

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA,
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE SISTEMAS
DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA
PLUVIAL EM HABITAÇÕES DE
INTERESSE SOCIAL**

VERÔNICA RIBEIRO BRANDÃO

D0160C17

GOIÂNIA

2017

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **Dissertação** **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

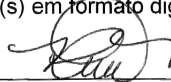
Nome completo do autor: Verônica Ribeiro Brandão

Título do trabalho: Avaliação Ambiental de Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial em Habitações de Interesse Social

3. Informações de acesso ao documento:


Concorda com a liberação total do documento **SIM** **NÃO**¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.



Assinatura do(a) autor(a)²

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)²

Data: 18 / 01 / 19

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

² A assinatura deve ser escaneada.

VERÔNICA RIBEIRO BRANDÃO

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE SISTEMAS
DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA
PLUVIAL EM HABITAÇÕES DE
INTERESSE SOCIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de Goiás para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Marcus André Siqueira Campos

D0160C17

GOIÂNIA

2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Brandão, Verônica Ribeiro;

Avaliação Ambiental de Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial em Habitações de Interesse Social [manuscrito] / Verônica Ribeiro; Brandão. - 2017.

188 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Marcus André Siqueira Campos.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Goiânia, 2017.

Bibliografia. Apêndice.

Inclui abreviaturas, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Sistema Predial de Aproveitamento de Água Pluvial. 2. Análise de Ciclo de Vida. 3. Habitação de Interesse Social. 4. Mapeamento Sistemático de Literatura. 5. Inventário de Ciclo de Vida. I. Siqueira Campos, Marcus André, orient. II. Título.

CDU 624



PPG
GECON

Programa de Pós-Graduação em
Geotecnia, Estruturas e Construção Civil



Universidade Federal de Goiás
Certifico que esta cópia de documento
confere com o original.

Goiânia, 18 / 01 / 2019

Ass.:

Ata de Nº 0160 da sessão de julgamento da
Dissertação da aluna Verônica Ribeiro Brandão,
da área de concentração Construção Civil do
PPG em Geotecnia, Estruturas e Construção
Civil.

Aos 24 dias do mês de agosto de 2017, às 14h00, sala Caryocar, bloco A da Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e Computação da UFG reuniu-se a banca examinadora designada na forma regimental pela Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil para julgar a Dissertação intitulada "Avaliação Ambiental de Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial em Habitações de Interesse Social", apresentado pela aluna Verônica Ribeiro Brandão, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de ESTRE, área de concentração Construção Civil. A Banca Examinadora foi Presidida pelo Prof. Dr. Marcus André Siqueira Campos (GECON/UFG), tendo como membros a Prof.ª Dr.ª Maria Carolina G O Brandstetter (GECON/UFG) e o Prof. Dr. Douglas Barreto (DECiv/UFSCar). Aberta a sessão pública, a candidata teve a oportunidade de expor o trabalho. Após a exposição, a aluna foi arguida oralmente pelos membros da Banca os quais concluíram pelos seguintes resultados:

Membro	Instituição	Função	Resultado
Marcus André Siqueira Campos	GECON/UFG	Presidente	<u>APROVADA</u>
Maria Carolina G. O. Brandstetter	GECON/UFG	Examinadora Interna	<u>APROVADA</u>
Douglas Barreto	DECiv/UFSCar	Examinador Externo	<u>APROVADO</u>

Tendo demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema de sua Dissertação, a Banca Examinadora concluiu pela **aprovação** da candidata **sem restrições**.

Não tendo demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema de sua Dissertação, a Banca Examinadora concluiu pela **reprovação** da candidata, conforme as seguintes justificativas:

Nos termos do Regulamento Geral dos Cursos de pós-graduação desta Universidade, foi lavrada a presente ata que, lida e julgada conforme, segue assinada pelos membros da **Banca Examinadora** e pela **candidata**.

Maria Carolina G. O. Brandstetter
PPG-GECON/UFG

Douglas Barreto
DECiv/UFSCar

Marcus André Siqueira Campos
PPG-GECON/UFG

Candidata: Verônica Ribeiro Brandão Verônica Ribeiro Brandão

Dedico este trabalho aos meus pais, Eudes e Suzette, meus grandes exemplos de trabalho e dignidade. Pelo apoio e dedicação constantes. Sem vocês eu jamais teria dado o meu primeiro passo.

Aos meus irmãos Stephanie, Vittor Berto, Luiz Henrique e Pedro Gabriel, minhas fontes de aprendizado e amor.

AGRADECIMENTOS

O momento do agradecimento é um dos mais nobres, onde nos despimos de nosso orgulho, nos abrimos como pessoa aos nossos sentimentos e compreendemos a complexidade e a beleza que é ser humano e que é conviver em sociedade, pois, precisamos todos, em maior ou menor grau, uns dos outros.

Os meus sinceros agradecimentos vão a todos que de alguma maneira participaram comigo nas minhas alegrias e comigo enfrentaram os meus medos. Compartilho aqui, portanto, a minha vitória especialmente com vocês:

À Deus, à vida e às energias deste Universo, minha fonte constante de gratidão e luz. Me dando forças e fé para perseverar em meus caminhos e evoluir como espírito

Aos meus amados pais, Eudes e Suzette, minhas fontes de admiração nas lutas da vida. Por todo amor, paciência, conselhos, ensinamentos e suporte. Sem vocês eu não poderia ter chegado aqui hoje. A vocês o meu eterno obrigada.

Aos meus maninhos queridos, Stephanie, Vittor Berto, Luiz Henrique e Pedro Gabriel. Vocês são a luz da minha vida. Minha primeira escola de amor, acolhimento, cuidado, paciência, altruísmo e dedicação.

Ao meu orientador Marcus André Siqueira Campos, pela força e compreensão nos meus momentos mais difíceis, por acreditar em minha capacidade e me apoiar em minhas batalhas, profissionais e pessoais. Por me ceder a mão e enfrentar comigo os meus desafios, serei, Marcus, eternamente grata.

Aos meus colegas de mestrado por todo companheirismo e auxílio. Em especial à Ruany por todas as suas colaborações e palavras de conforto e à Lorena, minha grande companheira e confidente, por sua paciência, parceria, suporte, incentivo e dedicação. Mulheres fortes, admiro muito vocês!

Aos meus amigos: Luisa, Ana Augusta, Guilherme, Bárbara, Tiago, Júlio César, Vítor, Danielle, Nathália, Hugo, Guga, Piera, Bonitos de Bochum e a todos os demais que me apoiaram durante esse período. Que de alguma forma acalmaram o meu coração e estiveram ao meu lado, contribuindo em suas mais variadas formas. Vocês foram essenciais.

Ao Pedro Laborão, por seu empenho, dedicação e trabalho conjunto.

Aos meus familiares que acompanharam este processo, com palavras de incentivo.

Ao PPG – GECON, seus funcionários e corpo docente, pelo trabalho executado com seriedade e pela acessibilidade de todos vocês.

À Fundação de Coordenação de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela contribuição financeira durante o mestrado.

RESUMO

Apesar do constante avanço tecnológico da humanidade e do aumento da eficiência da produção de insumos, ainda é possível deparar-se com situações de extrema pobreza e carência por todo o mundo. No Brasil a realidade não é diferente, onde pode-se identificar um déficit habitacional de mais de 5 milhões de residências desde 2007. Dessa forma, foram criadas políticas públicas que objetivam diminuir este índice. O presente trabalho busca neste contexto, soluções de cunho ambiental que possam mitigar os impactos gerados por esses empreendimentos, sugerindo, portanto, a aplicação de sistemas prediais de aproveitamento de água pluvial (SPAAP) em habitações de interesse social (HIS) e tendo a Análise de Ciclo de Vida (ACV) simplificada como ferramenta a ser utilizada nessas questões. Para a revisão bibliográfica, foi aplicada a metodologia de Mapeamento Sistemático de Literatura (MSL) como instrumento para a busca eficiente de bibliografia. Através desta busca foi possível verificar a amplitude das pesquisas que aplicaram a ACV em SPAAP. Adotou-se a metodologia sugerida por Tavares (2006) e aplicada por Marinoski (2010) para a comparação entre dois cenários de captação de água pluvial, um individual e um coletivo. Além disso, apresentou-se neste estudo, dois conjuntos de dados de inventário. O primeiro é proveniente de dados nacionais e o segundo de dados internacionais. Os resultados foram apresentados sob a forma de 19 indicadores ambientais baseados na energia embutida (EE) e no dióxido de carbono equivalente embutido (EC) nos materiais utilizados no SPAAP e na operação do sistema. Os indicadores foram utilizados para realizar comparações entre os sistemas e verificou-se que os cenários coletivos são mais favoráveis ambientalmente que os individuais. Isto ocorreu pois a EE e o EC de operação dos sistemas individuais apresentaram valores em média 4 vezes maiores que os apresentados pelos sistemas coletivos.

