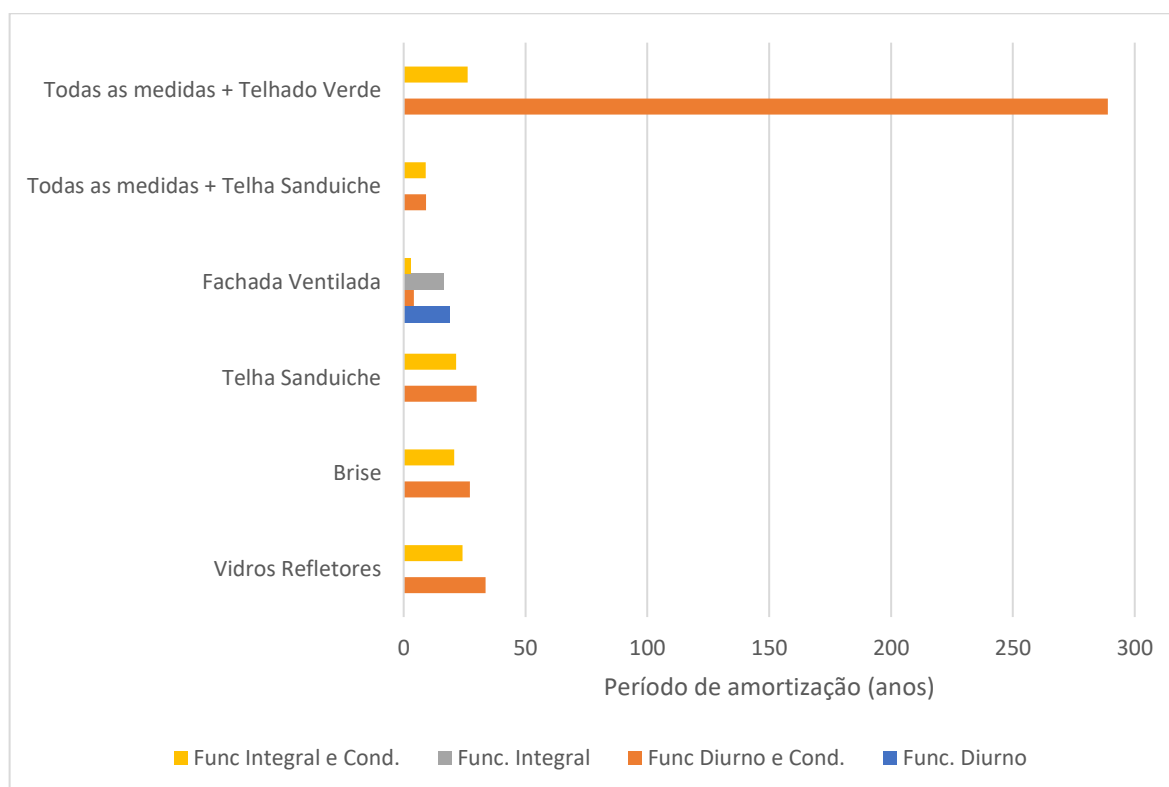
Quanto ao consumo de CO₂ no ciclo de vida a situação em que a edificação funciona em período integral e com salas de aula e administrativas condicionadas sem medidas de *retrofit*, apresentou novamente o maior valor.

A média dos valores do consumo de CO₂ no ciclo de vida analisados foi de 906,94 KgCO₂/m².

Já com relação ao consumo de energia no ciclo de vida se mostrou menor que a telha sanduiche, considerando todas as medidas de *retrofit* com o telhado verde.

De acordo com a figura 70, as medidas de *retrofit* foram analisadas a partir do período de amortização, ou seja, o tempo de operação necessário para compensar o acréscimo de energia incorporada pelo *retrofit*.

Figura 70 - Período de amortização das medidas de *retrofit* adotadas no CMEI



Fonte: Elaborado pela Autora

O telhado verde não apresentou período de amortização, já que em todas as análises essa proposta aumentou a energia no ciclo de vida.

A adoção de sombreamento através de brises, apresentou um aumento da energia no ciclo de vida para as situações de funcionamento diurno e noturno. Para as situações com salas de aula e administrativas condicionadas, tanto funcionamento diurno ou integral, o período de amortização se mostrou pouco extenso, de 20 anos para a edificação funcionando integral e condicionada e de 27 anos, funcionando período diurno condicionada.

Situação similar ocorreu com a utilização de vidros refletores, que apresentou um período de amortização nas mesmas variações de 20 e 24 anos.

A instalação de fachada ventilada, se mostrou a medida mais eficiente. Para as situações condicionadas, o período de amortização foi inferior a 5 anos. Para as situações funcionamento diurno e integral, esse período foi de aproximadamente 16 anos e meio, o que também é um período relativamente pequeno, considerando que a vida útil mínima de um painel fachada é de 40 anos e máxima de 60 anos.

A aplicação de todas as medidas se mostrou mais eficaz na redução da energia no ciclo de vida com a opção de telha sanduiche. Nas situações condicionadas houve boa redução, com um período de amortização baixo, de apenas 9 anos, para a situação diurna condicionada. Nas demais situações não houve redução no ciclo de vida, não apresentando período de amortização para as situações funcionamento diurno e noturno.

Já para a opção com todas as medidas de *retrofit* e telhado verde, nas situações condicionadas houve redução, porém com um período de amortização muito extenso para a situação diurna condicionada de 289 anos e para a situação noturna de 27 anos.

Situação similar ocorreu em relação a redução no ciclo de vida, não apresentando período de amortização para as situações funcionamento diurno e noturno.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo apresentam-se as considerações finais referentes aos procedimentos metodológicos e a investigação, embasada nos resultados da pesquisa. Ao final, descrevem-se as perspectivas para investigações futuras, relativas à temática em estudo.

A pesquisa apresentou os resultados da ACVE e do desempenho da envoltória de uma unidade escolar do Bairro Jardim Camburi, em Vitória (ES), tendo como objetivo principal a avaliação da influência de medidas de *retrofit* tanto no desempenho da envoltória segundo o PBE Edifica, quanto no ciclo de vida energético da edificação, quantificando também as emissões de CO₂.

5.1 RELATIVAS AO DESEMPENHO DA ENVOLTÓRIA E ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS

Para análises do desempenho da envoltória de uma edificação, a NBR 15575 (ABNT, 2013a) e o RTQ-C (BRASIL, 2010), recomendam a utilização de ferramentas computacionais similares ao *EnergyPlus* para realização das simulações, que inclusive é um *software* gratuito, o que contribuiu para o desenvolvimento da pesquisa.

Outro fator a ser observado é que a etiquetagem de edificações comerciais, apesar de constituir um mecanismo importante de controle da qualidade construtiva, ainda não é obrigatório e empregado nas edificações públicas escolares do município de Vitória.

Avalia-se também que em relação ao conforto do usuário, o regulamento utilizado para classificação das edificações comerciais (RTQ-C) abre brechas na interpretação, tornando essa avaliação não tão específica, ao permitir hipóteses de conforto baseadas ou na norma ISO 7730 (ISO, 2005) ou na norma ANSI/ASHRAE 55 (ANSI, 2004), assim como normas de ABNT e conforto acústico vigentes. No entanto, sabe-se que essa metodologia está em processo de análise através de consulta pública.

Ainda considerando o desempenho da envoltória e o conforto do usuário, nota-se a grande importância da localização dos terrenos em relação a orientação solar. As fachadas do CMEI, localizado em um terreno cujas maiores dimensões estão voltadas para o leste e o oeste recebem a luz solar direta durante a maior parte do

ano, prejudicando o conforto dos usuários visto a dificuldade de utilização de elementos para bloquear os intensos raios solares.

Outra relação importante é a disposição dos pavimentos. O pavimento térreo, nessa pesquisa, obteve desempenho melhor que o pavimento superior, que sofre radiação solar direta pela cobertura.

Quanto às medidas de *retrofit* adotadas, as mais eficazes referem-se aquelas que modificam as superfícies verticais opacas da envoltória como a fachada ventilada.

Devido ao caráter horizontal do CMEI, a redução da absorção da cobertura com o uso da telha sanduiche se mostrou mais eficaz que a fachada ventilada.

O telhado verde, se mostrou mais eficiente para os ambientes situados no pavimento superior, se comparado à proteção das aberturas.

As medidas relacionadas à proteção solar das aberturas, como o sombreamento por brises e instalação de películas refletoras nos vidros, no geral, apesar de melhorarem o desempenho da envoltória, apresentaram pouca influência no CR.

Após a implementação de todas as medidas de *retrofit* reunidas com a telha sanduiche ou telhado verde, todos os ambientes analisados apresentaram nível A ou B de conforto em relação à 90% de aceitabilidade da norma ANSI/ASHRAE 55 (ANSI, 2004).

Contudo é importante destacar que a vida útil de um telhado verde é menor que uma telha sanduiche, demanda manutenções diversas e constantes, um dos principais problemas em edificações públicas. Além disso, o custo tanto de instalação quando manutenção do telhado verde é maior, tornando o uso da telha sanduiche mais indicada, principalmente porque foi o material que obteve maior desempenho na cobertura, devido seu isolamento.

Salienta-se ainda que a inclusão da ACVE junto a etiquetagem, possibilita uma análise sistêmica da edificação pública, auxiliando no processo decisório dos agentes envolvidos no processo e desenvolvimento de estratégias ambientais direcionadas à gestão energética, no ciclo de vida das edificações. Aplicando a metodologia na iniciativa pública, o embasamento além de técnico, seria também ambiental, possibilitando políticas públicas mais conscientes.

Para além de sua importância, em termos de ciclo de vida das edificações públicas, o tema assume especial relevância, em especial para os países emergentes, tendo em conta as necessidades de infraestrutura que irão resultar em elevados consumos de energia para as construções.

5.2 RELATIVAS A ACVE

Essa pesquisa encontrou barreiras tais como pequeno número de pesquisas desenvolvidas quanto aos aspectos de energia incorporada e emissões de CO₂, falta de um banco de dados nacional, índices dos parâmetros para obras públicas e a própria complexidade do tema, porém os resultados alcançados figuram como relevantes, no que diz respeito aos dados de energia incorporada, operacional e no ciclo de vida das edificações públicas.

5.2.1 ENERGIA INCORPORADA

A coleta de dados relativos a EI em edifícios é extremamente complexa, uma vez que, resulta da consolidação de informações de diversos setores, tais como: setor da construção civil, setor industrial relacionado com a produção de materiais de construção, parcela do setor de transportes associada ao deslocamento dos materiais de construção e parte do consumo de energia do setor energético que corresponde ao processo de produção, conversão e fornecimento de energia consumida nos processos que fazem parte do ciclo de vida das edificações.

Considerando a fronteira adotada nesse trabalho, pode-se concluir que a energia incorporada (EI) do CMEI contribui com cerca 7,71GJ/m². Esse consumo energético, necessário para produção, manutenção e desperdício dos materiais construtivos emite cerca de 540,15 KgCO₂/m². Comparando-se aos valores internacionais, esses resultados mostram-se de certa forma compatíveis, apesar da grande variabilidade demonstrada. Sartori e Hestnes (2007), constataram que as variações de energia incorporada entre países advém da fonte de energia disponível, do processo de transformação que gerou essa fonte a partir do recurso primário e a eficiência do processo industrial e do sistema econômico que produziu os materiais. Dixit *et al.* (2012), acrescenta que o peso da EI, em relação a EO, depende da localização geográfica e do clima, sendo menores em países de clima onde prevalecem a necessidade de aquecimento, ao contrário do Brasil.

A energia incorporada inicial (EII) representa em torno de 62% do total da EI, enquanto que a Energia Incorporada Recorrente (EIR) representa 26% e a Energia Incorporada Desperdiçada (EID), 12%.

Os materiais mais representativos foram o concreto, aço, tinta e tijolo cerâmico representando aproximadamente 61% do total de EI e 38% do total de CI.

Levando em consideração os diversos cenários estudados, todas as medidas de *retrofit*, apresentaram um aumento na EI da edificação existente. A medida de *retrofit* que mais impactou no aumento da EI do CMEI foi o telhado verde. A manta impermeabilizante necessária à sua instalação possui valor elevado de EI/kg além de necessitar de muitas manutenções ao longo do seu ciclo de vida. Além disso, a razão entre a área de cobertura e área útil total torna-se maior em edifícios horizontais.

As medidas que menos impactaram no total de EI das edificações foram a película refletora nos vidros, a fachada ventilada e os brises em pvc para sombreamento das aberturas.

A fachada ventilada, ao contrário do telhado verde, não necessita de grandes manutenções ou reposição de materiais ao longo de sua vida útil. As perdas também são reduzidas, já que o material é pré-moldado, o que compensa o grande volume de material necessário para sua instalação, além de possuir VUP igual ao do edifício.

5.2.2 ENERGIA OPERACIONAL

Quanto à energia operacional, o consumo do CMEI é de 9 GJ/m². Esse consumo, necessário para uso dos equipamentos, iluminação, aquecimento de água, condicionamento de ar e cocção dos alimentos, emite 227,5 KgCO₂/m². Estes valores, se comparados aos internacionais, mostram-se inferiores. Tavares (2006), aponta que um dos motivos seria a estabilidade econômica e poder aquisitivo da população na participação da EO nos países desenvolvidos, pela facilidade de acesso a tecnologias e aparelhos consumidores de energia. Bastos, Batterman e Freire (2014), constataam que a grande maioria de ACV de edifícios foram desenvolvidos em países desenvolvidos e de clima frio, o que vai de encontro à elevada contribuição de EO tipicamente referida na literatura.

Os equipamentos lideram as categorias de consumo, seguido da iluminação e cocção. O ar condicionado não representa tanto, visto que a maioria dos ambientes não são condicionados. Simples estratégias, como alteração do tipo de lâmpada para *led*, melhor divisão de circuitos elétricos, instalação de sensor de presença nos ambientes, já proporcionariam um menor consumo.

Quanto as análises após adoção das medidas de *retrofit*, as menos expressivas em relação a redução do consumo foram a instalação de película refletora nos vidros, telhado verde e o sombreamento das aberturas através de brises.

Com as análises de sensibilidade, em todas as situações estudadas, a fachada ventilada apresentou melhor performance em termos de redução do consumo energético e emissões de CO₂.

Considerando a aplicação de todas as medidas de *retrofit* reunidas, a cobertura sanduiche obteve melhores resultados.

5.2.3 ENERGIA NO CICLO DE VIDA

A energia consumida no ciclo de vida do CMEI é de 16,71GJ/m² e uma emissão de 819,82 KgCO₂/m². Desse total, a maior parte do consumo energético é representada pela EO, enquanto, a maior emissão de CO₂ ocorre através da EI.

Quanto as análises após a adoção das medidas de *retrofit*, o telhado verde se mostrou menos eficaz em todas as situações estudadas, portanto, estudos são necessários nesse sentido, considerando outras categorias de impacto numa ACV.

A fachada ventilada e a cobertura em telha sanduiche, mostraram-se mais eficazes na redução da energia no ciclo de vida, nas situações onde a edificação apresentava-se condicionada. Porém com relação ao período de amortização a fachada ventilada superou a telha sanduiche.

Já considerando todas as medidas de *retrofit* reunidas, a opção com cobertura em telha sanduiche, foi a que obteve melhor período de amortização, porém reduzindo a energia no ciclo de vida nas situações em que a edificação se apresentava condicionada, e aumentando muito pouco na situação existente, ou seja, funcionamento diurno, e na situação funcionamento integral.

Espera-se que os resultados das análises contribuam para a tomada de decisões projetuais e construtivas mais eficientes do ponto de vista ambiental, levando em consideração sobretudo o conforto dos usuários. Espera-se ainda que os resultados contribuam na conscientização do poder público na escolha de materiais construtivos de maior durabilidade e menor manutenção ao longo do ciclo de vida das unidades escolares, bem como dos impactos relacionados ao desperdício de materiais no canteiro de obra.