Palavras chave: Análise de Ciclo de Vida. Sistema Predial de Aproveitamento de Água Pluvial. Habitação de Interesse Social. Inventário de Ciclo de Vida.

ABSTRACT

Despite the constant technological advancement of humanity and the increased efficiency of production inputs, we can still face with situations of extreme poverty and need throughout the world. In Brazil the reality is not different, where we can identify a housing deficit of more than 5 million residences since 2007. In this way, public policies were created that aim to reduce this index. The present work seeks in this context, environmental solutions that can mitigate the impacts generated by these enterprises. Therefore, we suggest the application of Rainwater Harvesting Systems (RWH) in social housing (SH) and the simplified Life Cycle Analysis (LCA) as a tool to be used in these issues. For the bibliographic review, was applied the methodology of Systematic Literature Review (SLR) as an instrument for the efficient search of bibliography. Through this search it was possible to verify the breadth of research that applied the LCA in RWH. The methodology proposed by Tavares (2006) and applied by Marinoski (2010) were adopted for the comparison between two scenarios of rainwater harvesting, an individual and a collective. In addition, two sets of inventory data were presented in this study. The first one comes from national data and the second from international data. The results were presented as 19 environmental indicators based on embedded energy (EE) and embedded carbon dioxide (EC) in the materials used in RWH and in the operation of the system. The indicators were used to make comparisons between the systems and it was verified that the collective scenarios are more environmentally friendly than the individual ones. This occurred because the operating EE and EC of the individual systems, presented values on average 4 times higher than those presented by the collective systems.

Keywords: Systematic Literature Review. Lyfe Cyle Assessment. Rainwater Harvesting System. Social Housing. Lyfe Cycle Inventory.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Déficit habitacional no Brasil.....	18
Figura 2.1 - Cadeia de mantimentos típica do ciclo de vida de um produto ou bem.....	24
Figura 2.2 - Exemplo de um sistema de produto para ACV	26
Figura 2.3- Fases de uma ACV	28
Figura 2.4 - Diferenças entre métodos de AICV	36
Figura 2.5- Delineamento do Mapeamento Sistemático de Literatura	45
Figura 2.6 - Principais autores das publicações selecionadas pelo MSL.....	50
Figura 2.7 - Número de publicações por ano.....	51
Figura 2.8 - Instituições dos autores	52
Figura 2.9 - Nacionalidade das instituições	53
Figura 2.10 - Palavras-Chave.....	54
Figura 2.11 - Origem dos artigos selecionados pelo MSL.....	55
Figura 2.12 - Países em que as pesquisas foram realizadas	56
Figura 2.13 - Tipologia das Edificações dos Estudos de Casos.....	57
Figura 2.14 - Usos finais da água proveniente do SPAAP	58
Figura 2.15 – Outras modalidades de gestão sustentável da água	59
Figura 2.16 - <i>Softwares</i> de ACV	60
Figura 2.17 - Método de LCA.....	62
Figura 2.18 – Bases de dados.....	64
Figura 2.19 - Vida útil dos reservatórios	65
Figura 3.1 – Delineamento da pesquisa	68
Figura 3.2 – Residência padrão do estudo de caso	70
Figura 3.3 – Quadra adotada para o estudo de caso.....	71

Figura 3.4 – Elemento de descarte.....	75
Figura 3.5 – Médias mensais de intensidade pluviométrica para a cidade de Goiânia com dados de 2000 a 2016.....	78
Figura 3.6 – Função custo do reservatório de polietileno.....	81
Figura 3.7 – Função custo do reservatório de concreto armado.....	82
Figura 4.1 – EE Percentual das tubulações.....	107
Figura 4.2 – EE percentual para a etapa pré-operacional.....	117
Figura 4.3 – EE Percentual para todo o sistema.....	118
Figura 4.5 – EC percentual das tubulações.....	126
Figura 4.6 – EE percentual para a etapa pré-operacional.....	135
Figura 4.7 – EE Percentual para todo o sistema.....	136
Figura 4.8 – EE Acumulada no decorrer da vida útil dos SPAAPs.....	137
Figura A1 – Corte A-A habitação padrão (vista frontal).....	188
Figura A2 – Corte B-B habitação padrão (lateral esquerda).....	189

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Quantitativo de artigos nas etapas do Mapeamento Sistemático de Literatura	49
Tabela 3.1 – Pesquisa bibliográfica para determinação da demanda dos aparelhos.....	79
Tabela 3.2 – Demanda de água prevista por aparelho	80
Tabela 3.3 – Demanda mensal total dos aparelhos com uso de água pluvial	80
Tabela 3.4 – Custos de manutenção e operação do reservatório individual	83
Tabela 3.5 – Custos de manutenção e operação do reservatório coletivo	83
Tabela 3.6 – Tarifas de água	84
Tabela 3.7 – Histórico de reajustes	84
Tabela 3.8 – Dados de dimensionamento do reservatório inferior do SPAAP individual	85
Tabela 3.9 – Dados de dimensionamento do reservatório inferior do SPAAP coletivo.....	86
Tabela 4.1 – EE para as bases de dados nacional e internacional.....	102
Tabela 4.2 – EE das tubulações para a base de dados nacional	105
Tabela 4.3 – EE das tubulações para as bases de dados nacional e internacional para o cenário coletivo.....	106
Tabela 4.4 – EE dos elementos que compõem o reservatório de concreto armado.....	108
Tabela 4.5 – EE dos reservatórios para a base de dados nacional	109
Tabela 4.6 – EE dos Reservatórios para a Base de Dados Internacional.....	110
Tabela 4.7 – EE da Escavação	111
Tabela 4.8 – EE das bombas	113
Tabela 4.9 – EE para a Base de Dados Nacional.....	114
Tabela 4.10 – EE para a Base de Dados Internacional	116
Tabela 4.11 – EC para as bases de dados nacional e internacional	120
Tabela 4.12 – EC das tubulações para a base de dados nacional.....	124

Tabela 4.14 – EC dos elementos que compõem o reservatório de concreto armado.....	128
Tabela 4.15 – EC dos reservatórios para a base de dados nacional.....	128
Tabela 4.16 – EC dos reservatórios para a base de dados internacional.....	129
Tabela 4.17 – EC da escavação.....	130
Tabela 4.18 – EC das Bombas	131
Tabela 4.19 – EC para a base de dados nacional	132
Tabela 4.20 – EC para a base de dados internacional.....	134
Tabela 4.21 – Indicadores de EE, EC, habitação e água pluvial	138
Tabela 4.22 – Classificação dos Cenários por Indicadores.....	141
Tabela A1 – Quantitativo de materiais do cenário individual da base de dados nacional.....	156
Tabela A2 – Quantitativo de materiais do cenário coletivo da base de dados nacional	161
Tabela A3 – Quantitativo de materiais do cenário individual da base de dados internacional	168
Tabela A4 – Quantitativo de materiais do cenário coletivo da base de dados internacional..	173
Tabela A5 – Resumo MSL	180