5.3 PERSPECTIVAS PARA INVESTIGAÇÕES FUTURAS

Em função da tendência futura de redução de impactos ambientais das atividades construtivas e a busca por soluções de desenvolvimento sustentável, como sugestão para trabalhos futuros, aponta-se:

- Avaliar os impactos de propostas de *retrofit* em outras tipologias públicas como prédios administrativos, de saúde, habitação, levando em consideração além do desempenho da envoltória, o ciclo de vida energético, a fim de ampliar o campo de amostragem. Isso pode permitir avaliações respaldadas em análises estatísticas, ou seja, determinar uma média geral de consumo de energia e emissões de CO₂ por m².
- Estudar outras medidas de *retrofit*, relacionadas aos principais sistemas consumidores de energia em edificações públicas, incluindo outras estratégias, por exemplo, como uso de energia fotovoltaica.
- Estudar a viabilidade financeira das medidas de *retrofit*, vez que em edificações públicas esse caráter é exigível em função da legislação vigente e da mesma forma, demonstrar o período de retorno, comparando-se com o custo ambiental.
- Estudar outras etapas do ciclo de vida, ou ainda considerando outras fronteiras não abordadas por este trabalho, principalmente com relação a energia de demolição e análise de reciclagem de resíduos gerados pelo processo de *retrofit*.
- O desenvolvimento desta pesquisa pode ainda ter continuidade em trabalhos que questionem o uso do Projeto Padrão, sobretudo pelos seus impactos econômicos e ambientais de implantação;
- Realizar comparações energéticas do sistema construtivo tradicional empregado nas edificações públicas brasileiras à sistemas mais modernos utilizados em países desenvolvidos.
- Realizar estudos na indústria da construção civil visando aumentar o inventário para determinação de energia incorporada nos materiais de construção para diferentes processos construtivos.
- Realizar estudos de energia incorporada e emissões de CO₂ para a fase de canteiro de obras de edificações.

- Comparar resultados do desempenho da envoltória do método de simulação com o método prescritivo, também aceito pelo PBE edifica.
- Comparar os resultados do desempenho da envoltória através dos novos parâmetros apontados pelo RTQ-C, hoje em consulta pública.
- Avaliar outros consumos, para além do energético, na etapa do ciclo de vida de edificações públicas, afim de contribuir na criação de políticas públicas.

REFERÊNCIAS

ADALBERTH, K. Energy use during the life cycle of buildings: A Method. **Building and Environment**, Vol. 32, Nº 4, Pgs. 317-320, 1997.

AGOPYAN, V.; SOUZA, U. E. L. ; PALIARI, José Carlos ; ANDRADE, A. C. . **Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras: relatório final**. São Paulo: EPUSP/PCC, 1998. v. 5. Disponível em: <<http://perdas.pcc.usp.br/Volume3/index.htm>>. Acesso em: 06 set. 2018

AKBARNEZHAD A., ONG K., CHANDRA L., LIN Z. Economic and environmental assessment of deconstruction strategies using building information modeling. **Automation in Construction**, v.37, 131–144, 2014.

American National Standards Institute (ANSI). **ANSI/ASHRAE 55-2004**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2004.

ANAND, C. K.; AMOR, B. Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p.408-416, jan. 2017. Elsevier BV.

ANTIPOVA, Ekaterina *et al.* Multi-objective optimization coupled with life cycle assessment for retrofitting buildings. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 82, p.92-99, out. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.001>.

ARCOWEB. **Películas para vidros laminados e de superfície**. Disponível em: <<https://www.arcoweb.com.br/finestra/tecnologia/peliculas-especiais-para-vidros-01-04-2004>>. Acesso em: 26 set. 2018.

ARDENTE, F.; BECCALI, M.; CELLURA, M. e MISTRETTA, M. Energy and environmental benefits in public buildings as a result of *retrofit* actions. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 15, n. 1, p.460-470, jan. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.022>.

ASCIONE, F.; ROSSI, F. de; VANOLI, G. P. Energy *retrofit* of historical buildings: theoretical and experimental investigations for the modelling of reliable performance scenarios. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 43, n. 8, p.1925-1936, ago. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.040>.

ASMI, Emira El *et al.* “A standardized approach to BIM and energy simulation connection”. **International Journal of Design Sciences And Technology**, Paris, França, v. 21, n. 1, p.59-82, 2015.

ASIF, M.; MUNEER, T.; KELLEY, R. Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland. **Building and Environment**, 42, 2007, Pgs. 1391-1394.

ASSEFA, G.; AMBLER, C.. To demolish or not to demolish: Life cycle consideration of repurposing buildings. **Sustainable Cities and Society**, v. 28, p.146-153, jan. 2017. Elsevier BV.

Associação Brasileira de Ciclo de Vida - ABCV. Disponível em: < <http://abcvbrasil.org.br> > Acesso em 08 jan. 2018

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15220 – 1**: Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15220 – 2**: 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 edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15220 – 3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15575 – 1**: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15575 – 4**: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013b.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR ISO 14040** – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura. São Paulo, SP. 2009. 21 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR ISO 14040**: Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e estrutura. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro. 2009: Versão Corrigida: 2014

ATMACA, A.; ATMACA, N. Life cycle energy (LCEA) and carbon dioxide emissions (LCCO₂A) assessment of two residential buildings in Gaziantep, Turkey. **Energy and Buildings**. v. 102. p. 417 – 431. 2015.

AUGUSTO, C.O; BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M. Materiais de Isolamento Térmico de Edifícios. Para além da energia operacional. In: LATIN-AMERICAN AND EUROPEAN CONFERENCE ON SUSTAINABLE BUILDINGS AND COMMUNITIES, 1., 2015, Guimarães. **Anais...** Portugal: EUROELECS, 2015. p. 561– 570.

BANDEIRA, LUCIANA - **A influência do sistema de fachada viva em manta no ciclo de vida energético de uma residência unifamiliar em clima tropical**. 2015, 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná.

BARRETO, F.S.P.; ANDERY, P.R.P. Contribuição a Análise de Riscos no Processo de Concepção de Projetos de Incorporadoras de Médio Porte. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.15, n.4, p. 71-85, out./dez.2015.

BARRIENTOS, Maria Isabel Garrido Garcia. **Retrofit de edificações: estudo de reabilitação e adaptação das edificações antigas às necessidades atuais**. 2004. Dissertação (Faculdade de Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

BARROS, N. N.; SILVA, V. G.; RUSCHEL, Regina C. Impactos da adoção de BIM no processo de avaliação de energia incorporada e emissões de GHGs no ciclo de vida de edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016. p. 1910 – 1920.

BASTOS, J.; BATTERMAN, S. A.; FREIRE, Fausto. Life-cycle energy and gas greenhouse analysis of three building types in a residential area in Lisbon. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 69, p.344-353, fev. 2014. Elsevier BV.

BASTOS, J.; BATTERMAN, S. A.; FREIRE, F. Significance of mobility in the life-cycle assessment of buildings. **Building Research & Information**, [s.l.], v. 44, n. 4, p.376-393, 2 nov. 2015. Informa UK Limited.

BENOIST, A. **Elements d'adaptation de la methodologie d'analyse du cycle de vie aux carburants vegetaux: cas de la première generation**. Tese de doutorado apresentada à École de Mines Paris Tech, Paris, France, 2009. 232 p.

BERGGREN, B.; HALL, M.; WALL, M.. LCE analysis of buildings – Taking the step towards Net Zero Energy Buildings. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 62, p.381-391, jul. 2013. Elsevier BV.

BESSA, Vanessa Montoro Taborianski. **Contribuição à Metodologia de Avaliação das Emissões de Dióxido de Carbono no Ciclo de Vida das Fachadas de Edifícios de Escritórios**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BIG LADDER SOFTWARE. Euclid. Disponível em:<
<http://bigladdersoftware.com/projects/euclid/>>. Acesso em: 3 de maio de 2017.

BIN, G.; PARKER, P.. Measuring buildings for sustainability: Comparing the initial and *retrofit* ecological footprint of a century home – The REEP House. **Applied Energy**, v. 93, p.24-32, maio 2012. Elsevier BV.

BLENGINI, G.; Di CARLO, T. The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 6, p.869-880, jun. 2010.

BOURRELLE, J. S.; ANDRESEN, I.; GUSTAVSEN, Arild. Energy payback: An attributional and environmentally focused approach to energy balance in net zero energy buildings. **Energy and Buildings**, v. 65, p. 84-92, 2013.

BOJIĆ, M.; JOHANNES, K.; KUZNIK, F. Optimizing energy and environmental performance of passive Trombe wall. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 70, p.279-286, fev. 2014. Elsevier BV.

BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). Portaria 163, de 08 de junho de 2009. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001462.pdf> >. Acesso em: 08 nov. 2017.

BRASIL. Portaria nº 372, 17 de setembro de 2010. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de serviços e públicos**. Rio de Janeiro - RJ, 2010. Disponível em: < http://pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf >. Acesso em: 07 out. 2017

BRASIL. Lei – **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm > Acesso em: 08 nov. 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (2011). **Plano Nacional de Eficiência Energética**. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes/eindicadores/plano-nacional-de-eficiencia-energetica> >. Acesso em: 17 de jul. 2017.

BRASIL. Secretaria de logística e tecnologia da informação. Instrução normativa nº2 de 04 de julho de 2014. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit. **Diário Oficial da União**, Brasília, 5 de junho de 2014. Seção I, p. 102

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. **Balanço Energético Nacional 2017: Ano base 2016**. Disponível em: < <https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal.aspx?anoColeta=2017&anoFimColeta=2016> > Acesso em: 20 nov. 2017a.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Balanço Energético Nacional 2017: Relatório Síntese. Ano base 2016**. Disponível em: < https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2017_Web.pdf > Acesso em: 10 nov. 2017b.

BRASIL. Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética – Procel Info. **Resultados Procel 2017c – ano base 2016**. Disponível em: < http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2017/docs/rel_procel2017_web.pdf > Acesso em: 20 jan. 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. O que fazer para tornar mais eficiente o uso de energia elétrica em prédios públicos. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/cartilha+ENERGIA+op1.pdf> > Acesso em: 18 nov. 2017c.

BRIBIÁN, I. Z.; CAPILLA, A. V.; USÓN, A. A Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for a building certification. **Building and Environment**, 44, 2009, Pgs. 2510-2520.

BRIBIÁN, I. Z.; USÓN, A. A.; SCARPELLINI, S. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. **Building and Environment**, 46, 2011, Pgs. 1133-1140.

BRITISH STANDARD (BS). **EN 15804**: 2013. Sustainability of construction Works Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products. Brussels: European Committee For Standardization, 2013. 70 p.

BU, S.; SHEN, G.; ANUMBA, C. J.; WONG, A. D. K.; LIANG, X.; Literature review of green retrofit design for comercial buildings with BIM implication. **Smart and Sustainable Built Environment**, vol. 4, Iss 2, 2015, p. 188 – 214.

BUYLE, M.; BRAET, J.; AUDENAERT, A.. Life cycle assessment in the construction sector: A review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 26, p.379-388, out. 2013. Elsevier BV.

BUYLE, M.; AUDENAERT. A; BRAET. J. e DEBACKER. W. Towards a More Sustainable Building Stock: Optimizing a Flemish Dwelling Using a Life Cycle Approach. **Buildings**, [s.l.], v. 5, n. 2, p.424-448, 11 maio 2015. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/buildings5020424>.

CABEZA, L. F; RINCÓN. L; VILARIÑO V. PÉREZ G.; CASTELL A. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, p.394-416, jan. 2014. Elsevier BV.

CALDAS, Lucas Rosse; SPOSTO, Rosa Maria; SANTOS FILHO, Vamberto Machado. Aplicação da avaliação do ciclo de vida energético (acve) no *retrofit* de fachadas. In: Congresso Internacional na Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios, IV, 2015, Rio de Janeiro. NPPG... Rio de Janeiro: CIRMARE, 2015, MT 13. Disponível em: < <http://nppg.org.br/cirmare/#> >. Acesso em: 10 jan. 2018.

CALIFORNIA ENERGY COMISSION. **Windows and Classrooms: a study of student performance and the indoor environment**. California: [s.n.], 2003.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575:2013**. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. 308 p.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 2: método de simulação. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 27-40, abr./jun. 2010a.

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

CARLO, Joyce Correna. **Processamento de arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações**. Relatório LabEEE-200504. Florianópolis, 2005. Disponível em: < <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016> >. Acesso em: 30 de outubro de 2017.

CARMINATTI JUNIOR, R. **Análise do ciclo de vida energético de projeto de habitação de interesse social concebido em *light steel framing***. Dissertação de Mestrado. São Carlos, SP, UFSCar, 2012.

CHAU, C.; LEUNG, T.; NG, W. A review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings. **Applied Energy**, v. 143, p.395-413, abr. 2015

CHERUBINI, E.; RIBEIRO, P. T. **Diálogos Setoriais Brasil e União Europeia – Desafios e soluções para o fortalecimento da ACV no Brasil**. Ibict: Brasília, DF. 2015. 183 p.

CHEHEBE, J. R. **Análise do Ciclo de Vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., CNI, 1997. 120 p.

CHUNDURI, S.; LEE, S.; MESSNER, J. I. **An Integrative Process for Advanced Energy Retrofit Projects**. In Proceedings of 2014 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering American Society of Civil Engineers, p. 259-266, 2014.

CLUB OF ROME. Disponível em <http://www.clubofrome.org/> Acesso em: 20 dez. 2017.

COLE, R. J.; KERNAN, P. C. Life cycle energy use in office buildings. **Building and Environment**, Vol. 31, nº 4, Pgs. 307-317, 1996.

COLE, R. J. Energy and greenhouse gas emissions associated with the construction of alternative structural systems. **Building and Environment**, Vol. 34, Pgs. 335-348, 1999.

COLTRO; Leda, GARCIA; Eloisa, QUEIROZ; Guilherme. Life cycle inventory for electric energy system in Brazil. **The international journal of Life Cycle Assessment**, v. 5, p.290-296, sep. 2003.

CRAWFORD, R. H. Post-occupancy life cycle energy assessment of a residential building in Australia. **Architectural Science Review**, [s.l.], v. 57, n. 2, p.114-124, 2 ago. 2013. Informa UK Limited.

CTE; CRIATIVE. **Sustentabilidade: Tendências na construção 2015**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2015.

CURRAN, M. A. **Life Cycle Assessment: Principles and Practice**. EPA – Environmental Protection Agency: Cincinnati, EUA, 2006. 88 p.

D'ELL SANTO, A.; ALVAREZ, C. E.; NICO-RODRIGUES, E. A. Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575. **Cadernos PROARQ** 20, n.20, p. 116 - 136, 2013.

DEVI L, P; PALANIAPPAN, S. A case study on life cycle energy use of residential buildings Southern India. **Energy and Buildings**. v. 80. p. 247-259. 2014.

DERBIGUM. **Derbigum SP AP: A membrana de impermeabilização anti-raiz**. Disponível em: <www.derbigum.com>. Acesso em: 17 dez. 2017.

_____. Disponível em: < <https://www.google.com.br/maps/@-20.2609469,-40.2600384,184m/data=!3m1!1e3?hl=pt-BR>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

DIXIT, M. K.; SOLÍS, J. L. F.; LAVY, S.; CULP, C. H. Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review. **Energy and Buildings**. Vol. 42. 2010. 1238 - 1247.

DIXIT, M. K. FERNÁNDEZ-SOLÍS, J. L.; LAVY, S.; CULP, C. H. Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 16, n. 6, p. 3730-3743, 2012.

DIXIT, M. K. Embodied energy and cost of building materials: correlation analysis. **Building Research & Information**, v. 45, n. 5, p. 508-523, 2017a.

DIXIT, M. K. Life cycle embodied energy analysis of residential buildings: A review of literature to investigate embodied energy parameters. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v.79, 2017b, p. 390-413.

DODOO, A.; GUSTAVSSON, L.; SATHRE, R. Life cycle primary energy implication of retrofitting a wood-framed apartment building to passive house standard. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 12, p.1152-1160, out. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.03.010>.

DOE2. eQUEST The quick energy simulation tool. Disponível em:< <http://www.doe2.com/equest/>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

DORNELLES, Kelen Almeida. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

DU, P.; WOOD, A.; STEPHENS, B. e SONG, X. Life-cycle energy implications of downtown high-rise vs. suburban low-rise living: An overview and quantitative case study for Chicago. **Buildings**, v. 5, n. 3, p. 1003-1024, 2015.

EBC Agência Brasil. **ONU diz que população mundial chegará a 8,6 bilhões de pessoas em 2030**. Disponível em: < <http://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2017-06/onu-diz-que-populacao-mundial-chegara-86-bilhoes-de-pessoas-em-2030> > Acesso em: 07 jun.2017.

EC - European Commission - Joint Research Center-Institute for Environment and Sustainability. Manual do Sistema ILCD – Sistema Internacional de Referência de Dados de Ciclo de Vida de Produtos e Processos. Guia Geral para Avaliações do Ciclo de Vida: Orientações detalhadas. VASCONCELOS, L. M. (trad.). CNI/Ibict (Ed.). 2014. 318 p.

ECOTELHADO. Sistema Modular Alveolar Leve. Disponível em: < <https://ecotelhado.com/produto/ecotelhado-telhado-verde/sistema-modular-alveolar-leve/> >. Acesso em: 28 de julho 2018.

ELEFTHERIADIS, S.; MUMOVIC, D.; GREENING, P. Life cycle energy efficiency in building structures: A review of current developments and future outlooks based on BIM capabilities. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, , v. 67, p.811-825, jan. 2017. Elsevier BV.

ELETROBRAS. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005: Relatório Brasil - Sumário Executivo**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS; PROCEL, 2009. 187 p.

ENERGY PLUS. Disponível em: < <https://energyplus.net/> > Acesso em: 11 jan. 2018

Environmental Products Declaration – EPD. Disponível em: < https://www.nsf.org/newsroom_pdf/flooring_EPD_template-new.pdf > Acesso em: 15 jan. 2018.

EVANGELISTA, Patricia; TORRES, Ednildo; GONÇALVES, Jardel. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como ferramenta de análise do desempenho ambiental de edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

FANTIN, S. **Informações sobre CMEI AMCC de Vitória – ES**. [15 de março, 2018]. Vitória. Entrevista concedida à Juliana Grillo da S. Madeira, pela Diretora do CMEI Ana Maria Chaves Colares.

FAY, R.; TRELOAR, G.; IYER-RANIGA, U. Life-cycle energy analysis of buildings: a case study. **Building Research and Information**, 28 (1) p. 31-41 JAN-FEB. Routledge, London. 2000.

FREGONARA, E.; GIORDANO, R.; ROLANDO, D. e TULLIANI, J.M. Integrating Environmental and Economic Sustainability in New Building Construction and Retrofits. **Journal Of Urban Technology**, [s.l.], v. 23, n. 4, p.3-28, out. 2016.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. Certificação AQUA-HQE. Disponível em:< <http://vanzolini.org.br/aqua/certificacao-aqua-hqe/> >. Acesso em: 10 nov 2017.

GARCIA, E. E. C.; QUEIROZ, G. de C. – “Análise de ciclo de vida de embalagens para o mercado brasileiro”. Relatório Final Confidencial do Projeto FAPESP, 1999.

GASPARY, F. P.; LOPES, C. E. J. **Retrofit na revitalização do patrimônio histórico no Rio Grande do Sul, Brasil – um estudo de casos**. 3º Congresso Internacional da Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios. Rio de Janeiro, 2010.

GE, J.; LUO, X.; HU, J.; CHEN, S. Life cycle energy analysis of museum buildings: A case study of museums in Hangzhou. **Energy and Buildings**, v.109, 2015, p.127-134.

GEAS - Global Environmental Alert Service. Keeping Track of Our Changing Environment - From Rio to Rio +20 (1992-2012). Disponível em: < http://www.grid.unep.ch/products/3_Reports/GEAS_KeepingTrack.pdf > Acesso em: 10 nov. 2017

GOGGINS, J.; MORAN, P.; ARMSTRONG, A.; HAJDUKIEWICZ, M. Lifecycle environmental and economic performance of nearly zeroenergy buildings (NZEB) in Ireland. **Energy and Buildings**, v.116, 2016, p. 622-637.

GOMEZ; D. R., WATTERSON; J. D. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 2: Stationary Combustion**. IPCC, 2006

GU, N.; LONDON, K.; Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry, **Automation in Construction** vol. 19, 2010, p. 988–999.

GUIMARÃES, G. D. **Análise Energética na Construção de Habitações**. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Nuclear e Planejamento Energético. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1985.

GUINÉE, J. B., GORRÉE, M., HEIJUNGS, R., HUPPES, G., KLEIJIN, R., KONING, A. de, VAN OERS, L., SLEESWIJK, A. W., SUH, S., DE HAES, H. A. U. de., BRUJIN, H. de, VAN DUIN, R., HUIJBREGTS, M. A. J., LINDEIJER, E., ROORDA, A. A. H., DER VEN, B. L. V., WEIDEMA, B. P. Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards. Dordrecht, Holanda: Kluwer Academic Publishers, 2004. 687 p.

GULTEKIN, Pelin; ANUMBA, Chimay J.; LEICHT, Robert M.. Case study of integrated decision-making for deep energy-efficient retrofits. **International Journal Of Energy Sector Management**, v. 8, n. 4, p.434-455, 28 out. 2014. Emerald.

GRUPO PIZZINATTO. Catálogo de coberturas e acessórios. Disponível em:< <https://grupopizzinatto.com.br/catalogo-coberturas-acessorios/> >. Acesso em: 07 junho. 2018.

HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R (Ed.). Building Performance Simulation for Design and Operation. Londres: Spon Press. ISBN: 978-0415474146, 2011.

HIMPE, E.; TRAPPERS, L.; DEBACKER, W.; DELGHUST, M; LAVERGE, J.; JANSSENS A. , MOENS, J. e VAN HOLM, M. Life cycle energy analysis of a zero-energy house. **Building Research & Information**, [s.l.], v. 41, n. 4, p.435-449, ago. 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2013.777329>.

HU, Ming. Balance between energy conservation and environmental impact: Life-cycle energy analysis and life-cycle environmental impact analysis, **Energy and Buildings**, v.140, 2017, p.131–139.

HUBERMAN, N.; PEARLMUTTER, D. A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert. **Energy and Buildings**, 40. 2008. Pgs. 837 - 848.

ILTER, Deniz; ERGEN, Esin. BIM for building refurbishment and maintenance: current status and research directions. **Structural Survey**, v. 33, n. 3, p.228-256, 13 jul. 2015. Emerald.

INCONYLON. Site institucional. Disponível em: <
<http://www.inconylon.com.br/p/paginas/construcao/inje%C3%A7%C3%A3o+de+termopl%C3%A1sticos/Brise+Soleil+em+PVC/Ionas+para+cargas/pt> > Acesso em: 16 set. 2018

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Total energy use in buildings: Analysis and evaluation methods, 2013.

International Standard. **ISO 7730-2005**: Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Suíça, 2005.

Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia - IBICT. O Pensamento do Ciclo de Vida: uma História de Descobertas. LAMB, C. M. S. R. (coord.). Brasília, DF. 2012. 52 p.

Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia - IBICT. Desenvolvimento Sustentável e Avaliação do Ciclo de Vida. LAMB, C. M. S. R. (coord.). CNI/Ibict: Brasília, DF. 2014. 33 p.

Instituto Nacional de Eficiência Energética - INEE. A Eficiência Energética e o Novo Modelo do Setor Energético. Disponível em:
<http://www.inee.org.br/eficiencia_o_que_eh.asp?Cat=eficiencia>. Acesso em: 16 out. 2017

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO. Qualidade/Avaliação da Conformidade – PBACV. Disponível em: <
<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/pbacv/objetivo.asp> > Acesso em: 20 dez. 2017.

International Organization for Standardization (ISO) . **ISO 14025**: Environmental labels and declarations -Type III environmental declarations -Principles and procedures, Switzerland, 2006.

International Organization for Standardization (ISO). **ISO 14044**: Environmental management - life cycle assessment - Requirements and guidelines. Geneva, Switzerland, 2006.

JOHN, V. M. Materiais de Construção e o Meio Ambiente. In: ED. ISAIA, G. C. **Materiais De Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1^a. ed. São Paulo: IBRACON, v. I, 2007. Cap. 4.

KEELER, M.; BURKE, B. **Fundamentos de projeto de edificação sustentáveis**. Tradução Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2010. p. 107-151.

KOLOKOTSA, D.; NIKOLAOU, T.; STRAVRAKAKIS, G. Review on methodologies for energy benchmarking, rating and classification of buildings. **Advances in Building Energy Research**, v. 5, p. 53–70, 2011.

KWOK, A. G.; RAJKOVICH, N. B. Addressing climate change in comfort standards. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 18–22, 2010.

KNEIFEL, J. Life-cycle carbon and cost analysis of energy efficiency measures in new commercial buildings. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 3, p. 333–340, 2010.

LAMBERTS, Paulo; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ed. Universidade Federal de Santa Catarina. 2014.

LAMNATOUA, C.; BAIGB, H.; CHEMISANAA, D.; MALLICK, T. K. Life cycle energy analysis and embodied carbon of a lineardielectric-based concentrating photovoltaic appropriate forbuilding-integrated applications. **Energy and Buildings**, v.107, 2015, p.366-375.

LEGIFRANCE. LOI n° 2010-788 du 12 juillet 2010 – Article 228: portant l’engagement national pour l’environnement. Disponível em: <
http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexteArticle.do;jsessionid=5CC932075C1106B897A7CBA83C508092.tpdjo11v_1?idArticle=JORFARTI000022471699&cidTexte=JORFTEXT000022470434&dateTexte=29990101&categorieLien=id

LOBO, F. H. R. **Inventário de emissão equivalente de dióxido de carbono e energia embutida na composição de serviços em obras públicas: estudo de caso no estado do Paraná**. Dissertação de Mestrado, Setor de Tecnologia, PGCC, UFPR, Curitiba, PR, 2010.

LOUSSOS, P.; KONSTANTINOU, T.; DOBBELSTEEN, A. e BOKEL, R. Integrating Life Cycle Energy into the Design of Façade Refurbishment for a Post-War Residential Building in The Netherlands. **Buildings**, v. 5, n. 2, p. 622-649, 2015.

MA, Z.; COOPER, P.; DALY, D.; LEDO, L. Existing building retrofits: Methodology and state-of-theart. **Energy And Buildings**, dez. 2012,v. 55, p.889-902.

MACIAS, J.; ITURBURU, L.; RODRIGUEZ, C.; AGDAS, D.; BOERO, A.; SORIANO, G. Embodied and operational energy assessment of different construction methods

employed on social interest dwellings in Ecuador. **Energy and Buildings**, v.151, 2017, p. 107-120.

MACIEL, Ana Carolina Fernandes Maciel (2013). **Energia Incorporada de Fachadas Ventiladas. Estudo de Caso para Edificação Habitacional em Brasília, DF**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E. DM-018A/13, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 146p.

MAGALHÃES, L. C. **Orientações gerais para conservação de energia elétrica em prédios públicos**. PROCEL/Eletrobrás. 1ª Edição, Abril de 2011.

MAILE T.; FISCHER M.; BAZJANAC, V. **Building Energy Performance Simulation Tools - a Life-Cycle and Interoperable Perspective**. CIFE Working Paper nº WP107, Center for Integrated Facility Engineering at Stanford University, 2007

MANDLEY, S.; HARMSSEN, R.; WORRELL, E.. Identifying the potential for resource and embodied energy savings within the UK building sector. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 86, p.841-851, jan. 2015. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.044>.

MARTINS, MANUEL CARLOS REIS. **Alto desempenho ambiental reduz custos operacionais dos edifícios**. In: AEC WEB. Disponível em: <
https://www.aecweb.com.br/cont/a/alto-desempenho-ambiental-reduz-custos-operacionais-dos-edificios_2936>. Acesso em: 07 jun.2017

MASCARÓ, J. L.; MASCARÓ, L. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios**. Porto Alegre: Sagra: DC Luzzatto, 1992.

MASTRUCCI, A.; RAO, N.D. Decent housing in the developing world: Reducing life-cycle energy requirements. **Energy and Buildings**, v.152, 2017, p.629.

MC GRATH, T.; NANUKUTTAN, S.; OWENS, K.; BASHEER, M.; KEIG, P. 2013. **Retrofit versus new-build house using life-cycle assessment**. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability. V. 166 p. 122-137.
MOTTA, C. A. P. Qualidade das obras públicas em função da interpretação e prática dos fundamentos da Lei 8.666/93 e da legislação correlata. In: SIMPÓSIO

MULLER, C. **Informações sobre CMEIS de Vitória – ES**. [15 de março, 2017]. Vitória. Entrevista concedida à Juliana Grillo da S. Madeira.

MUNARIM, U. **Benefícios ambientais da preservação do patrimônio edificado: análise do ciclo de vida da reabilitação de edificações vs. nova construção**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

NACIONAL DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS, X, 2005, Recife. **Anais**. Recife: SINAOP, 2005.

NAPOLANO, L.; MENNA, C.; ASPRONE, D.; PROTA, A.; MANFREDI, G. 2015. **LCA-based study on structural retrofit options for masonry buildings**. Int J Life Cycle Assess. V. 20. p. 23 -35.

NICOLETTI, Ana Maria A. **Gestão predial sustentável - Um outro olhar para a redução de custos nas edificações existentes**. AEC WEB. Disponível em: < https://www.aecweb.com.br/cont/a/gestao-predial-sustentavel_14979 >. Acesso em: 07 jun.2017

NIKOLAOU, T.; Kolokotsa, D.; Stavrakakis, G.; Apostolou, A.; Munteanu, C. Managing Indoor Environments and Energy in Buildings with Integrated Intelligent Systems. **Green Energy and Technology**, p. 261, 2015.

OCHSENDORF, J. *et al.* **Methods, Impacts, and Opportunities in the Concrete Building Life Cycle**. Department of Civil and Environmental Engineering. Concrete Sustainability Hub and Massachusetts Institute of Technology. Research Report R11-01. Cambridge, 2011

OLIVEIRA, Luciana Bandeira de. **A influência do sistema de fachada viva em manta no ciclo de vida energético de uma residência unifamiliar em clima tropical**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no VisualDOE 3.1**. Relatório interno LabEEE – Florianópolis: UFSC, 2003. 19p.

Organização Mundial das Nações Unidas no Brasil – ONUBR. **Banco Mundial: serão necessários 3 planetas para manter atual estilo de vida da humanidade**. Disponível em: < <https://nacoesunidas.org/banco-mundial-serao-necessarios-3-planetras-para-manter-atual-estilo-de-vida-da-humanidade/> > Acesso em: 7 jun. 2017.

PAULSEN, J. S.; SPOSTO, R. M. A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case Study for the program “MY HOUSE MY LIFE”. **Energy and Buildings**. v.57. p. 95-102. 2013.

PENTTILÄ, H., RAJALA, M., FREESE, S., **Building Information modelling of modern historic buildings**, eCAADe2007. S. 607–S. 613.

PEREIRA, M. F. **Conteúdo energético e emissões de CO₂ em coberturas verdes, de telha cerâmica e de fibrocimento: estudo de caso**. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

PINI. TCPO **Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos**. 13. ed. Editora PINI. São Paulo, 2008.

PLATAFORMA SUCUPIRA CAPES. Qualis Periódicos. Disponível em: <<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/veiculoPublicacaoQualis/listaConsultaGeralPeriodicos.jsf>> Acesso em: 07 nov.2017

POMPONI, F.; A.E.P., POORANG; R., SOUTHALLB; ASHTONA, P.; FARR, E.R.P. Life cycle energy and carbon assessment of double skin fac, adesfor office refurbishments. **Energy and Buildings**, v.109, 2015, p.143-156.

PRASEEDA, K. I.; VENKATARAMA REDDY, B. V.; MANI, M. Embodied energy assessment of building materials in India using process and input-output analysis. **Energy and Buildings**, 86, 2015, Pags. 677-686.

PRETTI, Argeu Maioli. **Interoperabilidade BIM e BEM: avaliação de eficiência do sistema na análise energética de edifícios**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

RAMESH, T.; PRAKASH, Ravi; SHUKLA, K.k.. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 10, p.1592-1600, out. 2010. Elsevier BV.

RAMESH, T.; PRAKASH, Ravi; SHUKLA, K.k.. Life cycle energy analysis of a residential building with different envelopes and climates in Indian context. **Applied Energy**, [s.l.], v. 89, n. 1, p.193-202, jan. 2012. Elsevier BV.

RASHID, Ahmad Faiz Abd; YUSOFF, Sumiani. A review of life cycle assessment method for building industry. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 45, p.244-248, maio 2015. Elsevier BV.

RHOADS, J. **Low Carbon Retrofit Toolkit: A roadmap to success**. 2010. Disponível em: <<http://www.betterbuildingspartnership.co.uk/sites/default/files/media/attachment/bbp-low-carbon-retrofit-toolkit.pdf>>. Acesso em: 16 maio 2017.

RIBEIRO, A. **Qual a diferença entre Sketchup Make e Sketchup Pro?**. Disponível em: < <http://www.ibercad.pt/blog-ibercad-software-cad/qual-a-diferenca-entre-o-sketchup-make-e-o-sketchup-pro> >. Acessado em: 10 jan. 2018.

RODRÍGUEZ, G. C. *et al.* **Uncertainties and sensitivity analysis in building energy simulation using macroparameters**. *Energy and Buildings*, v. 67, p. 79–87, 2013.

ROMÉRO, M. DE A.; REIS, L. B. DOS. **Eficiência energética em edifícios**. 1a edição ed. Barueri - SP: Editora Manoele Ltda, 2012.

SAADE, M., SILVA, M; GOMES, V. A Avaliação do Ciclo de Vida – ACV, e a etapa de avaliação de impactos ambientais: considerações sobre o uso de diferentes métodos e seus reflexos nos resultados finais. **Natureza on line**, v. 3, p. 109-116, 2014

SARTORI, I. ; HESTNES, A. G. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. **Energy and Buildings**, 39. 2007. Pgs. 249 – 257.