LISTA DE SIGLAS

ACV	Análise de Ciclo de Vida
ACVs	Análises de Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida
CED	<i>Cumulative Energy Demand</i>
CML	Institute of Environmental Sciences
EC	Dióxido de carbono equivalente embutido
EDIP	Environmental Design of Industrial Products
EE	Energia embutida
EIO	Economic Input-Output Life Cycle Assessment
EMPA	Instituto Federal Suíço para Pesquisa e Testes de Materiais
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
HIS	Habitação de Interesse Social
ICV	Inventário de ciclo de vida
IEE	Indicador de Energia Embutida
IMPACT	IMPact Assessment of Chemical T oxics
INMET	Instituto Nacional de Metereologia
ISO	International Organization for Standardization
JCR	Journal Citation Reports
LCA	Análise de Ciclo de Vida

LCA	Análises de Ciclo de Vida
LIME	Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling
MLR	Máquina de lavar roupa
MRI	<i>Midwest Research Institute</i>
MSL	Mapeamento sistemático de literatura
MSL	Mapeamento Sistematizado de Literatura
NBR	Norma Brasileira
NVP	<i>Net Present Value</i>
PEAD	Polietileno de alta densidade
PSO	Particle Swarm Optimization
REPA	Resource and Environmental Profile Analysis
RIVM	National Institute of Public Health and the Environment
RWH	Rainwater Harvesting
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SPAAP	Sistema Predial de Aproveitamento de Água Pluvial
SPAAPs	Sistemas Prediais de Aproveitamento de Água Pluvial
TRACI	Tools for Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts
UNEP	<i>United Nations Environmental Programme</i>

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA	17
1.2. QUESTÃO DE PESQUISA	21
1.3. OBJETIVOS.....	21
1.4. LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	21
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO	22
CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1. ANÁLISE DE CICLO DE VIDA	23
2.1.1. Definições	23
2.1.2. Fases da ACV e estrutura metodológica	28
2.1.2.1. Definição de objetivo e escopo	28
2.1.2.2. Análise de inventário de ciclo vida	30
2.1.2.3. Avaliação do impacto de ciclo de vida	32
2.1.2.4. Interpretação do ciclo de vida	32
2.1.3. Aplicações, vantagens e limitações da ACV	33
2.1.4. Modelos de análise de impacto de ciclo de vida	35
2.1.5. Pesquisas em análise de ciclo de vida no Brasil e indicadores ambientais ..	41
2.2. MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DE LITERATURA	44
2.2.1. Definição do tema.....	46
2.2.2. Definição das bases de dados	46
2.2.3. Definição das palavras-chave.....	46
2.2.4. Formulação dos <i>strings</i>	47
2.2.5. Definição dos parâmetros adotados	47

2.2.6.	Extração sistematizada dos dados	47
2.2.7.	Codificação dos dados	48
2.2.8.	Processamento e contabilização dos dados obtidos.....	48
2.2.9.	Síntese e análise dos dados	49
CAPÍTULO 3 METODOLOGIA.....		Erro! Indicador não definido.
3.1.	ESCOLHA E CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO Erro! Indicador não definido.	
3.2.	CONCEPÇÃO E ELABORAÇÃO DOS PROJETOS DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL (SPAAP)	69
3.2.1.	Dimensionamento do subsistema de coleta e distribuição.....	73
3.2.2.	Dimensionamento das bombas	76
3.3.	DIMENSIONAMENTO DOS RESERVATÓRIOS	76
3.3.1.	Determinação da oferta de água pluvial	77
3.3.2.	Determinação da demanda de água pluvial	78
3.3.3.	Obtenção da função custo do reservatório	81
3.3.4.	Determinação dos custos de manutenção e operação do reservatório	82
3.3.5.	Variáveis econômicas.....	83
3.3.6.	Aplicação do método para dimensionamento do reservatório	84
3.4.	AVALIAÇÃO AMBIENTAL	87
3.4.1.	Definição de Objetivos e Escopo.....	88
3.4.2.	Definição da unidade funcional	89
3.4.3.	Análise de inventário e avaliações de impactos ambientais	90
3.4.4.	Interpretação dos resultados.....	92
CAPÍTULO 4 RESULTADOS		101
4.1.	ENERGIA EMBUTIDA.....	101
4.1.1.	Análise de inventário e avaliação dos resultados	101
4.1.1.1.	EE das tubulações	104

4.1.1.2.	EE dos reservatórios	107
4.1.1.3.	EE da escavação	110
4.1.1.4.	EE das bombas	112
4.1.2.	Avaliação de impacto.....	114
4.2.	DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE EMBUTIDO.....	120
4.2.1.	Análise de inventário e avaliação dos resultados	120
4.2.1.1.	EC das tubulações	123
4.2.1.2.	EC dos reservatórios	127
4.2.1.3.	EC da escavação	129
4.2.1.4.	EC das bombas	130
4.2.2.	Avaliação de impacto.....	132
4.3.	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	138
CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES.....		143
REFERÊNCIAS.....		146
APÊNDICE.....		156

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

No capítulo 1 deste trabalho são apresentados os pontos que contextualizam a pesquisa e justificam o tema abordado. Apresentando também os objetivos e a estrutura do trabalho.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Por mais que o avanço tecnológico e social tenha ocorrido de forma intensa nas últimas décadas, observa-se ainda um grande número de pessoas que vivem em situações de pobreza. No Brasil 22,3% da população vive em favelas (BANCO MUNDIAL, 2017c). Especialmente nas periferias de grandes centros urbanos e/ou em países em desenvolvimento, deficiências no transporte público, nas infraestruturas de abastecimento de água e coleta de esgoto, na educação, na segurança e na habitação são ainda observadas (BANCO MUNDIAL, 2017a; 2017b).

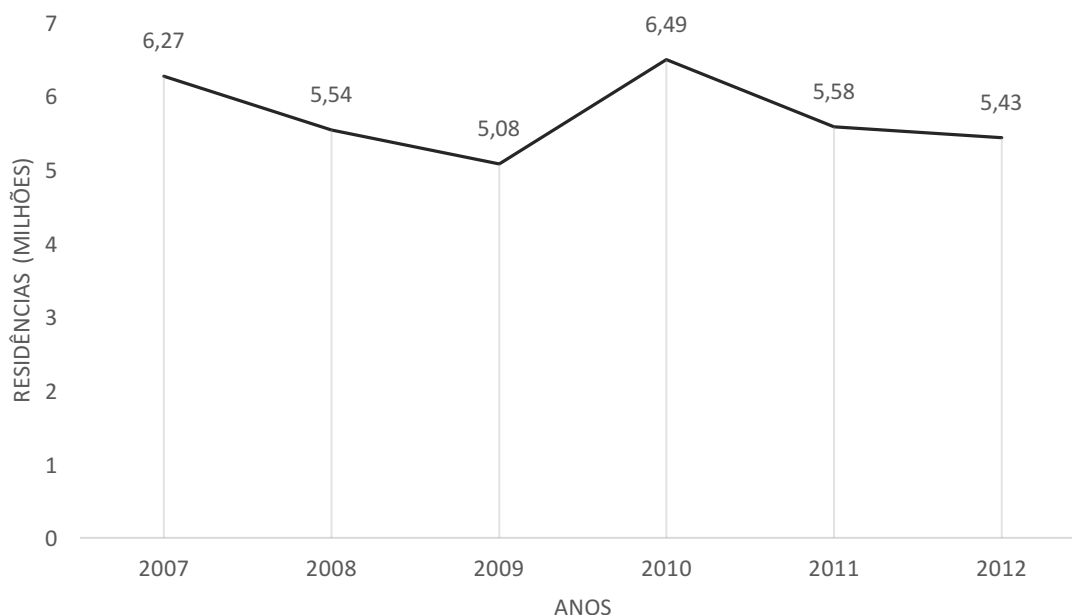
Como forma de determinar um padrão comum mínimo a ser alcançado por todos os povos e nações, estabelecendo pela primeira vez a proteção universal dos direitos humanos básicos e da qualidade de vida para todo ser humano, foi criada a Declaração Universal de Direitos Humanos em 1948, conforme:

Todo ser humano tem direito a um padrão de vida capaz de assegurar-lhe, e a sua família, saúde e bem-estar, inclusive alimentação, vestuário, habitação, cuidados médicos e os serviços sociais indispensáveis, e direito à segurança em caso de desemprego, doença, invalidez, viuvez, velhice ou outros casos de perda dos meios de subsistência em circunstâncias fora de seu controle. [...]. Todo ser humano tem direito à propriedade, só ou em sociedade com outros. Ninguém será arbitrariamente privado de sua propriedade (ONU, 1948, p 10 e 13).