SARTORI, T. G. ; SANTOS, K. P. B. ; CALMON, J. L. . **Análise da eficiência energética de edificações: ensaio de interoperabilidade e simulações de envoltória**. In: IX Encontro Nacional, VII Encontro Latino-americano, II Encontro Latino-americano e Europeu sobre edificações sustentáveis. **Anais...** , 2017. São Leopoldo, RS: Universidade do Vale do Rio do Sinos: Casa Leiria, 2017. p. 1-2158.

SARTORI, Thaís Gonçalves. **Medidas de retrofit em edifícios existentes típicos de um bairro: desempenho e análise do ciclo de vida energético**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

SCHEUER, C.; KEOLEIAN, G.A; REPPE, P. Life cycle energy and environmental performance of a new University building: modelling challenges and design implications. **Energy and Buildings**. 35, p. 1049-1064. Elsevier Science Ltd. 2003.

SEO, E.S.M., KULAY, L. A. **Avaliação do ciclo de vida: Ferramenta gerencial para tomada de decisão**. InterfacEHS. Revista de gestão integrada em saúde do trabalho e meio ambiente, 2006. Disponível em : <http://www.revistas.sp.senac.br/index.php/ITF/article/viewFile/421/358>

SEMOB. Projeto arquitetônico do CMEI Ana Maria Chaves Colares. Vitória, 2013.

SHARMA, A.; SAXENA, A.; SETHI, M. SHREE, V. Life cycle assessment of buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 15. 2011. Pgs. 871 – 875.

SILVA, A. S.; ALMEIDA, L.; GHISI, E. Comparação da eficiência energética da envoltória de habitações de interesse social pelos métodos prescritivo e simulação do RTQ-R. In: VIII ELACAC – Encontro latino-americano de conforto no ambiente construído, Brasília. **Proceedings...** . 2013. 10p.

SILVA, Bruna Vicente da. **Construção de Ferramenta Para a Avaliação do Ciclo de Vida de Edificações**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SILVA, G. A.; BRÄSHER, M.; LIMA, J. A. O.; LAMB, C. M. S. R. Avaliação do Ciclo de Vida: ontologia terminológica. Ibict: Brasília, DF. 2015. 72 p

SILVA, V. G.; SILVA, M. G. Seleção de materiais e edifícios de alto desempenho ambiental. In: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Cap. 5. p. 129-151.

SIMAPRO. Enabling fact-based sustainability. Disponível em: <https://simapro.com/>. Acesso em: 15 set. 2018

_____. Site institucional. Disponível em: < <http://www.cbcs.org.br/website/comite-tematico/atividades-em-andamento.asp?cctCode=F472AF7C-BB46-400C-84C2-7F6FBD7E347E> >. Acesso em: 14 dez. 2017.

SOARES, N.; BASTOS, J.; DIAS PEREIRA, L.; SOARES, A.; AMARAL, A. R.; ASADI, E.; RODRIGUES, E.; LAMAS, F. B.; MONTEIRO, H.; LOPES, M. A. R. e GASPAR, A. R. A review on current advances in the energy and environmental performance of buildings towards a more sustainable built environment. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 77, p.845-860, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.027>.

SOMBRIO, C. M. O. **ACV de painéis de blocos cerâmicos e concreto armado: um exercício de aplicação do manual do ILCD**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

STEPHAN, A.; CRAWFORD, R. H.; MYTTENAERE, K. de. Towards a comprehensive life cycle energy analysis framework for residential buildings. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 55, p.592-600, dez. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.09.008>.

STEPHAN, A.; CRAWFORD, R. H. A multi-scale life-cycle energy and greenhouse-gas emissions analysis model for residential buildings. **Architectural Science Review**, [s.l.], v. 57, n. 1, p.39-48, 4 out. 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00038628.2013.837814>.

STEPHAN, A.; CRAWFORD, R. H.; MYTTENAERE, K. de. A comprehensive assessment of the life cycle energy demand of passive houses. **Applied Energy**, [s.l.], v. 112, p.23-34, dez. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.05.076>.

SURAHMAN, U.; KUBOTA, T.; HIGASHI, O. Life Cycle Assessment of Energy and CO₂ Emissions for Residential Buildings in Jakarta and Bandung, Indonesia. **Buildings**, v. 5, n. 4, p. 1131-1155, 2015.

SPOSTO, R. M.; PAULSEN, J. S **Energia Incorporada em habitações de interesse social na fase de pré-uso: O caso do programa Minha Casa Minha Vida no Brasil**. Revista Oculum Ensaios, Campinas, SP, págs. 39-50, Janeiro-Junho 2014.

SWEENEY, J. F.; PATE, M.B.; CHOI, W. Life cycle production and costs of a residential solar hot water and grid-connected photovoltaic system in humid subtropical Texas. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v.8, n.5, 2016.

_____. Tabela de edificações comerciais, de serviços e públicos 2016. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabelas-comerciais.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

TAKANO, A.; PAL, S.K.; KUITTINEN, M. e ALANNE, K. Life cycle energy balance of residential buildings: A case study on hypothetical building models in Finland. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 105, p.154-164, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.060>.

TAVARES, Sérgio Fernando. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006. 225 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, PPGECC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS – AIA. **An Architect's Guide to Integrating Energy Modeling in the Design Process**. 2012. Disponível em: <<http://www.aia.org/practicing/AIAB094452>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

THORMARK, C. A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. **Building and Environment**. 37 p. 429 – 435. Elsevier Science Ltd. 2002.

THORMARK, C. The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. **Building and Environment**, 41, 2006, Pgs. 1019-1026.

TIAN, W. **A review of sensitivity analysis methods in building energy analysis**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 20, p. 411–419, 2013.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. Energia Incorporada em materiais de construção versus energia operacional. **Revista Internacional Construlink**; 27 – Jun. 2011, Vol 9, pgs, 5-12.

TRELOAR, Graham John. **A Comprehensive Embodied Energy Analysis Framework**. 1998. 291 f. Tese (Doutorado) - Faculty of Science and Technology, Deakin University, 1998.

TRIANA, M.A; LAMBERTS, R. e SASSI, P. Desafios e potencialidades de abordagens integradas no ciclo de vida para projeto de edificações com foco no desempenho termoenergético e nas mudanças climáticas. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., 2017, Balneário Camboriu. **Anais...**Santa Catarina: ENCAC, 2017.

ULMA Arquitetural Solutions. **Fachadas Ventiladas**. Disponível em: <<http://www.ulmaarchitectural.com/br/fachadas-ventiladas/downloads/catalogo-fachadas-ventiladas-brasil.pdf>> Acesso em: 17 set. 2018.

UNEP/SETAC. **Life Cycle Approaches – the road from analysis to practice**. United Nations Environment Program/Society of Environmental Toxicology and Chemistry. Paris, France, 2005. 89 p.

VERBEECK, G.; HENS, H. Life cycle inventory of buildings: A contribution analysis. **Building and Environment**, 45, 2010, Pgs. 964-967.

VILCHES, Alberto; GARCIA-MARTINEZ, Antonio; SANCHEZ-MONTAÑES, Benito. Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review. **Energy And Buildings**, v. 135, p.286-301, jan. 2017. Elsevier BV.

VITÓRIA. **SEMOB - Caderno de Diretrizes para elaboração de CMEI**. Vitória, 2008.

VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. **Automation in Construction**, n. 38,p. 109-127, 2014.

WEILER, V.; HARTER, H.; EICKER, U. Life cycle assessment of buildings and city quarters comparing demolition and reconstruction with refurbishment. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 134, p.319-328, jan. 2017. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.004>.

WONG, J. K. W.; ZHOU, J. Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review. **Automation in Construction**, n. 57,p. 156-165, 2015.

WOO, J. H.; MENASSA, C.; Virtual Retrofit Model for aging comercial buildings in a smart grid environment. **Energy and Buildings** vol. 80, 2014, p. 424–435.

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). **Energy efficiency in buildings – Transforming the market**. Geneva, 2009. Disponível em:<
<http://www.wbcscd.org/transformingthemarketeeb.aspx>>. Acesso em: 30 junho 2016.

YOHANIS, Y.G; NORTON, B. Life-Cycle operational and embodied energy for a generic single storey office building in the UK. **Energy**, v. 27, p. 77-92, 2002.

YOKOO, N; YOKOYAMA. K. (Ed). **Evaluation of Embodied Energy and CO_{2eq} for Buildings Construction (Annex 57). Overview of Annex 57 Results**. Japan: Institute for Building Environment and Energy Conservation, 2016.

YAN, C.; WANG, S.; MA, Z. e SHI, W. A simplified method for optimal design of solar water heating systems based on life-cycle energy analysis. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 74, p.271-278, fev. 2015. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.08.021>.

ZHANG, I. **Impact of model simplification on energy and comfort analysis for dwellings**. In: 13th CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 2013, França. Anais...Chambéry: IBPSA, 26-28 ago. p. 1184-1192. Disponível em:
<http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p_1502.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2017

ZOU, P. X. W; ZHANG, G; WANG, J. Understanding the key risks in construction projects in China. **International Journal of Project Management**, [S. l.], v. 25, n. 6, p. 601-614, 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Memorial de Cálculo (Quantitativo de materiais) - Valores calculados considerando a planilha orçamentária da obra, a planilha de composição de preços unitários do orçamento e o projeto arquitetônico do CMEI AMCC.

Quadro 12 - Memorial de cálculo (Início)

ITEM	DESCRIÇÃO	UND.	Qt. MEDIDA	VOLUME (M³)
'04	ESTRUTURAS			
'0401	FUNDAÇÕES PROFUNDAS (ESTAQUEAMENTO)			
'040106	Fornecimento de estaca pré-moldada de concreto, maciça, diâm. 230mm, carga 50t	m	3 293,00	546,98
'040110	Fornecimento de estaca pré-moldada de concreto, maciça, diâm. 260mm, carga 70t	und	197,7	41,96
'0402	INFRA-ESTRUTURA (FUNDAÇÃO)			
'040202	Fornecimento, preparo e aplicação de concreto magro com consumo mínimo de cimento de 250 kg/m³ (brita 1 e 2) - (5% de perdas já incluído no custo)	m³	94,778	94,78
'040203	Fornecimento e aplicação de concreto USINADO Fck=25 MPa - considerando lançamento MANUAL para INFRA-ESTRUTURA (5% de perdas)	m³	334,924	334,92
'0403	SUPER-ESTRUTURA			
'040302	Fornecimento e aplicação de concreto USINADO Fck=25 MPa - considerando BOMBEAMENTO (5% de perdas) (6% de taxa p/concr.bombeavel)	m³	456,61	456,61
'05	PAREDES E PAINÉIS			
'0501	PLACAS E PAINÉIS DIVISÓRIOS			
'050101	Divisória de granito cinza andorinha polido, esp. 2 cm, assentada com argamassa de cimento e areia no traço 1:3	m²	45,7	0,91
'0502	ALVENARIA DE VEDAÇÃO			
'050201	Alvenaria de blocos cerâmicos 10 furos 10x20x20cm, assentados c/argamassa de cimento, cal hidratada CH1e areia traço 1:0,5:8, esp. das juntas 12mm e esp. das paredes s/revestimento, 10cm (bloco comprado na fábrica, posto obra)	m²	3 380,76	338,07
'050202	Cobogó de concreto tipo cruzeta 10x30x30cm, assentados com argamassa de cimento e areia no traço 1:4, espessura das juntas 10mm e espessura da parede 15 cm	m²	62,31	0,94
'050203	Cobogó de concreto tipo cruzeta 15x30x30cm, assentados com argamassa de cimento e areia no traço 1:4, espessura das juntas 10mm e espessura da parede 15 cm	m²	10,1	0,15
'050204	Cobogó de concreto tipo cruzeta 15x20x20cm, assentados com argamassa de cimento e areia no traço 1:4, espessura das juntas 10mm e espessura da parede 15 cm	m²	30,08	0,46
'050206	Cobogó de concreto tipo veneziana 10x30x30cm, assentados com argamassa de cimento e areia no traço 1:4, espessura das juntas 10mm e espessura da parede 10 cm	m²	1,44	0,02
'0503	VERGAS			
'050301	Verga reta de concreto armado 10 x 5 cm, Fck = 15 MPa, inclusive forma, armação e desforma	m	227,45	1,14
'06	ESQUADRIAS DE MADEIRA			
'0601	MARCOS E ALIZARES			
'060101	Marco em madeira de lei tipo Paraju ou equivalente com 15x3 cm de batente, nas dimensões de 0.70 x 2.10 m	und	1	0,019
'060102	Marco em madeira de lei tipo Paraju ou equivalente com 15x3 cm de batente, nas dimensões de 0.80 x 2.10 m	und	53	1,19
'060103	Marco de madeira de lei tipo Paraju ou equivalente com 15x3 cm de batente, nas dimensões de 1.00 x 2.10 m	und	1	0,023
'060104	Marco de madeira de lei tipo Paraju ou equivalente com 15x3 cm de batente, nas dimensões de 1.60 x 2.10 m	und	1	0,026
'0602	Porta em madeira lei, tipo baia, mexicana, esp. 35mm, p/ verniz, incl. alizares, dobradiças e fech. latão cromado marca ref. IMAB linha 1000, c/ maçaneta ref. 921 e espelho ref. 057, excl. marco, dim.:			
'060201	0.80 x 2.10 m (P1)	und	16	0,94
'0603	Porta tipo baia em madeira de lei tipo Paraju ou equiv. esp. 30mm p/ pintura, inclusive alizares, dobradiças e fechadura externa em latão cromado marca ref. IMAB, excl. marco, nas dimensões:			
'060301	0.80 x 2.10 m (P1A)	und	10	0,50
'0604	Porta em madeira de lei, tipo mexicana, esp. 35mm, p/ verniz, c/ visor em vidro laminado, incl. alizares, dobradiças e fech. latão cromado marca ref. IMAB linha 1000, c/ maçaneta ref. 921 e espelho ref. 057, excl. marco, dim.:			
'060401	0.80 x 2.10 m (P1B)	und	1	0,058
'060402	1.60 x 2.10 m (P6) - 2 folhas	und	1	0,116
'0605	Porta em madeira de lei tipo angelim pedra ou equiv.c/enchimento em madeira 1a. qualidade, esp. 30 mm p/ pintura, inclusive alizares, dobradiças e fechadura int. em latão cromado marca ref. IMAB, exclusive marco, nas dim.:			
'060501	0.80 x 2.10 m (P2)	und	21	1,05
'060502	0.70 x 2.10 m (P3)	und	1	0,044
'0606	Porta em madeira lei tipo angelim pedra ou equiv. c/ ench. madeira de 1ª qualid. esp 35mm, visor de vidro laminado, incl. alizar, dobradiças e fech. IMAB linha 1000, c/ maçaneta ref. 921 e espelho ref. 057, excl. marco, nas dim.:			
'060601	1.00 x 2.10 m (P8)	und	1	0,063
'0607	Porta em mad. lei tipo angelim pedra ou equiv.c/ench. madeira 1a. qualid., esp 35mm p/ pintura, proteção inox 40cm, barra apoio Docol 40cm, incl. alizares, dobrad. e fech. Imab 1000, maçaneta 921, espelho 057, excl. marco, dim:			
'060701	0.80 x 2.10 m (P20)	und	5	0,29

Fonte: Adaptado de SEMOHAB (2010)

Quadro 12 – Memorial de Cálculo (continua)

ITEM	DESCRIÇÃO	UND.	Qt. MEDIDA	PESO (KG)	PINTURA (L)
'07	ESQUADRIAS METÁLICAS				
'0701	Janela de correr para vidro em alumínio anodizado cor natural, com parte inferior fixa e superior maxim-ar/fixa, completa, incl. puxador com tranca, caixilho e contramarco, nas dimensões:				
'070101	4.50 x 1.90 m (J1)	und	13	283,352	-
'070102	3.50 x 1.90 m (J2)	und	7	130,881	-
'070103	1.80 x 1.90 m (J3)	und	17	94,00	-
'070104	1.00 x 1.90 m (J4)	und	2	21,90	-
'070105	2.40 x 1.90 m (J5)	und	1	15,288	-
'0702	Janela de correr para vidro em alumínio anodizado cor natural, completa, incl. puxador com tranca, caixilho e contramarco, nas dimensões:				
'070201	2.00 x 1.30 m (J6)	und	2	12,672	-
'070202	1.20 x 1.10 m (J7)	und	2	9,143	-
'070203	0.90 x 1.10 m (J8)	und	1	4,09	-
'070204	0.80 x 1.10 m (J9)	und	1	3,93	-
'070205	1.80 x 1.40 m (J10)	und	3	18,767	-
'0703	Báscula para vidro em alumínio anodizado cor natural, com parte inferior fixa, completa, incl. puxador com tranca, caixilho e contramarco, nas dimensões:				
'070301	3.00 x 0.80 m (B1)	und	5	54,749	-
'070302	1.80 x 0.80 m (B2)	und	15	108,465	-
'070303	2.40 x 0.80 m (B3)	und	4	36,362	-
'0704	Porta de abrir tipo veneziana em alumínio anodizado cor natural, com bandeira fixa, completa, inclusive fechadura, caixilho e contramarco, nas dimensões:				
'070401	0.80x2.50 m (P4)	und	4	56,22	-
'070402	1.60x2.50 m (P5) - 2 folhas	und	3	73,708	-
'0705	Porta de abrir tipo veneziana em alumínio anodizado cor natural, completa, inclusive fechadura, caixilho e contramarco, nas dimensões:				
'070501	0.70 x 1.60 m (P13)	und	3	25,345	-
'070502	0.60 x 1.60 m (P14)	und	1	8,823	-
'070503	0.60 x 1.70 m (P15)	und	1	9,342	-
'070504	0.60 x 0.80 m (P16)	und	17	79,298	-
'070505	0.60 x 2.10 m (P19)	und	1	12,066	-
'0706	Porta de abrir em alumínio anodizado cor natural, com parte para vidro e parte em veneziana, completa, inclusive fechadura, caixilho e contramarco, nas dimensões:				
'070601	0.60 x 2.10 m (P18)	und	1	12,066	-
'0707	Porta de abrir em perfil de alumínio anodizado cor natural e tela tipo mosquiteiro de inox malha 24, BWG 28 e abertura 0.70mm, dobradiças com mola vai e vem, conforme detalhe, nas dimensões:				
'070701	1.00 x 2.10 m (P17)	und	2	4,384	-
'0710	GRADES E PORTÕES				
'071001	Portão de abrir de ferro galvanizado, com tubo DIN 2440 Ø 1 1/2" e 1" e chapa vincada nº 14, inclusive pintura esmalte sintético brilhante cor branca sobre fundo anticorrosivo, conf. detalhe, dim. 2.00 x 2.50 m (P7) - 2 folhas	und	1	87,10	1,44
'071003	Portão de abrir de ferro galvanizado, com tubo DIN 2440 Ø 1 1/2" e 1", inclusive pintura esmalte sintético brilhante cor branca sobre fundo anticorrosivo, conforme detalhe, dim. 0.80 x 1.10 m (P10)	und	2	8,64	1,90
'071004	Portão de abrir de ferro galvanizado, com tubo DIN 2440 Ø 1 1/2" e 1" e chapa vincada nº 14, inclusive pintura esmalte sintético brilhante cor branca sobre fundo anticorrosivo, conf. detalhe, dim. 1.00 x 2.50 m (P12)	und	2	37,22	1,80
'071005	Portão de abrir de ferro galvanizado, com tubo DIN 2440 Ø 1 1/2" e 1" e chapa vincada nº 14, inclusive pintura esmalte sintético brilhante cor branca sobre fundo anticorrosivo, conf. detalhe, dim. 1.60 x 1.60 m (P21) - 2 folhas	und	1	32,28	0,92
'071006	Portão de abrir de ferro galvanizado, com tubo Ø 2" e tela de arame galvanizado 1 1/2", inclusive pintura esmalte sintético brilhante cor branca sobre fundo anticorrosivo, conforme detalhe, dim. 1.40 x 2.50 m (PQ) - 2 folhas	und	1	21,40	1,26
'071007	Portão de abrir de ferro galvanizado, com tubo Ø 2" e tela de arame galvanizado 1 1/2", inclusive pintura esmalte sintético brilhante cor branca sobre fundo anticorrosivo, conforme detalhe, dim. 0.80 x 2.50 m (PY)	und	1	8,81	0,72
'071008	Portão de abrir de ferro galvanizado, com tubo Ø 1 1/2" e 1" e chapa vincada nº 14, inclusive pintura esmalte sintético brilhante cor branca sobre fundo anticorrosivo, conforme detalhe, dim. 1.00 x 2.40 m (PF)	und	2	84,10	0,86
'071009	Portão de correr de ferro galvanizado, com tubo Ø 1 1/2" e chapa vincada nº 14, trilho tubo Ø 3/4", inclusive pintura esmalte sintético brilhante cor branca sobre fundo anticorrosivo, conforme detalhe, dim. 4.00 x 2.50 m (PT)	und	1	131,86	3,45
'071010	Portão de correr de ferro galvanizado, com tubo Ø 2 1/2" e 3/4" e chapa vincada nº 14, trilho tubo Ø 1/2", incl. pintura esmalte sintético brilhante cor branca sobre fundo anticorrosivo, conforme detalhe, dim. 3.96 x 1.80 m (PE)	und	1	40,48	2,56
'071011	Portão de abrir de ferro galvanizado, com tubo DIN 2440 Ø 1 1/2" e 1" e chapa vincada nº 14, inclusive pintura esmalte sintético brilhante cor branca sobre fundo anticorrosivo, conf. detalhe, dim. 1.00 x 2.40 m (PO)	und	1	19,37	0,86
'071013	Gradil de ferro galvanizado, h=1.10m, com tubo Ø 1 1/2" e 1", inclusive pintura esmalte sintético brilhante cor branca sobre fundo anticorrosivo, conforme detalhe	m	40,21	192,62	30,56
'071014	Gradil de ferro galvanizado, h=1.60m, com tubo Ø 1 1/2" e 1" e chapa vincada nº 14, inclusive pintura esmalte sintético brilhante cor branca sobre fundo anticorrosivo, conforme detalhe (P21)	m	1,1	32,28	0,63
'071015	Gradil de ferro galvanizado, h=2.50m, com tubo Ø 1 1/2" e 1" e chapa vincada nº 14, inclusive pintura esmalte sintético brilhante cor branca sobre fundo anticorrosivo, conforme detalhe (P7)	m	1,95	87,10	1,76
'071016	Gradil de ferro galvanizado, h=1.85m, com tubo Ø 2", tela arame 1 1/2" e cantoneira de 1/2" x 1/2" x 1/8", inclusive pintura esmalte sintético brilhante cor branca sobre fundo anticorrosivo, conforme detalhe (caixas de areia)	m	28,3	156,00	20,94

Fonte: Adaptado de SEMOHAB (2010)

Quadro 12 – Memorial de Cálculo (continua)

ITEM	DESCRIÇÃO	UND.	Qt. MEDIDA	VOLUME (M³)
'08	VIDROS			
'0801	VIDROS PARA ESQUADRIAS			
'080101	Vidro plano transparente liso, com 4 mm de espessura	m2	348,49	1,39
'080102	Vidro fantasia mini-boreal, com 4 mm de espessura	m2	39,92	0,16
'0802	ESPELHOS			
'080202	Espelho prata 4mm com bisote de 2cm nas bordas, colado sobre caixa de compensado naval de 20mm e sarrafo de 5x2.5cm, revestida com laminado melamínico cor branco	m2	9,45	0,04
'080203	Espelho prata 4mm colado sobre chapa de compensado, com moldura de madeira 5 x 2.5 cm pintada com esmalte sintético sobre fundo nivelador, dimensões 4.58 x 1.68 m (sala de dança)	und	1	0,03
'080204	Espelho prata 4mm colado sobre chapa de compensado, com moldura de madeira 5 x 2.5 cm pintada com esmalte sintético sobre fundo nivelador, dimensões 3.58 x 1.68 m (sala de dança)	und	1	0,02
'080205	Espelho prata 4mm colado sobre chapa de compensado, com moldura de madeira 5 x 2.5 cm pintada com esmalte sintético sobre fundo nivelador, dimensões 1.24 x 1.416 m - (grupos II, III, IV e V, repouso e brinquedoteca)	und	9	0,06
'080206	Espelho prata 4mm colado sobre chapa de compensado, com moldura de madeira 5 x 2.5 cm pintada, dimensões 1.24 x 1.416 m, inclusive barra de ferro galvanizado Ø 1 1/2" pintada (berçários e grupo I)	und	4	0,03
'09	COBERTURA			
'0901	ESTRUTURA DE MADEIRA			
'090101	Estrutura de madeira de lei tipo Paraju ou equivalente para telhado com telha cerâmica tipo capa e canal, com pontaletes, terças, caibros e ripas, inclusive tratamento com cupinícia, exclusive telhas	m2	1 475,76	73,78
'0902	TELHADO			
'090201	Cobertura nova de telhas cerâmicas tipo Duplan (capa canal), cor branca, inclusive cumeeira (telhas compradas na praça de Vitória, posto obra) (área de projeção horizontal; incl. 35%)	m2	1 475,76	14,75
'11	TETOS E FORROS			
'1101	REVESTIMENTO COM ARGAMASSA			
'110101	Chapisco com argamassa de cimento e areia média ou grossa lavada no traço 1:3, espessura 5 mm	m2	2 360,99	11,80
'110102	Reboco tipo paulista com argamassa de cimento, cal hidratada CH1 e areia lavada traço 1:0.5:6, espessura 25 mm	m2	1 745,32	43,63
'1102	REBAIXAMENTOS			
'110201	Forro em gesso acabamento tipo liso	m2	325,6	9,76
'110202	Linha de sombra 3 x 3 cm para forro de gesso	m	336,7	0,30
'12	REVESTIMENTO DE PAREDES INTERNAS E EXTERNAS			
'1201	REVESTIMENTO COM ARGAMASSA			
'120101	Chapisco com argamassa de cimento e areia média ou grossa lavada no traço 1:3, espessura 5 mm	m2	7 020,76	35,10
'120102	Emboço com argamassa de cimento, cal hidratada CH1 e areia média ou grossa lavada no traço 1:0.5:6, espessura 20 mm	m2	2 108,53	42,17
'120103	Reboco tipo paulista com argamassa de cimento, cal hidratada CH1e areia média ou grossa lavada no traço 1:0.5:6, espessura 25 mm	m2	4 685,67	117,14
'1202	ACABAMENTOS			
'120202	Cerâmica 10 x 10 cm, marca de referência Eliane, série Arquitetural, cor branca, assentada com argamassa pré-fabricada de cimento colante, inclusive rejuntamento	m2	887,22	5,32 (cerâmica) 2,66 (Argamassa)
'120205	Roda-parede de madeira de lei tipo Paraju ou equivalente de 5 x 2 cm, fixado com parafuso e bucha plástica nº 8	m	762,96	0,76
'13	PISOS INTERNOS E EXTERNOS			
'1301	LASTRO DE CONTRAPISO			
'130101	Regularização de base para revestimento de pisos com argamassa de alta resistência, empregando argamassa de cimento e areia no traço 1:3, espessura de 3 cm	m2	2 428,99	72,86
'130102	Regularização de base para revestimento vinílico, com argamassa de cimento e areia no traço 1:5, espessura 3 cm	m2	200,75	6,02
'1302	ACABAMENTOS			
'130201	Piso de argamassa de alta resistência tipo granilite ou equivalente de qualidade comprovada, espessura de 10mm, com juntas plástica em quadros de 1m, na cor natural, com acabamento polido, inclusive regularização	m2	1 668,27	16,68
'130202	Piso de argamassa de alta resistência tipo granilite ou equivalente de qualidade comprovada, espessura de 10mm, com juntas plástica em quadros de 1m, na cor natural, com acabamento anti-derrapante, inclusive regularização	m2	743,47	7,43
'130204	Piso em cimentado camurçado executado com argamassa de cimento e areia no traço 1:3, esp. 3 cm	m2	8	0,24
'130206	Piso em placas de granito cinza andorinha polido, esp. 2 cm, assentado com argamassa de cimento colante, inclusive rejuntamento (degrau)	m2	10,36	0,2 (granito) 0,03 (argamassa)
'1303	DEGRAUS, RODAPÉS, SOLEIRAS E PEITORIS			
'130301	Rodapé de granito cinza andorinha polido, com aresta boleada, assentado com argamassa de cimento, cal hidratada CH1 e areia no traço 1:0.5:8, incl. rejuntamento com cimento branco, dim. 10 x 1.5 cm, conf. detalhe	m	1 449,07	2,17 (granito) 4,34 (argamassa)
'130302	Soleira de granilite antiderrapante, largura de 15 cm	m	24	0,072
'130303	Soleira de granito cinza andorinha polido, esp. 2 cm e largura de 15 cm	m	5,3	0,016
'130305	Peitoril de granito cinza andorinha polido, esp. 3cm e largura de 15 cm	m	174	0,784

Fonte: Adaptado de SEMOHAB (2010)

Quadro 12 – Memorial de Cálculo (continua)

ITEM	DESCRIÇÃO	UND.	Qt. MEDIDA	PESO PVC (KG)	PESO AÇO GALV.(KG)
'14	INSTALAÇÕES HIDROSSANITÁRIAS				
'1401	ENTRADA DE ÁGUA				
'1402	ALIMENTAÇÃO PARA RESERVATÓRIO				
'140201	Alimentação de reservatório inferior, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e registros	und	1	33,75	-
'140202	Alimentação do reservatório superior, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e registros	und	1	15,18	-
'1403	INSTALAÇÃO HIDRÁULICA DO CONJUNTO DE BOMBAS				
'140301	Instalação hidráulica do conjunto de bombas, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e registros	und	1	1,11	4,18
'1404	PRUMADAS HIDROSSANITÁRIAS				
'140401	Barrilete, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e registros da limpeza, extravasor e suspiro	und	2	103,88	-
'140402	Barrilete, com tubo de PVC tipo Aquatherm, inclusive conexões e registros	und	1	100,14	-
'140403	Prumada de água fria - AF 01, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e registro de gaveta com canopla cromada	und	1	1,08	-
'140404	Prumada de água fria - AF 02, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e 2 registros de gaveta com canopla cromada	und	1	1,82	-
'140405	Prumada de água fria - AF 03, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e registro de gaveta com canopla cromada	und	1	1,02	-
'140406	Prumada de água fria - AF 04, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e registro de gaveta com canopla cromada	und	1	0,50	-
'140407	Prumada de água fria - AF 05 / AF 08, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e 2 registros de gaveta com canopla cromada	und	1	3,94	-
'140408	Prumada de água fria - AF 06, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e 2 registros de gaveta com canopla cromada	und	1	4,43	-
'140409	Prumada de água fria - AF 07, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e 2 registros de gaveta com canopla cromada	und	1	4,45	-
'140410	Prumada de água fria - AF 08, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e 2 registros de gaveta com canopla cromada	und	1	3,94	-
'140412	Prumada de água fria - AF 09, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e registro de gaveta com canopla cromada	und	1	0,50	-
'140413	Prumada de água fria - AF 10A, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e registro de gaveta com canopla cromada	und	1	9,96	-
'140414	Prumada de água fria - AF 10B, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e 2 registros de gaveta com canopla cromada	und	1	3,97	-
'140415	Prumada de água fria - AF 10C, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e 2 registros de gaveta com canopla cromada	und	1	3,97	-
'140416	Prumada de água fria - AF 10D, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e registro de gaveta com canopla cromada	und	1	0,50	-
'140417	Prumada de água fria - AF 11, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e registro de gaveta com canopla cromada	und	1	0,89	-
'140418	Prumada de água fria - AF 13, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e registro de gaveta com canopla cromada	und	1	1,27	-
'140419	Prumada de água fria - AF 13A, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e registro de gaveta com canopla cromada	und	0	0,88	-
'140420	Prumada de água fria - AF 14, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e registro de gaveta com canopla cromada	und	1	4,15	-
'140421	Prumada de água fria - AF 14A, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e registro de gaveta com canopla cromada	und	0	0,74	-
'140422	Prumada de água fria - AF 15, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e registro de gaveta com canopla cromada	und	1	1,49	-
'140424	Prumada de água fria - AF 16, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e registro de gaveta com canopla cromada	und	1	2,15	-
'140425	Prumada de água fria - AF 17, com tubo de PVC soldável, inclusive conexões e registro de gaveta com canopla cromada	und	1	0,52	-
'140427	Prumada de água quente - AQ 01, com tubo de PVC soldável Aquatherm, inclusive conexões e registro de gaveta com canopla cromada	und	1	2,37	-
'140428	Prumada de água quente - AQ 02, com tubo de PVC soldável Aquatherm, inclusive conexões e 2 registros de gaveta com canopla cromada	und	1	2,77	-
'140429	Prumada de água quente - AQ 03, com tubo de PVC soldável Aquatherm, inclusive conexões e 2 registros de gaveta com canopla cromada	und	1	2,65	-
'140430	Prumada de água quente - AQ 04, com tubo de PVC soldável Aquatherm, inclusive conexões e registro de gaveta com canopla cromada	und	1	2,37	-
'140431	Prumada de água quente - AQ 05, com tubo de PVC soldável Aquatherm, inclusive conexões e registro de gaveta com canopla cromada	und	1	12,10	-
'140432	Prumada de água quente - AQ 06, com tubo de PVC soldável Aquatherm, inclusive conexões e registro de gaveta com canopla cromada	und	1	2,37	-