No entanto, essa não é a realidade mundial. No Brasil, por exemplo, no que se refere ao déficit habitacional, estimou-se que em 2009, os valores chegavam em 5,998 milhões de domicílios, dos quais mais de 5 milhões, ou 84,8%, localizavam-se em áreas urbanas. Isto representou um acréscimo de 459 mil unidades habitacionais no déficit habitacional brasileiro, se comparado

ao ano anterior (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2015). A Figura 1.1 apresenta os dados de déficit habitacional no Brasil dos anos de 2007 a 2012 em milhões de residências por ano.

Figura 1.1 - Déficit habitacional no Brasil



Fonte: elaborado a partir dos dados da Fundação João Pinheiro (2015).

Dessa forma destaca-se a importância em se promover programas que apoiem a diminuição do déficit habitacional no Brasil. Diante da problemática desses quase 6 milhões de famílias e com o objetivo de saná-la pelo menos parcialmente, naquele mesmo ano o Governo Federal criou o “Programa Minha, Casa Minha Vida”, que ainda hoje, oferece condições atrativas para o financiamento de residências em áreas rurais e urbanas, para famílias de baixa renda. Com o apoio dos governos estaduais, empresas e entidades sem fins lucrativos, o programa já conseguiu entregar mais de um milhão de moradias e até 2014 estavam previstas a entrega de mais 2 milhões de casas e apartamentos (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2015), diminuindo assim a carência do número de habitações para essa parcela da população e melhorando a qualidade de vida de seus beneficiários.

Porém, a implantação de conjuntos habitacionais em uma determinada localidade cria, no local, uma demanda antes não existente. Para garantir a qualidade de vida mínima, faz-se necessária

a implementação de infraestruturas, tais como de saneamento: distribuição de água potável e coleta de esgoto, de drenagem urbana, de vias de acesso e de distribuição de energia, assim como a avaliação da logística de deslocamento de seus usuários. Tais aspectos devem estar automaticamente atrelados à implantação desses conjuntos habitacionais. No entanto, viabilizar a execução de todos esses pontos, gera impactos ambientais e sociais relevantes para o ecossistema urbano e que devem, portanto, serem considerados.

Para mitigar esses impactos, estão disponíveis no mercado uma série de ferramentas e tecnologias aplicáveis como por exemplo: materiais sustentáveis, dispositivos redutores de consumo de água, utilização de energia solar, uso de ventilação cruzada, construção industrializada, normas de desempenho, certificações de sustentabilidade, gestão de resíduos, bioconstrução, dentre outros, conforme apresentado por Colombo, Sattler e Almeida (2006) e por Lamberts *et al.* (2007). Porém, tais alternativas não são amplamente empregadas nesses programas de habitação social no Brasil, pois ainda a preocupação mais relevante é tentar manter a qualidade mínima da construção, enquanto as empresas buscam o aumento de suas margens de lucro (LAMBERTS *et al.*, 2007).

Além disso, essas alternativas de sustentabilidade oferecem opções de elementos a serem implementados na edificação, não realizando um estudo comparativo entre sistemas similares, de modo que indicassem qual modelo seria mais adequado para cada realidade.

Neste contexto, o aproveitamento de água pluvial vem se destacando como medida mitigadora de impactos ambientais, tais como estresse hídrico diminuindo a demanda de água potável, assim como, auxiliando também, na redução do volume de água na rede de drenagem urbana durante os picos de escoamento, reduzindo os riscos de enchentes e inundações (YRUSKA, 2008).

Vale ressaltar que, a despeito de todas essas vantagens, é de suma importância que para a instalação de um Sistema Predial de Aproveitamento de Água Pluvial – SPAAP, seja realizado um planejamento. Isto porque estes sistemas podem ser constituídos de diversos componentes e sob configurações distintas. A escolha adequada da configuração adotada e principalmente do volume de armazenamento utilizado, é fundamental para o sucesso do empreendimento. Isto porque os elementos utilizados na implantação desses sistemas agregam custos, bem como impactos ambientais embutidos em sua produção (CAMPUS Marcus, 2012). Existindo, portanto, a necessidade de ferramentas que contribuam com o processo decisório.

Sendo assim, para que se obtenha a sustentabilidade e a economia visadas, devem ser avaliados todos os aspectos de implantação desses sistemas, tais como os índices pluviométricos e as configurações do sistema, desde as fases iniciais de projeto. Isto, contribui ainda, com a redução de futuros desperdícios (LAMBERTS *et al.*, 2007) e com tomadas de decisão mais assertivas.

Portanto, a realização de um estudo de implantação, considerando a maior quantidade de informações possível, para estes sistemas, contribui com um volume final de reservatório adequado às ofertas e às demandas existentes. Isto confere qualidade no funcionamento do sistema, auxiliando ainda na redução de consumo de energia e material. Isto contribui não somente com a qualidade financeira e da execução do projeto, como também auxilia na manutenção da qualidade de vida humana e da biodiversidade na Terra (GHIMIRE *et al.*, 2014).

Porém, comumente são estabelecidas avaliações unicamente econômicas, desconsiderando aspectos essencialmente ambientais. Entretanto, observa-se que alguns autores começaram a fazer suas tomadas de decisão desta forma tais como Marinowski (2010), Gardels (2011) e Green (2011).

Seguindo essa linha, a análise de ciclo de vida (ACV), avalia os impactos ambientais gerados em cada etapa da produção, uso e descarte de qualquer produto analisado, possibilitando identificar as fases mais ou menos impactantes ao longo da vida útil do objeto de estudo. Isso confere ao avaliador a oportunidade de identificar os potenciais pontos de redução dos impactos ambientais ou ainda comparar dentre as possíveis estratégias de interesse, qual a mais viável para determinada situação (MARINOSKI, 2010). É devido à essa flexibilidade intrínseca à ACV que faz dela uma ferramenta com potencial aplicação em avaliações ambientais.

Observando, portanto, a amplitude dos impactos gerados na implementação desses conjuntos habitacionais de interesse social e sabendo-se que medidas mitigadoras de impacto ambiental não são ainda comumente implementadas nesse padrão de empreendimento, percebeu-se que é de suma importância avaliá-los de maneira holística. Assim sendo, surge a proposta do atual trabalho.

1.2. QUESTÃO DE PESQUISA

O trabalho tem a seguinte questão norteadora: Como utilizar o impacto da energia embutida e da emissão de CO₂ na tomada de decisão para configurações de Sistemas Prediais de Aproveitamento de Água Pluvial (SPAAPs) em habitações de interesse social (HIS)?

1.3. OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é descrever a utilização de indicadores ambientais, ligados ao consumo energético e emissão de dióxido de carbono, baseado nos conceitos da Análise de Ciclo de Vida (ACV), no processo de apoio à decisão na escolha de configurações de SPAAPs em HIS. O trabalho tem como objetivos específicos identificar ainda o consumo energético e as emissões equivalentes de dióxido de carbono de cada elemento de projeto, realizar a comparação entre duas bases de dados e apresentar estes dados acumulados ao longo do tempo da vida útil de projeto.

1.4. LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Durante o processo de pesquisa e condução deste trabalho, deparou-se com alguns aspectos limitantes quanto à abrangência do estudo, que não comprometeram, porém, os resultados alcançados, mas que devem ser citados.

Inicialmente trata-se de um estudo de caso, portanto os resultados aqui obtidos não podem ser generalizados para outras situações, sem as devidas adequações. Para isto, recomenda-se a aplicação do processo metodológico utilizado neste trabalho, para atingir resultados mais concisos.

O segundo aspecto se refere quanto à avaliação ambiental aplicada. Trata-se, nesta conjuntura, de um processo metodológico com seus conceitos simplificados, baseados na ACV, apresentando como resultados iniciais a energia embutida (EE) e o dióxido de carbono equivalente embutido (EC) em cada um dos sistemas avaliados.