Fonte: Adaptado de SEMOHAB (2010)

Quadro 12 – Memorial de cálculo (continua)

ITEM	DESCRIÇÃO	UND.	Qt. MEDIDA	PESO PVC (KG)	PESO AÇO GALV.(KG)
'140434	Tubo de queda - TQ 01, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões	und	1	11,52	-
'140435	Tubo de queda - TQ 02, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões	und	1	6,30	-
'140436	Tubo de queda - TQ 03, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões	und	1	6,25	-
'140437	Tubo de queda - TQ 04, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões	und	1	5,37	-
'140438	Tubo de queda - TQ 05, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões	und	1	11,81	-
'140439	Tubo de queda - TQ 06, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões	und	1	5,37	-
'140440	Tubo de ventilação - TV 01, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões	und	1	3,60	-
'140441	Tubo de ventilação - TV 02, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões	und	1	7,05	-
'140442	Tubo de ventilação - TV 03, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões	und	1	12,19	-
'140443	Tubo de ventilação - TV 04, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões	und	1	12,19	-
'140446	Tubo de ventilação - TV 07, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões	und	1	6,98	-
'140447	Tubo de ventilação - TV 08, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões	und	1	6,98	-
'140448	Tubo de ventilação - TV 09, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões	und	1	12,19	-
'140449	Prumada de água pluvial - AP 01, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões e ralo hemisférico	und	1	3,95	-
'140450	Prumada de água pluvial - AP 02, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões e ralo hemisférico	und	1	11,08	-
'140451	Prumada de água pluvial - AP 03, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões e ralo hemisférico	und	1	14,59	-
'140452	Prumada de água pluvial - AP 04, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões e ralo hemisférico	und	1	9,32	-
'140453	Prumada de água pluvial - AP 05, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões e ralo hemisférico	und	1	9,32	-
'140454	Prumada de água pluvial - AP 06, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões e ralo hemisférico	und	1	9,32	-
'140455	Prumada de água pluvial - AP 07, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões e ralo hemisférico	und	1	9,22	-
'140456	Prumada de água pluvial - AP 08, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões e ralo hemisférico	und	1	9,22	-
'140458	Prumada de água servida - AS 01, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões	und	1	9,06	-
'140459	Prumada de água servida - AS 02, com tubo de PVC soldável para esgoto, inclusive conexões	und	1	9,06	-
'1405	PONTOS HIDRO-SANITÁRIOS				
'140501	Ponto de água fria (lavatório, tanque, pia de cozinha, ducha higiênica, caixa de descarga, bebedouro, etc...)	pt	83	80,51	-
'140502	Ponto com registro de pressão (chuveiro, etc...)	pt	32	29,76	-
'140503	Ponto para chuveiro com misturador monocomando, inclusive tubulação de água quente e água fria, exclusive misturador	pt	17	49,13	-
'140504	Ponto de válvula de descarga, exclusive válvula	pt	32	64,00	-
'140505	Ponto de válvula de descarga para mictório, exclusive válvula	pt	2	3,94	-
'140507	Ponto para esgoto primário (vaso sanitário)	pt	32	151,04	-
'140508	Ponto para esgoto secundário (pia, lavatório, mictório, tanque, bebedouro, etc...)	pt	68	140,08	-
'140509	Ponto para caixa sifonada, inclusive caixa sifonada PVC 150x150x50 mm, com grelha em PVC	pt	45	149,40	-
'140510	Ponto para ralo sifonado, inclusive ralo sifonado PVC 100x40 mm, com grelha em PVC	pt	18	11,52	-
'140511	Ponto de torneira de jardim	pt	2	13,34	-
'1407	TUBULAÇÃO DE LIGAÇÃO DE CAIXAS				
'140701	Tubo PVC rígido para esgoto no diâmetro de 100mm incluindo escavação e aterro com areia	m	94	22,76	-
'140702	Tubo PVC rígido para esgoto no diâmetro de 150mm incluindo escavação e aterro com areia	m	188,9	364,57	-

Fonte: Adaptado de SEMOHAB (2010)

Quadro 12 – Memorial de cálculo (continua)

ITEM	DESCRIÇÃO	UND.	Qt. MEDIDA	PESO PVC (KG)	PESO AÇO GALV.(KG)
'15	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS				
'1502	QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO				
'150201	Quadro de distribuição de 24 circuitos (QDG) para instalação de embutir, marca ref. Cemar, incl. disjuntor geral 3x200A, barramento principal p/ 250A e bar. secundário p/corrente 120A, eletrodutos e cabos elétricos	und	1	79,36	50,54
'150202	Quadro de distribuição de 36 circuitos (QDL-01) para instalação de embutir, marca ref. Cemar, barramento trifásico p/In=150A, incl. eletrodutos e cabos elétricos desde o QDG até o mesmo	und	1	68,66	24,40
'150203	Quadro de distribuição de 24 circuitos (QDL-02) para instalação de embutir, marca ref. Cemar, barramento trifásico p/In=150A, incl. eletrodutos e cabos elétricos desde o QDG até o mesmo	und	1	48,83	11,99
'150204	Quadro de distribuição de 24 circuitos (QDL-03) para instalação de embutir, marca ref. Cemar, barramento trifásico p/In=150A, incl. eletrodutos e cabos elétricos desde o QDG até o mesmo	und	1	22,10	9,99
'150205	Quadro de distribuição de 36 circuitos (QDL-04) para instalação de embutir, marca ref. Cemar, barramento trifásico p/In=150A, incl. eletrodutos e cabos elétricos desde o QDG até o mesmo	und	1	61,58	23,00
'150206	Quadro de distribuição de 24 circuitos (QDL-05) para instalação de embutir, marca ref. Cemar, barramento trifásico p/In=150A, incl. eletrodutos e cabos elétricos desde o QDG até o mesmo	und	1	26,54	19,34
'150207	Quadro de distribuição de 6 circuitos (QDL-G) para instalação de embutir, marca ref. Cemar, sem barramento, incl. disjuntor monopolar e cabos elétricos desde o QDL-02 até o mesmo (guarita)	und	1	11,06	18,12
'1503	PONTOS ELÉTRICOS				
'150301	Ponto padrão de luz no teto	pt	285	1 100,10	94,05
'150302	Ponto padrão de luz na parede	pt	38	115,14	12,54
'150303	Ponto padrão de tomada 2 polos mais terra	pt	137	584,99	45,21
'150305	Ponto padrão de tomada para ar refrigerado	pt	4	20,56	2,64
'150306	Ponto padrão de interruptor de 1 tecla simples	pt	32	88,64	5,60
'150307	Ponto padrão de interruptor de 2 teclas simples	pt	30	87,00	10,50
'150308	Ponto padrão de interruptor de 3 teclas simples	pt	4	15,84	2,08
'150309	Ponto padrão de interruptor de 1 tecla paralelo	pt	2	2,04	1,16
'150310	Ponto padrão de interruptor de 2 teclas paralelo	pt	2	15,00	2,35
'150311	Ponto padrão de interruptor para ventilador	pt	83	235,72	19,92
'150312	Ponto padrão de ventilador no teto	pt	89	351,55	39,16
'150313	Ponto padrão de campainha	pt	1	4,23	0,24
'150314	Ponto de poste para iluminação externa	pt	10	65,50	5,10
'150315	Ponto para relé fotoelétrico	pt	6	16,62	1,05
'150316	Ponto de força para máquina xerox	pt	1	7,77	0,67
'150317	Ponto de força para o motor do portão elétrico	pt	1	42,80	2,35
'150318	Ponto de força para bomba de incêndio trifásica	pt	1	30,39	3,54
'150319	Ponto para instalação de bombas d'água trifásica de 1cv, inclusive automático de bóia e quadro de comando de bombas, exclusive bombas	pt	2	23,62	5,82
'16	OUTRAS INSTALAÇÕES				
'1601	INSTALAÇÃO DE REDE LÓGICA				
'160101	Ponto para rede lógica em cx. 4x2" amarela de pvc rígido com 1 conector RJ-45, eletrodutos e cabo UTP - cat-5, conforme projeto	und	8	23,60	23,60
'1602	INSTALAÇÃO DE SPDA				
'160201	Descida à malha de terra, incluindo cabo de cobre nú 50mm2, presilha, suportes, isoladores, conectores e eletroduto	und	8	28,08	28,08
'160202	Condutor de cobre nú, seção de 50mm2, inclusive suportes isoladores e acessórios de fixação, conf. projeto	m	192	32,64	32,64
'160205	Condutor de cobre nú, seção de 35mm2, inclusive suportes isoladores e acessórios de fixação, conforme projeto (+/- 28m/und)	m	702,3	119,39	119,39
'1603	INSTALAÇÃO DE INCÊNDIO				
'160306	Ponto para iluminação de emergência competo, inclusive bloco autônomo de iluminação 2x9W com tomada universal	und	24	100,56	100,56
'1604	INSTALAÇÃO DE AR CONDICIONADO TIPO SPLIT				
'160401	INSTALAÇÃO DE LINHAS FRIGORÍGENAS PARA INSTALAÇÃO DE AR CONDICIONADO TIPO				
'16040101	Índice de preço p/instalação e fixação de linha frigorígena para conjunto de aparelhos de ar cond. mini Split, c/1unidade condensadora e 1 unidade evaporadora de 9.000 BTU's/h, incl. execução de teste, compr.médio 9.0m, conf.proj.	und	1	3,60	3,60
'16040102	Índice de preço p/instalação e fixação de linha frigorígena para conjunto de aparelhos de ar cond. Split, c/1unidade condensadora e 1 unidade evaporadora de 24.000 BTU's/h, incl. execução de teste, compr.médio 10.0m, conf.proj.	und	1	9,20	9,20
'16040103	Índice de preço p/instalação e fixação de linha frigorígena para conjunto de aparelhos de ar cond. Split, c/1unidade condensadora e 1 unidade evaporadora de 36.000 BTU's/h, inclusive execução de teste, compr.médio 8.0m, conf.proj.	und	1	9,20	9,20
'1606	INSTALAÇÃO DE GÁS				
'160601	Instalação completa de gás encanado, com 4 cilindros cheios, válvulas, registros, tubulações, etc., para uma distância média de 11m	und	1	18,45	18,45

Fonte: Adaptado de SEMOHAB (2010)

Quadro 12 – Memorial de cálculo (continua)

ITEM	DESCRIÇÃO	UND.	Qt. MEDIDA	VOLUME (M³)	PINTURA (L)
'1607	DEPÓSITO DE GÁS				
'160707	Chapisco de argamassa de cimento e areia média ou grossa lavada, no traço 1:3, espessura 5 mm	m2	11,8	0,06	-
'160708	Reboco tipo paulista de argamassa de cimento, cal hidratada CH1 e areia média ou grossa lavada no traço 1:0.5:6, espessura 25 mm	m2	11,8	0,29	-
'160710	Pintura com tinta látex PVA, marcas de referência Suvinil, Coral ou Metalatex, inclusive selador em paredes e forros, a três demãos	m2	6,3	-	1,51
'160711	Pintura com tinta acrílica, marcas de referência Suvinil, Coral ou Metalatex, inclusive selador acrílico, em paredes e forros, a três demãos	m2	6,83	-	1,16
ITEM	DESCRIÇÃO	UND.	Qt. MEDIDA	VOLUME (M³)	
'1608	CASA DE LIXO				
'160807	Chapisco com argamassa de cimento e areia média ou grossa lavada no traço 1:3, espessura 5 mm (teto)	m2	4,5	0,23	
'160808	Emboço de argamassa de cimento, cal hidratada CH1 e areia lavada traço 1:0.5:6, espessura 20 mm (teto)	m2	4,5	0,09	
'160809	Chapisco de argamassa de cimento e areia média ou grossa lavada, no traço 1:3, espessura 5 mm (paredes)	m2	23,7	0,11	
'160810	Emboço de argamassa de cimento, cal hidratada CH1 e areia média ou grossa lavada no traço 1:0.5:6, espessura 20 mm	m2	18,45	0,36	
'160811	Reboco tipo paulista de argamassa de cimento, cal hidratada CH1 e areia média ou grossa lavada no traço 1:0.5:6, espessura 25 mm	m2	5,25	0,13	
'160814	Regularização de base para revestimento cerâmico, com argamassa de cimento e areia no traço 1:5, espessura 5cm	m2	4,5	0,23	
'160815	Piso cerâmico 20 x 20 cm, marca de referência Eliane, assentado com argamassa de cimento colante, inclusive rejuntamento	m2	4,5	0,01	
'160816	Cobogó de concreto tipo veneziana de 40 x 40 x 6 cm, assentado com argamassa de cimento e areia, no traço de 1:3, espessura das juntas de 15mm	m2	1,92	0,03	
'160819	Soleira de granito cinza andorinha polido, esp. 2 cm e largura de 15 cm	m	1,6	0,03	
'1702	BANCADAS				
'170201	Bancada de granito cinza andorinha polido esp. 2cm, dim. 2.26x0.55m, com 4 cubas louça redonda de embutir branca, marca ref. Celite ref. 10129, rodabanca 7cm e acab. peito reto, incl. válvula e sifão cromados, excl. torneira	und	2	0,049	
'170202	Bancada de granito cinza andorinha polido esp. 2cm, dim. 2.05x0.65m, com rodabanca 7cm (trocaador bergário)	und	2	0,053	
'170203	Bancada de granito cinza andorinha polido esp. 2cm, dim. 1.80x0.55m, com 3 cubas louça redonda de embutir branca, marca ref. Celite ref. 10129, rodabanca 7cm e acab. peito reto, incl. válvula e sifão cromados, excl. torneira	und	4	0,079	
'170204	Bancada de granito cinza andorinha polido esp. 2cm, dim. 1.77x0.55m, com 3 cubas louça redonda de embutir branca, marca ref. Celite ref. 10129, rodabanca 7cm e acab. peito reto, incl. válvula e sifão cromados, excl. torneira	und	1	0,019	
'170205	Bancada de granito cinza andorinha polido esp. 2cm, dim. 2.35x0.60m, com cuba louça oval de embutir branca, marca ref. Celite ref. 76117, rodabanca 7cm e acab. abaulado, incl. válvula e sifão cromados, excl. torneira	und	1	0,028	
'170206	Bancada de granito cinza andorinha polido esp. 2cm, dim. 0.75x0.55m, com cuba louça oval de embutir branca, marca ref. Celite ref. 76117, rodabanca 7cm e acab. abaulado, incl. válvula e sifão cromados, excl. torneira	und	2	0,016	
'170207	Bancada de granito cinza andorinha polido esp. 2cm, dim. 2.02x0.60m, com 2 tanques aço inox AISI 304 dim. 50x40x25cm, marca ref. Franke ref. 09174, rodabanca 7cm e acab. peito reto, incl. válvula e sifão crom., excl. torneira	und	1	0,024	
'170208	Bancada de granito cinza andorinha polido esp. 2cm, dim. 1.25x0.60m, com tanque aço inox AISI 304 dim. 50x40x25cm, marca ref. Franke ref. 09174, rodabanca 7cm e acab. peito reto, incl. válvula e sifão crom., excl. torneira	und	1	0,015	
'170209	Bancada de granito cinza andorinha polido esp. 2cm, dim. 1.40x0.60m, com rodabanca 7cm (passar roupa)	und	1	0,016	
'170210	Bancada de granito cinza andorinha polido esp. 2cm, dim. 3.60x0.60m, com cuba nº 2 aço inox AISI 304 dim. 56x34x18cm, marca ref. Franke, rodabanca 7cm e acab. peito reto, incl. válvula e sifão crom., excl. torneira	und	1	0,043	

Fonte: Adaptado de SEMOHAB (2010)

Quadro 12 – Memorial de cálculo (continua)

ITEM	DESCRIÇÃO	UND.	Qt. MEDIDA	VOLUME (M³)
'170211	Bancada de granito cinza andorinha polido esp. 2cm, dim. 2.75x0.60m, com tanque aço inox AISI 304 dim. 50x40x25cm, marca ref. Franke ref. 09174, rodabanca 7cm e acab. peito reto, incl. válvula e sifão crom., excl. torneira	und	1	0,033
'170212	Bancada de granito cinza andorinha polido esp. 2cm, dim. 3.60x0.60m, com cuba nº 1 aço inox AISI 304 e tanque aço inox ref. 09174, marca ref. Franke, rodabanca 7cm e acab. peito reto, incl. válvula e sifão crom., excl. torneira	und	1	0,043
'170213	Bancada de granito cinza andorinha polido esp. 2cm, dim. 1.57x0.55m, com cuba nº 1 aço inox AISI 304 dim. 46x30x18cm, marca ref. Franke, rodabanca 7cm e acab. peito reto, incl. válvula e sifão crom., excl. torneira	und	1	0,017
'170214	Bancada de granito cinza andorinha polido esp. 2cm, dim. 3.30x0.60m, com cuba nº 1 aço inox AISI 304 dim. 46x30x18cm, marca ref. Franke, rodabanca 7cm e acab. peito reto, incl. válvula e sifão crom., excl. torneira	und	1	0,039
'170215	Bancada de granito cinza andorinha polido esp. 2cm, dim. 1.30x0.55m, com 2 cubas louça oval de embutir branca, marca ref. Celite ref. 76117, rodabanca 7cm e acab. abaulado, incl. válvula e sifão cromados, excl. torneira	und	1	0,014
'170216	Bancada de granito cinza andorinha polido esp. 2cm, dim. 2.00x0.55m, com 3 cubas louça oval de embutir branca, marca ref. Celite ref. 76117, rodabanca 7cm e acab. abaulado, incl. válvula e sifão cromados, excl. torneira	und	1	0,022
'170217	Bancada de granito cinza andorinha polido esp. 2cm, dim. 1.75x0.80m, com cuba para painéis de aço inox AISI 304 dim. 80x60x30cm, apoio de alvenaria, rodabanca 7cm e acab. peito reto, incl. válvula e sifão cromados, excl. torneira	und	1	0,028
ITEM	DESCRIÇÃO	UND.	Qt. MEDIDA	PINTURA (L)
'19	PINTURA			
'1901	SOBRE PAREDES E FORROS			
'190102	Pintura com tinta látex PVA, marca de referência Coral, cor branco neve, inclusive selador em paredes e forros, a três demãos	m2	2 065,11	495,63
'190103	Pintura com tinta látex PVA, marca de referência Coral, cor 181 - Oceanic, inclusive selador acrílico, em paredes e forros, a três demãos	m2	685,45	164,51
'190104	Pintura com tinta látex PVA, marca de referência Coral, cor 506 - Vanilla, inclusive selador acrílico, em paredes e forros, a três demãos	m2	488,58	117,26
'190105	Pintura com tinta látex PVA, marca de referência Coral, cor 656 - Salvia, inclusive selador acrílico, em paredes e forros, a três demãos	m2	788,39	189,21
'190106	Textura acrílica fina, com acabamento fosco, marca de referência Coral, cor 9521 - Azul, aplicação de uma demão com utilização de rolo de lã para textura, sobre selador acrílico	m2	248,136	163,77
'190107	Textura acrílica fina, com acabamento fosco, marca de referência Coral, cor 9447 - Verde, aplicação de uma demão com utilização de rolo de lã para textura, sobre selador acrílico	m2	1 178,08	777,53
'190108	Textura acrílica fina, com acabamento fosco, marca de referência Coral, cor 9387 - Laranja, aplicação de uma demão com utilização de rolo de lã para textura, sobre selador acrílico	m2	792,17	522,83
'1902	SOBRE CONCRETO OU BLOCOS CERÂMICOS APARENTES			
'190202	Pintura com tinta acrílica, marca de referência Coral, cor 9387 - Laranja, inclusive selador acrílico, em cobogós de concreto, a duas demãos	m2	99	16,83
'190205	Pintura com tinta acrílica, marca de referência Coral, cor 181 - Oceanic, inclusive selador acrílico, em cobogós de concreto, a duas demãos	m2	256,42	43,59
'1903	SOBRE MADEIRA			
'190302	Pintura com tinta esmalte sintético, marcas de referência Suvnil, Coral ou Metalatex, inclusive fundo branco nivelador, em madeira, a duas demãos	m2	168,36	26,94
'190303	Pintura com verniz, marcas de referência Suvnil, Coral ou Metalatex, em madeira, a três demãos	m2	325,49	52,08
'1904	SOBRE METAL			
'190401	Pintura com tinta esmalte sintético, marcas de referência Suvnil, Coral ou Metalatex, a duas demãos, inclusive fundo anticorrosivo a uma demão, em metal	m2	95,89	15,34
ITEM	DESCRIÇÃO	UND.	Qt. MEDIDA	VOLUME (M³)
'20	SERVIÇOS COMPLEMENTARES EXTERNOS			
'200207	Piso de argamassa de alta resistência tipo granilite ou equivalente de qualidade comprovada, espessura de 10mm, com juntas plástica em quadros de 1m, na cor natural, com acabamento anti-derrapante, inclusive regularização	m2	151,53	1,51
'2004	DIVERSOS EXTERNOS			
'200402	Guarda-corpo externo de ferro galvanizado, h=1.10m, com tubo Ø 2", 1 1/4" e 1 1/2", fixação com flanges, inclusive pintura esmalte sintético brilhante cor branca sobre fundo anticorrosivo, conforme detalhe	m	22,37	10,29
'200403	Corrimão duplo de tubo de ferro galvanizado DIN 2440 Ø 1 1/2", nas alturas 70 cm e 92 cm, inclusive pintura esmalte sobre fundo anticorrosivo	m	41,9	2,10

Fonte: Adaptado de SEMOHAB (2010)

Quadro 12 – Memorial de cálculo (Término)

ITEM	DESCRIÇÃO	UND.	Qt. MEDIDA	PINTURA (L)	GRANITO(m³)
'21	SERVIÇOS COMPLEMENTARES INTERNOS				
'2102	ARMÁRIOS E PRATELEIRAS				
'210201	Prateleira de granito cinza andorinha polido, esp. 2cm, fixada com perfil 'L' de ferro galvanizado de 1 1/2" x 3/16", conforme detalhe	m2	69,3	-	1,38
'2103	DIVERSOS INTERNOS				
'210303	Escada de marinho retrátil em tubo de ferro galvanizado Ø 3/4", inclusive pintura esmalte sintético brilhante cor grafite claro sobre fundo anticorrosivo, conforme detalhe	und	1	0,32	-
'210304	Corrimão duplo de tubo de ferro galvanizado DIN 2440 Ø 1 1/2", nas alturas 70 cm e 92 cm, inclusive pintura esmalte sobre fundo anticorrosivo	m	98,2	4,91	-
'210306	Banco para sanitário infantil com largura 0.45m e h=0.35m, com tampo de concreto armado esp. 7cm revestido com granito cinza andorinha polido esp. 2cm e base de alvenaria de bloco de concreto h=0.26m, conforme detalhe	m	18,8	-	0,16
'210307	Banco para sanitário acessível com largura 0.70m e h=0.46m, com tampo de concreto armado esp. 7cm revestido com granito cinza andorinha polido esp. 2cm e base de alvenaria de bloco de concreto h=0.37m, conforme detalhe	m	2,35	-	0,03
'210308	Barra para sala de dança h= 90cm, em tubo de ferro galvanizado DIN 2440 Ø 1 1/2", com flanges de ferro galvanizado Ø 5" esp. 7mm, inclusive pintura esmalte sintético sobre fundo anticorrosivo, conforme detalhe	m	13	0,78	-
ITEM	DESCRIÇÃO	UND.	Qt. MEDIDA	VOLUME (M³)	
'2303	ESQUADRIAS DE MADEIRA				
'230301	PORTAS				
'23030101	Porta em madeira de lei tipo angelim pedra ou equiv. c/ enchimento em madeira 1ª qualidade, esp. 30mm p/ pintura, inclusive alizares, dobradiças e tranca, exclusive marco, nas dim.: 0,60x0,75m.	und	5	0,060	
'230302	MARCOS				
'23030201	Marco em madeira de lei tipo Paraju ou equivalente com 15x3cm de batente	m	5	2,25	
ITEM	DESCRIÇÃO	UND.	Qt. MEDIDA	VOLUME CERÂMICA (M³)	
'2307	REVESTIMENTOS DE PAREDES INTERNAS E EXTERNAS				
'230701	ACABAMENTOS				
'23070101	Azulejo 20x20 cm, cor branca, marca de referência Eliane, assentada com argamassa de cimento colante, inclusive rejuntamento esp. 5mm com argamassa pré-fabricada	m²	727,03	4,36 (Cerâmica) 3,63(Argamassa)	
'23070102	Cerâmica 10x10 cm, cores claras, marca de referência Strufaldi, com rejunte esp. 0.5 cm, empregando argamassa colante	m²	31,594	0,189 (Cerâmica) 0,15 (Argamassa)	
'23070103	Pastilha cerâmica 5 x 5 cm, assentada com argamassa de cimento colante e rejunte pré-fabricado, marcas de referência Eliane, Cecrisa ou Portobello	m²	21,09	0,126 (Pastilha) 0,063 (Argamassa)	

Fonte: Adaptado de SEMOHAB (2010)

APÊNDICE B - Dados de EI e CI extraídos do Ecoinvent por intermédio do Simapro

- Lã Mineral - rock wool {GLO}; market for

Figura 71 - EI da Lã Mineral

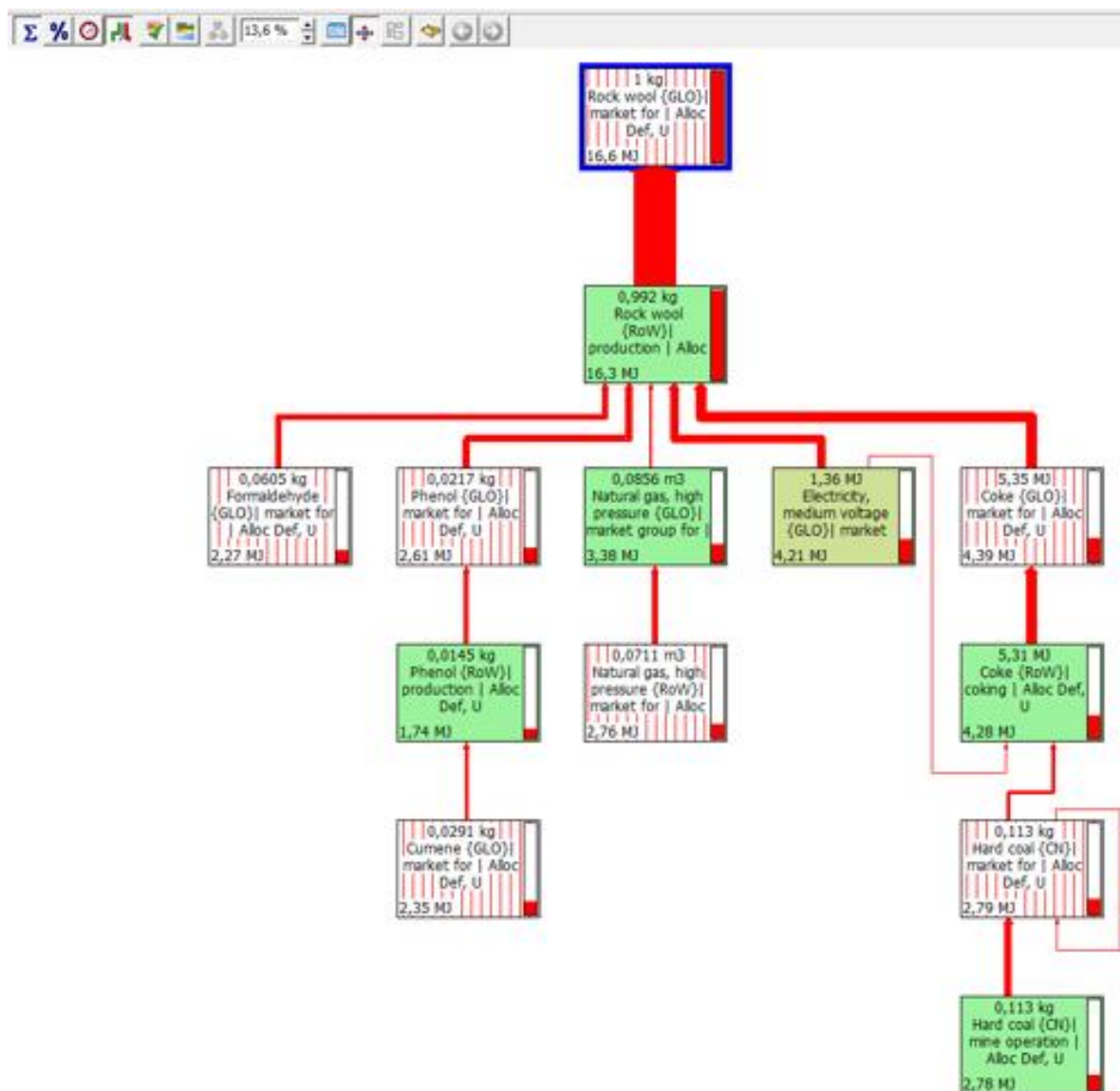


Figura 72 - Dados de EI Lã Mineral

Ignorar categorias Com resultado = 0				Padrao	
				Grupo	
Sele	Categoria de impacto	Unidade	/	Rock wool {GLO} market for Alloc Def, U	
	Total	MJ		16,6	
☒	Non renewable, fossil	MJ		14,9	
☒	Non-renewable, nuclear	MJ		0,903	
☒	Non-renewable, biomass	MJ		0,000431	
☒	Renewable, biomass	MJ		0,416	
☒	Renewable, wind, solar, geothe	MJ		0,0513	
☒	Renewable, water	MJ		0,347	

Fonte: ECOINVENT (2018)

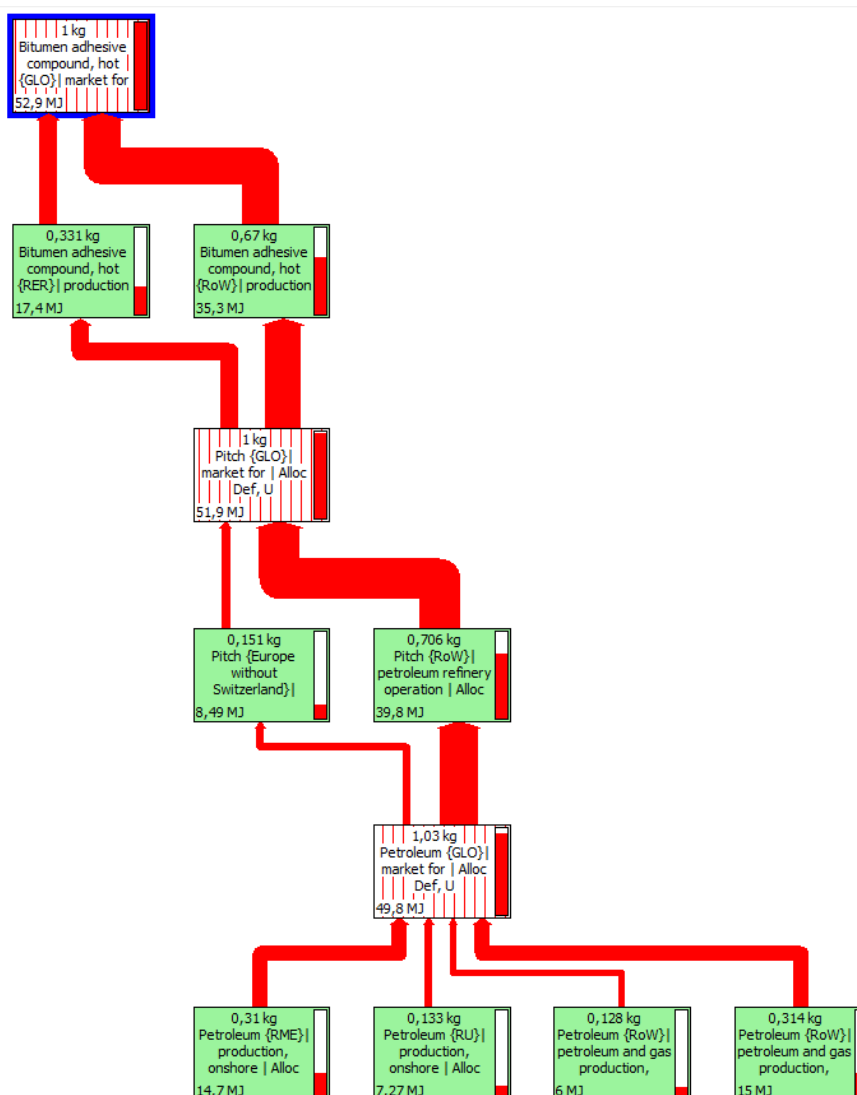
Figura 73 - Dados de CI Lã Mineral

Sele	Categoria de impacto	Unidade	Rock wool {GLO} market for Alloc Def, U
☒	NM VOC	kg	0,00255
☒	Carbon dioxide, fossil	kg	1,22
☒	Sulphur dioxide	kg	0,0068
☒	Nitrogen oxides	kg	0,00262
☒	Particulates, <2,5 um	kg	0,00124
☒	Land occupation	m2a	0,0825
☒	BOD	kg	0,00179
☒	Cadmium	kg	1,1E-9