Por fim, os dados atribuídos para os elementos constituintes dos SPAAPs são provenientes de bibliografias que abrangem uma mesma fronteira de sistema, no entanto para os materiais em que os dados não puderam ser obtidos, houve duas formas de atribuição de valores. A primeira foi adotar um valor de EE e EC, proporcionais ao de um elemento com composição igual ou

semelhante ao material avaliado, conforme a massa de cada um desses materiais. A segunda forma foi para elementos de composição mais complexas, como bombas e válvulas solenoides em que são compostos por diversos materiais. Nestes casos, foi atribuído o valor de EE e EC do principal elemento constituinte do equipamento.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi estruturado em cinco capítulos. No Capítulo 1 é apresentada a contextualização da situação do déficit habitacional no Brasil, relevando o programa “Minha Casa, Minha Vida” como uma solução para esta situação. No entanto o capítulo tem como foco mostrar o aproveitamento de água pluvial como uma solução para mitigar alguns impactos gerados pela construção desses conjuntos habitacionais. Apresenta-se, ainda neste ponto, a ACV como uma ferramenta valiosa no processo decisório da escolha dentre as possíveis configurações de SPAAPs.

No capítulo 2 tem-se a revisão bibliográfica que se divide em duas seções principais. Em sua primeira parte, apresenta-se o conceito da ACV e sua estrutura metodológica, incluindo suas vantagens e limitações. Serão expostos ainda dois trabalhos em que as revisões e metodologias de ACV serviram como base para esta pesquisa. Para a segunda parte, aponta-se o processo de realização do Mapeamento Sistemático de Literatura – MSL, método que serviu de apoio para a obtenção de artigos que abordassem o tema de ACV em SPAAPs. São indicadas ainda suas etapas realizadas e seus resultados obtidos.

No Capítulo 3 descreve-se a metodologia utilizada nesta dissertação. O fluxograma apresentado logo no início do mesmo, ilustra os processos de como o trabalho foi organizado e estabelecido. Este capítulo é focado principalmente na metodologia para a elaboração dos dimensionamentos dos SPAAPs e nos procedimentos realizados para a aplicação dos conceitos de ACV como ferramenta de avaliação ambiental.

O capítulo 4 descreve os resultados obtidos com a aplicação da metodologia, apresentando os dados tratados, a comparação entre os sistemas propostos e as bases de dados utilizadas.

Por fim, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões estabelecidas neste estudo e as sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica da pesquisa estrutura os conceitos básicos para o desenvolvimento do trabalho. Nela serão abordados os tópicos de ACV e de MSL para a obtenção respectivamente da metodologia e bibliografia utilizadas.

2.1. ANÁLISE DE CICLO DE VIDA

Todo e qualquer produto ou serviço promove, em algum grau, um impacto ambiental. E a busca por um desenvolvimento mais sustentável fomenta a estruturação de ferramentas e mecanismos que possam contribuir com o aumento da eficiência ambiental destes processos produtivos (TAVARES, 2006). Uma dessas ferramentas é a ACV, que é conceituada pela norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) e complementada pela NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b) do mesmo ano.

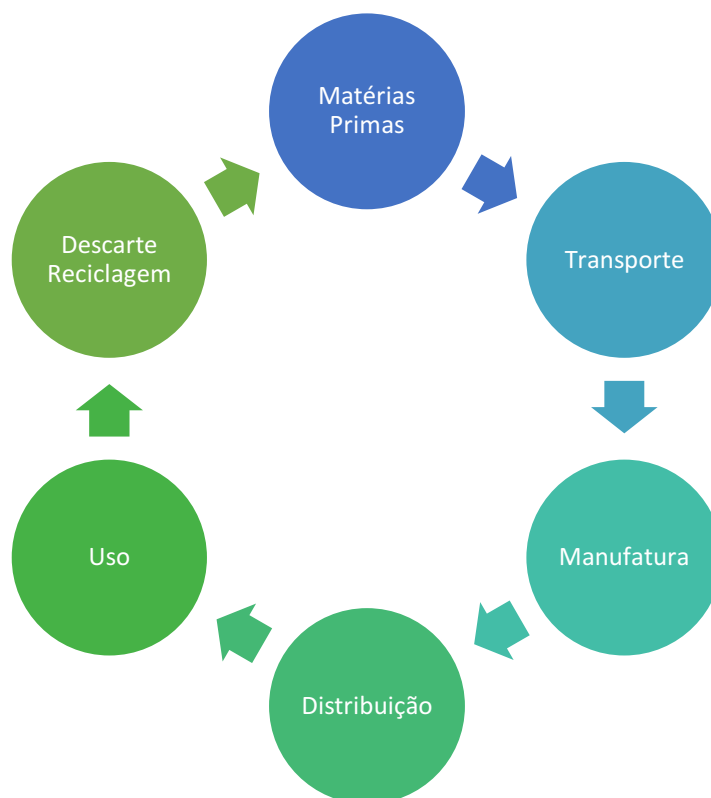
2.1.1. Definições

Conforme a Norma Técnica Brasileira NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) o ciclo de vida de determinado produto ou serviço é definido pelos seus vários estágios existentes, consecutivos e encadeados ao longo de sua vida útil. Estas fases são consideradas desde a extração de matéria-prima, passando pela execução, transporte, aplicação, reciclagem e reuso ou reaplicação e ainda sua disposição final.

A ACV, portanto, trata-se de uma avaliação que reúne todas essas fases do ciclo de vida de um produto ou serviço, considerando todos os aspectos de entradas, tais como materiais e energia, e saídas tais como as emissões de gases estufa, energia embutida, formação de chuva ácida, agravamento do efeito estufa, poluição de solos e água, assim como os demais resultados, incluindo os impactos ambientais potenciais durante esse período. É comumente denominada como uma avaliação técnica do berço ao túmulo, que propõe a realização de uma análise de perdas e ganhos de cada processo, relacionado ao produto ou serviço em questão (ABNT, 2009a; ARANTES, 2008; MARINOSKI, 2010; GARDELS, 2011). A Figura 2.1 apresenta

uma cadeia geral de processos típica, que pode ser generalizada para quase qualquer serviço ou produto.

Figura 2.1 - Cadeia de mantimentos típica do ciclo de vida de um produto ou bem



Fonte: Adaptado de Gardels (2011).

Esse tipo de avaliação teve-se início no final da década de 1960, na qual um dos primeiros estudos que se tem registro, foi realizado pelo *Midwest Research Institute* – MRI, a pedido da Coca-Cola. A pesquisa conduzida tinha como objetivo, quantificar o uso de matérias primas e energia, assim como, das emissões ambientais provenientes do processamento de materiais para a produção de diferentes embalagens. Como resultado final, tinha-se a proposta de avaliar dentre essas embalagens, qual resultaria num menor impacto ambiental como um todo (LIMA, 2007).

Demais estudos com o mesmo enfoque foram realizados na década seguinte ainda nos Estados Unidos, durante a primeira crise do petróleo, denominados como *Resource and Environmental*

Profile Analysis – REPA, mas o termo *Life Cycle Assessment* – LCA só foi utilizado em meados da década de 1990 no mesmo país (HUNT; FRANKLIN, 1996).

Portanto, por se tratar de uma análise holística de um determinado serviço ou produto, a ACV é amplamente utilizada para realizar avaliações comparativas entre produtos com os mesmos fins, provenientes porém de processamentos ou matérias-primas distintas (MARINOSKI, 2010).

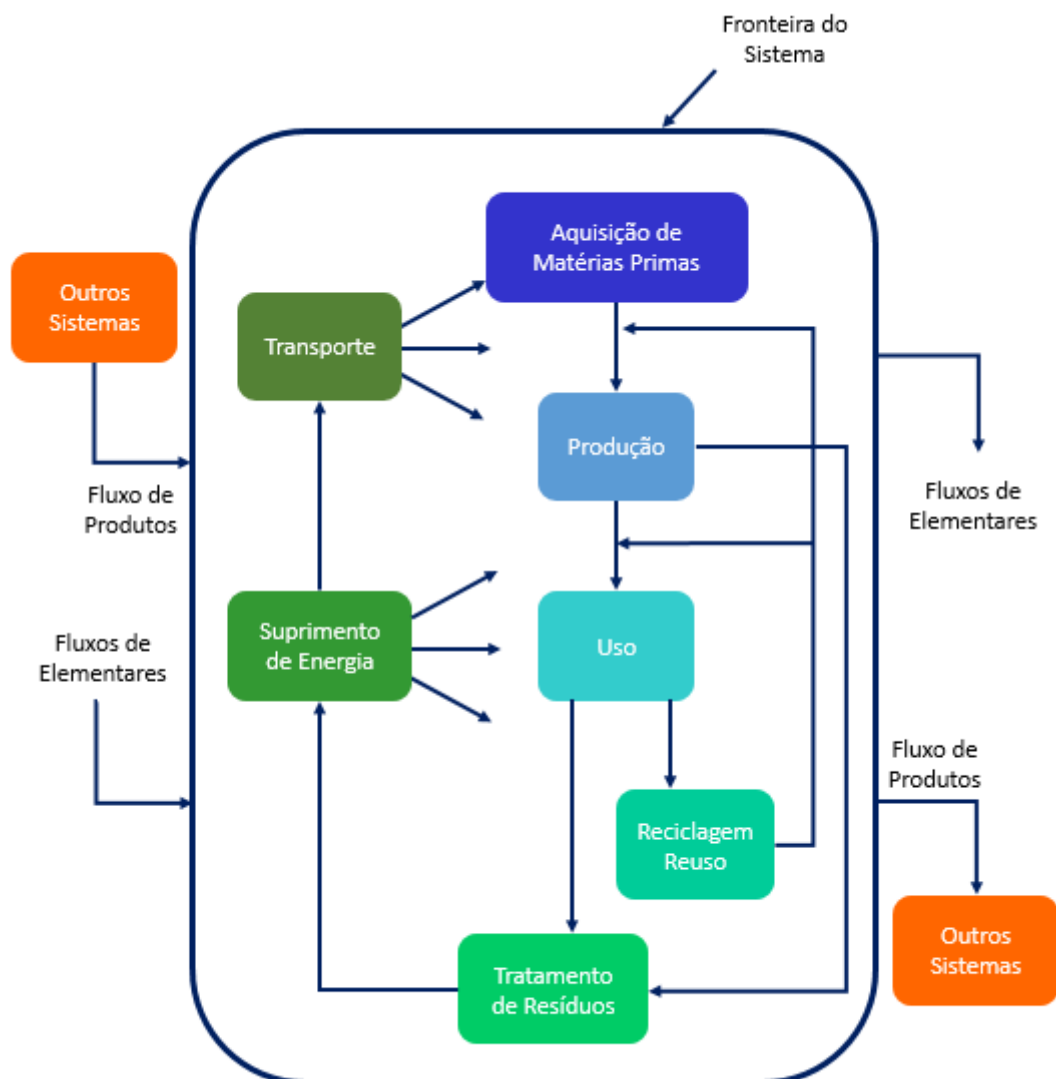
Além disso, a ACV pode ainda ser utilizada para a avaliação de um produto único. Isto ocorre pois atua como uma ferramenta que permite a identificação de falhas nas etapas e/ou em pontos específicos, em qualquer fase do ciclo de vida do material ou produto. Ou seja, possibilita que se obtenha uma visão global do processo, auxiliando a detectar em que nível desse processamento, pode-se atuar de maneira a diminuir os impactos causados por sua produção (ARANTES, 2008).

A ACV atua, dessa forma, como uma ferramenta de gestão ambiental, pois auxilia a identificar os pontos críticos nos processos de produção, bem como a implantar ações de melhorias quando necessário (ARANTES, 2008; CONSOLI *et al.*, 1993¹ apud MARINOSKI, 2010). Além disso, averigua nas etapas de produção tais como: extração de matérias-primas, manufatura, produção de insumos, transporte e distribuição dos materiais, aplicação do produto ou serviço, uso e pós-uso e disposição final; a necessidade de possíveis mudanças. Isto, conforme apresentado por Marinoski (2010), estimula que as indústrias passem a considerar em seus processos produtivos tais aspectos ambientais, contribuindo ainda com a melhoria desses processos e no aprimoramento de produtos já consolidados.

Observando-se que a ACV pode ser realizada para qualquer serviço ou produto, deve-se definir, portanto, o conjunto de critérios que vão especificar quais processos elementares irão fazer parte desse sistema de produto (ABNT, 2009a), conforme apresentado pela Figura 2.2.

¹ CONSOLI, F. J.; DENISON, R.; DICKSON, K.; MOHIN, T. **Guidelines for Life-Cycle Assessment: a “code of practice”**. 1ª Ed. Pensacola: Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) Foundation for Environmental Education, 1993.

Figura 2.2 - Exemplo de um sistema de produto para ACV



Fonte: Adaptado da NBR 14040 (ABNT, 2009a).

Sendo assim, a ACV possui um conteúdo mínimo analisado, possuindo três aspectos que abordam diferentes níveis de uma avaliação: a extensão, a largura e a profundidade. A extensão abrange todo o limite da avaliação, apontando o ponto de partida e de parada das análises. A largura aborda os níveis de subsistemas que poderão ser inclusos no estudo, apresentando quais e quantos serão avaliados. E por fim a profundidade indica o grau de detalhamento das análises propostas (CHEHEBE, 1998² *apud* LIMA, 2001).

² CHEHEBE, José Ribamar. **Análise do Ciclo de Vida dos produtos – ferramenta gerencial da ISO 14.000**. Ed. Qualitymark. Rio de Janeiro. 1998.

Sendo assim, a Análise de Ciclo de Vida pode ser dividida quanto aos seus níveis de aprofundamento, conforme proposto por Carvalho (2000):

- Análise de Ciclo de Vida Conceitual: são análises usualmente menos profundas, nas quais os aspectos ambientais considerados se baseiam em inventários limitados e geralmente qualitativos.
- Análise de Ciclo de Vida Simplificada: são análises que abordam todo o ciclo de vida do produto ou serviço avaliado, utilizando-se de dados gerais de características tanto quantitativas quanto qualitativas, assim como de modelos padrão para os aspectos de transporte ou de consumo de energia. Se limita aos pormenores mais importantes de uma avaliação de ciclo de vida, destacando os aspectos ambientais e potenciais de maior impacto, como também apontando apenas as fases mais relevantes dos processos.
- Análise de Ciclo de Vida Detalhada: trata-se da avaliação mais específica e aprofundada, que abrange todas as etapas do sistema, contabilizados todos os dados de entrada e saída. Justamente por todo este detalhamento e especificidades, poucos estudos detalhados, com embasamento teórico razoável, têm sido encontrados.

Percebe-se portanto que apesar da Análise de Ciclo de Vida ser uma metodologia bastante abrangente, ela também possui suas limitações. As quais no entanto, não a impede de ser uma metodologia estruturada e com qualidade suficiente para ser aceita por diversas instituições, tanto governamentais quanto não governamentais. Conforme apresentado por Marinowski (2010), comitês de normalização também fazem uso do LCA como ferramenta de avaliação ambiental, tais como a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry – SETAC*, a *United Nations Environmental Programme – UNEP* e a *International Organization for Standardization – ISO*; auxiliando na seleção de indicadores de desempenho ambiental e de técnicas empregadas para tanto. Isto porque ela fornece um nível maior de aprofundamento quanto aos aspectos que auxiliam estas instituições nas tomadas de decisão, no planejamento estratégico, definindo quais são as prioridades a serem deliberadas e a metas a serem atingidas. Contribuindo ainda nos projetos de reestruturação ou não de um produto ou um processo (ABNT, 2009a).