Fonte: ECOINVENT (2018)

- **Manta Betuminosa - Bitumen adhesive compound, hot {GLO}, market for**

Figura 74 - El Manta betuminosa



Fonte: ECOINVENT (2018)

Figura 75 - Dados de EI Manta betuminosa

Sele	Categoria de impacto /	Unidade	Bitumen adhesive compound, hot {GLO} market for Alloc Def, U
	Total	MJ	52,9
☒	Non renewable, fossil	MJ	51
☒	Non-renewable, nuclear	MJ	0,358
☒	Non-renewable, biomass	MJ	0,00145
☒	Renewable, biomass	MJ	1,43
☒	Renewable, wind, solar, geoth	MJ	0,0183
☒	Renewable, water	MJ	0,113

Fonte: ECOINVENT (2018)

Figura 76 - Dados de CI Manta betuminosa

Sele	Categoria de impacto /	Unidade	Bitumen adhesive compound, hot {GLO} market for Alloc Def, U
☒	NM VOC	kg	0,00279
☒	Carbon dioxide, fossil	kg	0,476
☒	Sulphur dioxide	kg	0,0035
☒	Nitrogen oxides	kg	0,00166
☒	Particulates, <2.5 um	kg	0,000296
☒	Land occupation	m2a	0,225
☒	BOD	kg	0,0105
☒	Cadmium	kg	1,09E-9

Fonte: ECOINVENT (2018)

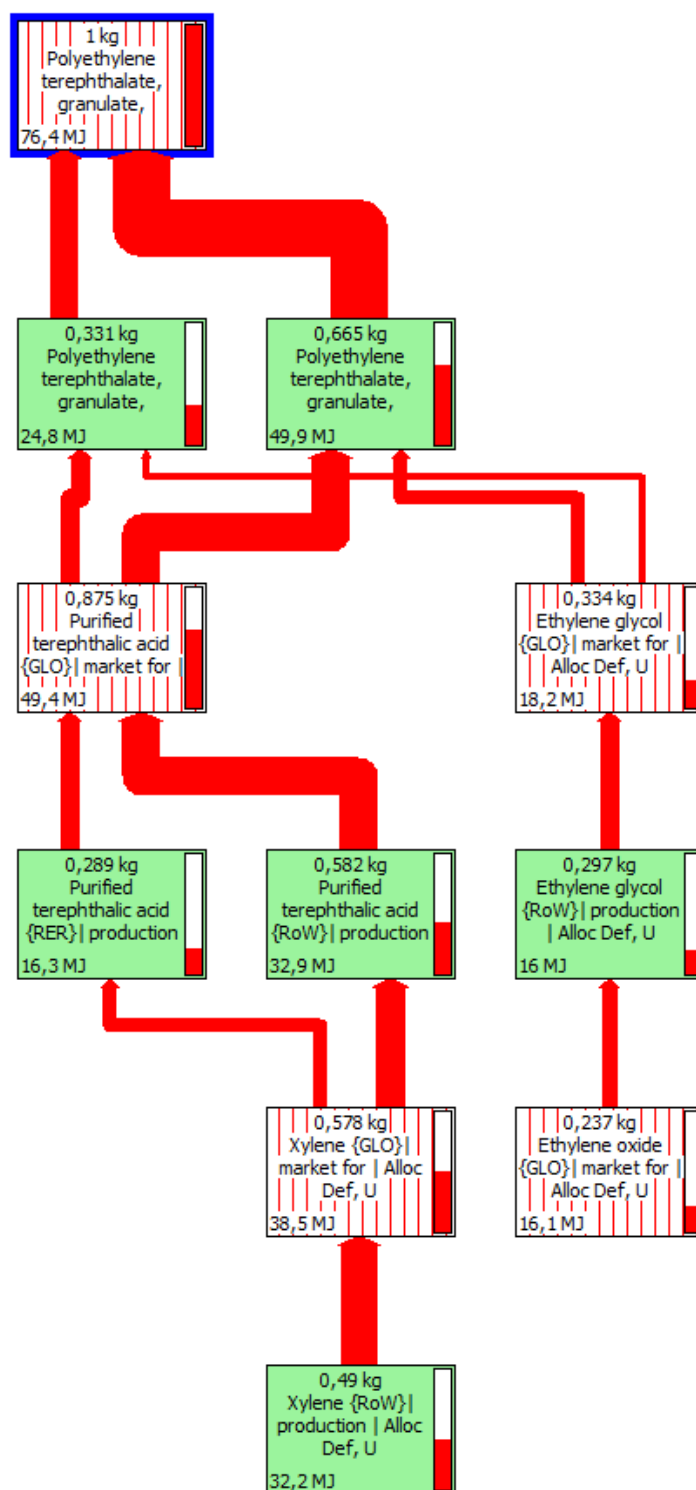
- **Membrana poliéster para vidro** - Junção de 2 processos: o primeiro é a fabricação do material (polyethylene terephthalate - PET). Depois tem a transformação desse material em filme.

Figura 77 - Dados de EI Membrana poliéster para vidro (para produção do material)

Sele	Categoria de impacto /	Unidade	Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous {GLO} market for Alloc Def, U
	Total	MJ	76,4
☒	Non renewable, fossil	MJ	69,7
☒	Non-renewable, nuclear	MJ	4,43
☒	Non-renewable, biomass	MJ	0,000883
☒	Renewable, biomass	MJ	1,05
☒	Renewable, wind, solar, geoth	MJ	0,186
☒	Renewable, water	MJ	0,982

Fonte: ECOINVENT (2018)

Figura 78 - EI da Membrana poliéster para vidro (para produção do material)



Fonte: ECOINVENT (2018)

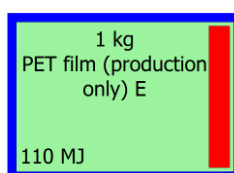
Figura 79 - Dados de CI Membrana poliéster para vidro (para produção do material)

Sele	Categoria de impacto /	Unidade	Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous {GLO} market for Alloc Def, U
☒	NM VOC	kg	0,00309
☒	Carbon dioxide, fossil	kg	2,46
☒	Sulphur dioxide	kg	0,00789
☒	Nitrogen oxides	kg	0,00539
☒	Particulates, <2.5 um	kg	0,00162
☒	Land occupation	m2a	0,16
☒	BOD	kg	0,00313
☒	Cadmium	kg	2,92E-9

Fonte: ECOINVENT (2018)

Figura 80 - Dados de EI Membrana poliéster para vidro (para transformação do material em filme)

Sele	Categoria de impacto /	Unidade	Total	PET film (production only) E
	Total	MJ	110	110
☒	Non renewable, fossil	MJ	100	100
☒	Non-renewable, nuclear	MJ	8,78	8,78
☒	Renewable, biomass	MJ	0,401	0,401
☒	Renewable, wind, solar, geother	MJ	0,135	0,135
☒	Renewable, water	MJ	0,525	0,525



Fonte: ECOINVENT (2018)

Figura 81 - Dados de CI Membrana poliéster de vidro (para transformação do material em filme)

Sele	Categoria de impacto /	Unidade	Total	PET film (production only) E
☒	NM VOC	kg	0,00119	0,00119
☒	Carbon dioxide, fossil	kg	4,43	4,43
☒	Sulphur dioxide	kg	0,0148	0,0148
☒	Nitrogen oxides	kg	0,0109	0,0109
☒	BOD	kg	0,00103	0,00103

Fonte: ECOINVENT (2018)

ANEXOS

ANEXO A – Dados de consumo de energia do CMEI fornecidos pela SEME

Quadro 13 - Dados de consumo de energia

Mês/Ano	Medidor	Data Leitura	Constante	Leitura Ativa	Consumo Ativo (kWh)	Leitura Reativa	Consumo Reativo (kWh)	Nº de Dias / Faturamento	Média Ativa kWh/dia	Média Reativo kWh/dia	Total da Fatura
04/18	13831365	06/04/18	1	86205	4753	0	0	28	169,8	0	R\$ 3 248,80
03/18	13831365	09/03/18	1	81452	5307	0	0	31	171,2	0	R\$ 3 699,43
02/18	13831365	06/02/18	1	76145	3053	0	0	29	105,3	0	R\$ 2 292,04
01/18	13831365	08/01/18	1	73092	3638	0	0	31	117,4	0	R\$ 2 753,50
12/17	13831365	08/12/17	1	69454	4652	0	0	30	155,1	0	R\$ 3 557,87
11/17	13831365	08/11/17	1	64802	4924	0	0	35	140,7	0	R\$ 3 609,43
10/17	13831365	04/10/17	1	59878	4099	0	0	29	141,3	0	R\$ 2 936,61
09/17	13831365	05/09/17	1	55779	4022	0	0	32	125,7	0	R\$ 3 066,85
08/17	13831365	04/08/17	1	51757	3520	0	0	29	121,4	0	R\$ 2 475,45
07/17	13831365	06/07/17	1	48237	4400	0	0	30	146,7	0	R\$ 2 977,55
06/17	13831365	06/06/17	1	43837	4813	0	0	32	150,4	0	R\$ 3 481,45
05/17	13831365	05/05/17	1	39024	4603	0	0	30	153,4	0	R\$ 3 073,11
04/17	13831365	05/04/17	1	34421	5325	0	0	29	183,6	0	R\$ 3 707,77
03/17	13831365	07/03/17	1	29096	3723	0	0	29	128,4	0	R\$ 2 699,86
02/17	13831365	06/02/17	1	25373	2816	0	0	32	88	0	R\$ 1 989,81
01/17	13831365	05/01/17	1	22557	3815	0	0	30	127,2	0	R\$ 2 600,40
12/16	13831365	06/12/16	1	18742	4977	0	0	32	155,5	0	R\$ 3 451,14
11/16	13831365	04/11/16	1	13765	4323	0	0	30	144,1	0	R\$ 2 864,59
10/16	13831365	05/10/16	1	9442	4131	0	0	30	137,7	0	R\$ 2 661,72
09/16	13831365	05/09/16	1	5311	4230	0	0	31	136,5	0	R\$ 2 843,25
08/16	13831365	05/08/16	1	1081	3945	0	0	30	131,5	0	R\$ 2 684,52
07/16	13831365	06/07/16	1	97136	4165	0	0	29	143,6	0	R\$ 2 686,23
06/16	13831365	07/06/16	1	92971	4752	0	0	32	148,5	0	R\$ 3 191,93
05/16	13831365	06/05/16	1	88219	5275	0	0	31	170,2	0	R\$ 3 732,38
04/16	13831365	05/04/16	1	82944	4974	0	0	29	171,5	0	R\$ 3 459,10
03/16	13831365	07/03/16	1	77970	5673	0	0	33	171,9	0	R\$ 4 082,93
02/16	13831365	03/02/16	1	72297	1884	0	0	29	65	0	R\$ 1 541,93
01/16	13831365	05/01/16	1	70413	3829	0	0	32	119,7	0	R\$ 2 882,21
12/15	13831365	04/12/15	1	66584	5620	0	0	29	193,8	0	R\$ 4 060,04
11/15	13831365	05/11/15	1	60964	5016	0	0	30	167,2	0	R\$ 3 774,94
10/15	13831365	06/10/15	1	55948	4947	0	0	31	159,6	0	R\$ 3 756,16
09/15	13831365	05/09/15	1	51001	4945	0	0	30	164,8	0	R\$ 3 863,50
08/15	13831365	06/08/15	1	46056	4736	0	0	31	152,8	0	R\$ 3 360,58
07/15	13831365	06/07/15	1	41320	4666	0	0	31	150,5	0	R\$ 3 367,03
06/15	13831365	05/06/15	1	0	0	10030	1108	31	0	35,7	R\$ 3 367,03
05/15	13831365	05/06/15	1	36654	4535	0	0	31	146,3	0	R\$ 3 546,15
06/15	13831365	05/06/15	1	0	0	8922	1025	31	0	33,1	R\$ 3 546,15

Fonte: SEME (2018, s.p.)

ANEXO B - Programa de Necessidades contido no Caderno de Diretrizes da PMV para elaboração de projeto de um CMEI.

Quadro 14 - Programa de necessidades CMEIs (Início)

Ambiente	Quant.	Área m²	Área Total
1 – Conjunto Coordenação/Administração			
1.1 – Espera de Pais/ Recepção	01	20,00	20,00
1.2 – Secretaria	01	20,00	20,00
1.3 - Arquivo	01	10,00	10,00
1.4 – Sala de Direção	01	15,00	15,00
1.5 – Sala de Professores (com bancada e pia)	01	30,00	30,00
1.6 – Sala de Pedagogos (1 em cada pavimento)	02	15,00	30,00
1.7 – Sala de Planejamento	01	20,00	20,00
1.8 – Dep. Material Didático (1 em cada pavimento)	02	10,00	20,00
1.9 – Vestiário p/ Deficiente Físico (com chuveiro e banco de troca)	01	8,00	8,00
1.10 – Sanitários p/ Deficiente Físico (1 masc. e 1 fem. em cada pavimento)	04	3,00	12,00
Subtotal – 01			185,00
2 – Conjunto Pedagógico			
2.1 – Sala do Grupo 1 (6 meses a 1 ano)	02	40,00	80,00
2.2 – Banheiro dos Grupos 1 (com 2 banheiras)	01	16,00	16,00
2.3 – Sala do Grupo 2 (1 ano a 2 anos)	02	40,00	80,00
2.4 – Banheiro dos Grupos 2 (com 2 chuveiros)	01	16,00	16,00
2.5 – Mini refeitório com bancada de apoio	01	30,00	30,00
2.6 – Pátio Coberto dos Grupos 1 e 2	01	100,00	100,00
2.7 – Sala do Grupo 3 (2 anos a 3 anos)	02	40,00	80,00
2.8 - Banheiro dos Grupos 3 (com 2 chuveiros)	01	16,00	16,00
2.9 – Sala do Grupo 4 (3 anos a 4 anos)	02	40,00	80,00
2.10 – Sala do Grupo 5 (4 anos a 5 anos)	02	40,00	80,00
2.10 – Sala do Grupo 6 (5 anos a 6 anos)	02	40,00	80,00
2.11 – Sala de Artes (com bancada e pia)	01	40,00	40,00
2.12 – Sala de Recursos Multifuncionais	01	40,00	40,00
2.13 – Sala de Leitura	01	40,00	40,00
2.14 – Sala Ambiente	03	40,00	120,00
2.15 – Mini auditório	01	70,00	70,00
2.16 – Banheiro Infantil Fem. e Masc. 1º pav. (sem chuveiros)	02	12,00	24,00
2.17 – Banheiro Infantil Fem. e Masc. 2º pav. (com 3 chuveiros)	02	16,00	32,00
2.18 – Sala Equipamento Cabeamento Estruturado	01	4,00	4,00
Subtotal – 02			1.028,00

Fonte: Vitória (2013, s.p.).

Quadro 14 - Programa de necessidades (Término)

3 – Conjunto Recreação e Assistência			
3.1 – Cozinha	01	38,00	38,00
3.2 – Pré-preparo	01	8,00	8,00
3.3 – Depósito de Merenda	01	12,00	12,00
3.4 – Refeitório	01	80,00	80,00
3.5 – Pátio Coberto Interno	01	200,00	200,00
3.6 – Área Coberta no Pátio Externo (Varandão)	01	50,00	50,00
Subtotal – 03			388,00
4 – Conjunto de Serviços			
4.1 – Depósito de Material de Limpeza	01	7,00	7,00
4.2 – Área de Serviço 1º pav.	01	10,00	10,00
4.3 - Lavanderia	01	12,00	12,00
4.4 - Área de Serviço 2º pav.	01	3,00	3,00
4.5 – Vestiário de Funcionários Feminino	01	8,00	8,00
4.6 – Vestiário de Funcionários Masculino	01	8,00	8,00
4.7 – Sala de Funcionários	01	10,00	10,00
4.8 – Central de Gás	01	1,50	1,50
4.9 – Casa de Lixo	01	4,50	4,50
Subtotal – 04			64,00
Total de Área Útil Coberta			1.665,00

ÁREA DESCOBERTA:

1.1 – Solário do Grupo 1	01	50,00	50,00
1.2 – Pátio Descoberto	01	300,00	300,00
1.3 – Área de Serviço Descoberta	01	20,00	20,00
1.4 – Estacionamento (mínimo 10 vagas)	01	200,00	200,00
Subtotal – 01			570,00
Total de Área Descoberta			570,00

Fonte: Vitória (2013, s.p.).