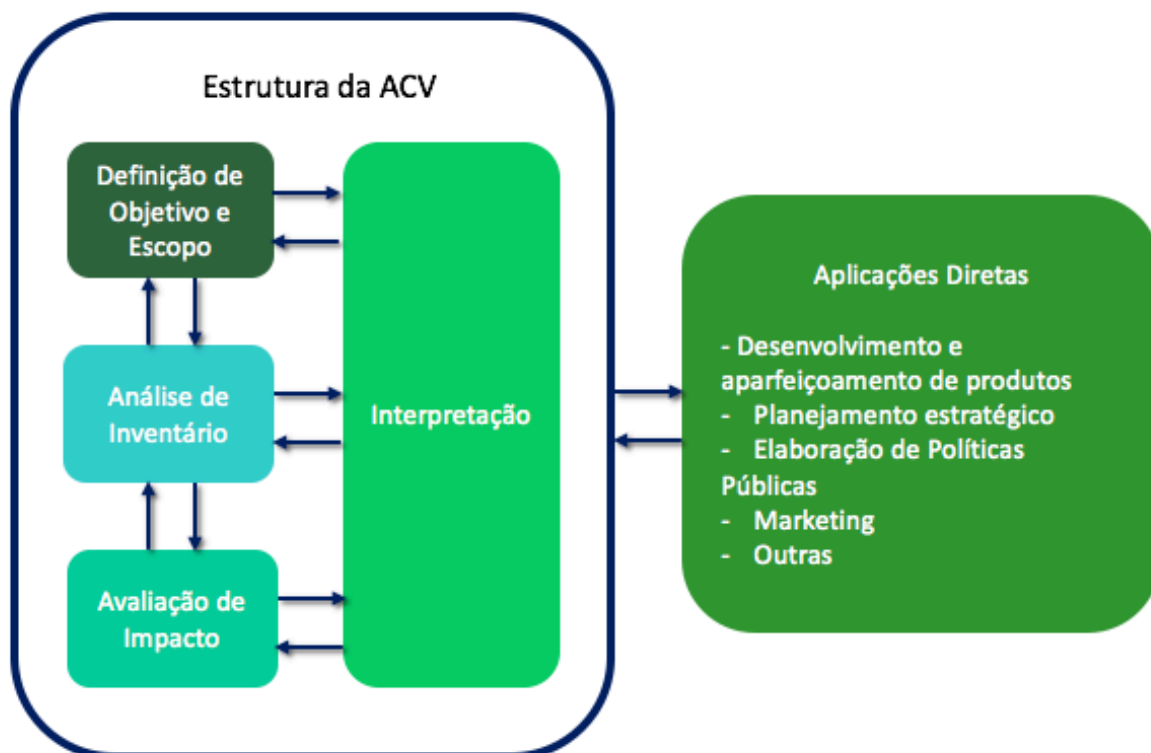
Por fim este método ainda pode ser aplicado de forma a contribuir com a consolidação de uma marca, por meio da comprovação do desempenho ambiental superior de um determinado produto em relação à um outro de mesmo emprego, ou ainda na elaboração de uma declaração ambiental de um produto, serviço ou sua rotulagem (ABNT, 2009a).

Ainda conforme a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) não existe apenas uma única forma de se empregar a metodologia de ACV, pois ela confere flexibilidade em sua aplicação, conforme cada objetivo específico e os requisitos determinados pela organização que faz uso deste tipo de análise.

2.1.2. Fases da ACV e estrutura metodológica

A NBR ISO 14.040 (2009a) indica que a ACV é composta por quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação, conforme apresentado pela Figura 2.3.

Figura 2.3- Fases de uma ACV



Fonte: Adaptado de NBR 14040 (ABNT, 2009a)

2.1.2.1. Definição de objetivo e escopo

O objetivo de uma ACV deve abranger e estabelecer quais são as aplicações pretendidas com esta avaliação realizada, contemplando ainda as razões pelas quais o estudo em questão está sendo executado. Além disso, deve deixar claro o público-alvo a que se destina a publicação

dos resultados obtidos, incluindo assim se estes resultados serão ou não divulgados publicamente fomentando a comparação de resultados. Estabelece-se nesta etapa, os objetivos, o escopo, a abrangência da análise, assim como seus limites e seus níveis de aprofundamento nos detalhes e ainda a construção da metodologia e dos processos que garantem a qualidade dos resultados (MARINOSKI, 2010).

A NBR ISO 14040 (2009a) especifica ainda que o escopo para a realização do estudo deve ser suficientemente bem estipulado, de forma a garantir que a extensão, a largura e a profundidade da pesquisa sejam adequadas e condizentes o bastante para que se alcance o objetivo pretendido. Ele deve considerar e descrever os seguintes aspectos:

- O sistema do produto ou serviço a ser avaliado;
- As funções de cada sistema que compõe o processo produtivo do produto, ou em casos comparativos dos sistemas a serem comparados;
- A unidade funcional, que corresponde ao desempenho quantificado de um sistema de produto que será utilizado como unidade de referência;
- A fronteira que abrange todo o sistema a ser considerado, ou seja, quais etapas do ciclo de vida do produto estudado serão avaliadas;
- Os procedimentos de alocação dos fluxos de entrada e saída, de cada processo de produto em outros sistemas de produtos (co-produtos);
- Os impactos a serem contabilizados, bem como a metodologia para a avaliação destes a ser utilizada, incluindo a interpretação a ser realizada consequentemente;
- Os requisitos de dados utilizados;
- Os pressupostos ou considerações realizadas;
- As limitações encontradas;
- Os requisitos iniciais estabelecidos quanto aos aspectos qualitativos dos dados utilizados;
- O tipo de revisão e análise crítica a serem realizados, se forem aplicáveis ao estudo em questão;
- O tipo e formato de relatório realizado para a análise a ser estabelecida.

Como pode-se perceber, a ACV trata-se de uma técnica flexível, adaptando-se às realidades específicas de cada estudo. Para que os objetivos a serem cumpridos sejam alcançados, vários desses aspectos do escopo citados, podem ir sendo modificados à medida que os dados e as

informações necessárias ao estudo forem sendo coletadas, tratando-se de uma metodologia retroalimentável (ABNT, 2009a).

2.1.2.2. Análise de inventário de ciclo vida

A Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) é uma parte considerável do ACV. A NBR ISO – 14.040 (ABNT, 2009a) esclarece que, em algumas situações, apenas o Estudo do Inventário do Ciclo de Vida do produto em questão, já pode ser suficiente para a identificação dos pontos de melhorias. Assim, alcançado o objetivo, as devidas tomadas de decisões que se fazem necessárias poderão ser satisfatoriamente tomadas, como também a obtenção das conclusões e das recomendações pertinentes.

No entanto, os Estudos de Avaliação de Ciclo de Vida e se diferem dos Estudos de Inventário do Ciclo de Vida por conterem a etapa de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida.

A fase de Análise do Inventário do Ciclo de Vida é a fase que prossegue a etapa de definição do objetivo e do escopo do estudo e abarca a coleta dos dados necessários para que o objetivo seja atingido. Trata-se de uma compilação de dados de entrada, tais como matéria-prima utilizada e o consumo de energia necessário; e de dados de saída, tais como as emissões de gases estufa ou a produção de resíduos sólidos de um determinado sistema em foco. Vale ressaltar que os dados adquiridos devem estar em concordância com a unidade funcional estabelecida na primeira etapa do procedimento metodológico (ABNT, 2009a).

Dessa forma, trata-se de uma fase de extrema importância para a avaliação quantitativa de impactos ambientais. É uma etapa exigente a nível de detalhamento, pois a partir desta, todos os demais resultados podem ser influenciados. Portanto, há a necessidade de se adquirir dados confiáveis e de qualidade, para que os resultados obtidos mantenham o mesmo nível de competência, mesmo que eles tenham que ser estimados (MARINOSKI, 2010). Conforme apresentado por Gardels (2011) esses dados de inventário podem também ser obtidos pelo uso de diversos softwares tais como GaBi®, SimaPro®, Ecoinvent®, *LCA Food* e *TEAM Discovery*. Eles possuem uma base de dados de entrada e saída para diversos materiais e produtos.

Para se conduzir uma ICV, a NBR ISO – 14040 (ABNT, 2009a) especifica que ao longo desse processo, o nível de conhecimento sobre o sistema torna-se mais aprofundado, o que pode vir a estabelecer novos requisitos ou ainda novas fronteiras do sistema. Isto pode acarretar uma

mudança de objetivos, no escopo do estudo, ou até mesmo na coleta dos dados. Portanto durante essa fase, todo o estudo que deve ser constantemente revisado, afim de que se produza e se obtenha os resultados esperados, mostrando que este é um processo iterativo.

Os dados coletados podem ser classificados em quatro grupos:

- Dados de entrada de quantidade de energia ou de matéria-prima consumida, ou ainda demais entradas físicas ou auxiliares;
- Dados de produtos, co-produtos e resíduos produzidos;
- Emissões atmosféricas realizadas, assim como descarga de subprodutos tanto para a água quanto para o solo;
- Dados de outros impactos ambientais não citados.

Esses dados podem ser provenientes de quaisquer etapas da vida útil do produto analisado, desde a extração de matérias-primas e insumos e seus processamento e transporte. Devem ser considerados ainda os dados de entrada e saída da produção, transporte e distribuição dos produtos obtidos, considerando também os gastos energéticos e as emissões de sua instalação, uso, reuso, manutenção, reciclagem e/ou disposição final (MARINOSKI, 2010).

Por o processo de coleta de dados demandar muitos recursos, ou em alguns momentos serem de difícil acesso, é aceitável que algumas restrições e considerações sejam aceitas, devendo estas, serem registradas ao longo do relatório do estudo realizado (GARDELS, 2011).

Durante os processos de cálculos a partir dos dados obtidos, tem-se a seguinte ordem de procedimento:

- Validação dos dados coletados;
- Correlação desses dados aos processos elementares de cada estudo;
- Correlação dos dados aos fluxos de referência considerados e à unidade funcional definida;
- Determinação dos métodos de cálculo;
- Procedimentos de alocação de fluxos e liberações;
- Agregação dos dados;
- Reestabelecimento das fronteiras do sistema.

2.1.2.3. Avaliação do impacto de ciclo de vida

A fase de Avaliação do Impacto de Ciclo de Vida (AICV) utiliza os dados da etapa anterior de forma a buscar a compreensão dos impactos potenciais que possam ser gerados ao longo do Ciclo de Vida do produto em estudo. Fornecendo ao final, resultados que serão úteis na etapa de Interpretação do Ciclo de Vida.

Nesta etapa, os dados do Inventário de Ciclo de Vida são associados a categorias de impacto específicas para cada estudo e para cada impacto individualmente através de indicadores. Segundo Tavares (2006) nesta etapa atribui-se pesos para cada impacto ambiental potencial definido no escopo do estudo, que em muitas circunstâncias tem sido considerado de modo subjetivo, por envolver também fatores sociais, éticos, políticos e culturais. No entanto, para que o estudo seja finalizado de maneira satisfatória, deve-se adotar os mesmos critérios de avaliação para os processos, quando comparados. Conforme Arantes (2008) sugere ainda que se utilize esta fase na tentativa da compreensão dos impactos potenciais, classificando-os em categorias de acordo com os tipos dos impactos gerados.

Para que os cálculos sejam realizados, a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) propõe três pontos obrigatórios:

- Seleção das categorias de impacto potenciais, assim como seus indicadores e suas caracterizações;
- Correlação entre os dados obtidos no Inventário de Ciclo de Vida e as categorias de impacto propostas, classificando-as;
- Caracterizar os impactos a partir dos cálculos dos indicadores de categoria.

Vale ressaltar que nesta etapa, são considerados apenas os impactos estabelecidos no escopo do estudo, podendo não avaliar completamente todos os fatores ambientais que podem ser causados durante o Ciclo de Vida do produto ou serviço em estudo, conforme indicado pela NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a). Ela completa ainda que as metodologias aplicáveis estão ainda em fase de desenvolvimento, portando, é indispensável que o estudo proposto seja realizado com o maior detalhamento quanto seja possível.

2.1.2.4. Interpretação do ciclo de vida

Na última fase da Análise de Ciclo de Vida, a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) especifica que se trata de avaliar todo o estudo realizado, analisando-se os resultados obtidos, considerando-

os conjuntamente. É importante que o resultado atingido esteja dentro das fronteiras estabelecidas pelos objetivos estipulados e pelo escopo definido, delineando-se assim as conclusões, apontando as limitações encontradas no decorrer do estudo e sugerindo propostas de melhoria.

Esta etapa, assim como as demais, pode servir de retroalimentação para as etapas já realizadas, de modo que o objetivo seja alcançado ou que a qualidade dos resultados obtidos se adeque à qualidade esperada.

Essas interpretações realizadas podem ser utilizadas por exemplo, como auxílio na tomada de decisão, tanto por empresas quanto por órgãos governamentais.

2.1.3. Aplicações, vantagens e limitações da ACV

A Análise de Ciclo de Vida, por seu processo flexível, iterativo e adaptável pode ser aplicável a quase qualquer produto ou serviço executado. Além disso, pode ainda ser utilizada para diferentes propósitos, de acordo com o objetivo estabelecido, como em áreas de gestão ambiental, produção de novos materiais e produtos, assim como a reformulação dos já existentes. Pode ainda contribuir com o surgimento de novas técnicas, à medida que se tem o interesse em mitigar impactos ambientais, buscando então outras alternativas para que se formule um produto ou se execute um serviço, o que estimula também o interesse de pesquisadores na área.

Conforme indicado pela NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) e por Tavares (2006) outras aplicações podem ser consideradas:

- Avaliação de desempenho ambiental e de sistemas de gestão ambiental, identificando aspectos ambientais relevantes em produtos e serviços de uma organização privada ou não;
- Rotulações e declarações ambientais;
- Incorporação de aspectos ambientais, antes não considerados em projetos e desenvolvimento de produtos;
- Contribuição para a comunicação ambiental;
- Quantificação, monitoramento, planejamento e inventariar dados de emissões e impactos promovidos por organizações e empreendimentos;
- Avaliação de impacto ambiental;

- Contabilidade da gestão ambiental;
- Avaliação de políticas públicas;
- Gestão de produtos e da cadeia de fornecimento de matérias-primas e insumos;
- A inserção de aspectos ambientais em normas de produtos e materiais, bem como de serviços;
- Levantamento do custo de ciclo de vida, bem como sua gestão e a execução de sumários de projetos;
- Análise de fluxo de materiais e substâncias;
- Avaliação de risco de produtos químicos;
- Verificação de pontos com impactos ambientais existentes nos processos produtivos ou serviços que possam ser mitigados;
- Levantamento das fronteiras dos processos de produção, considerando os insumos, o transporte e a sua disposição final;
- A determinação da energia embutida em produtos e serviços;
- Identificação de pontos de melhorias nos processos produtivos considerando os aspectos ambientais;
- Realização de estudos comparativos entre materiais e processos.

No entanto, esta flexibilidade inerente à Análise de Ciclo de Vida, que lhe confere tantas vantagens, é o que pode acarretar sua subjetividade. Como apresentado por Tavares (2006) em um estudo comparativo de um mesmo produto, produzido por duas instituições diferentes, apresentaram resultados consideravelmente distintos. Isto porque trata-se de uma metodologia que exige um nível de detalhamento alto e é constituída de processos exigentes. Em muitos casos, não se é possível ter acesso aos dados mais realistas para cada circunstância. Nestas condições, alguns destes dados podem ser omitidos, tanto de maneira não proposital, quanto com intenção estratégica como um instrumento de *marketing*.

Nesse contexto, algumas instituições como a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry – SETAC*, existente tanto nos Estados Unidos quanto na Europa e a *United Nations Environmental Programme – UNEP*, promovem iniciativas de modo a contribuir com a padronização das avaliações realizadas. (MARINOSKI, 2010). Elas estimulam que as avaliações de ciclo de vida em andamento sejam realizadas a partir dos mesmos parâmetros. Isto implica que as possíveis comparações de ACV entre produtos seja mais condizente com a realidade.

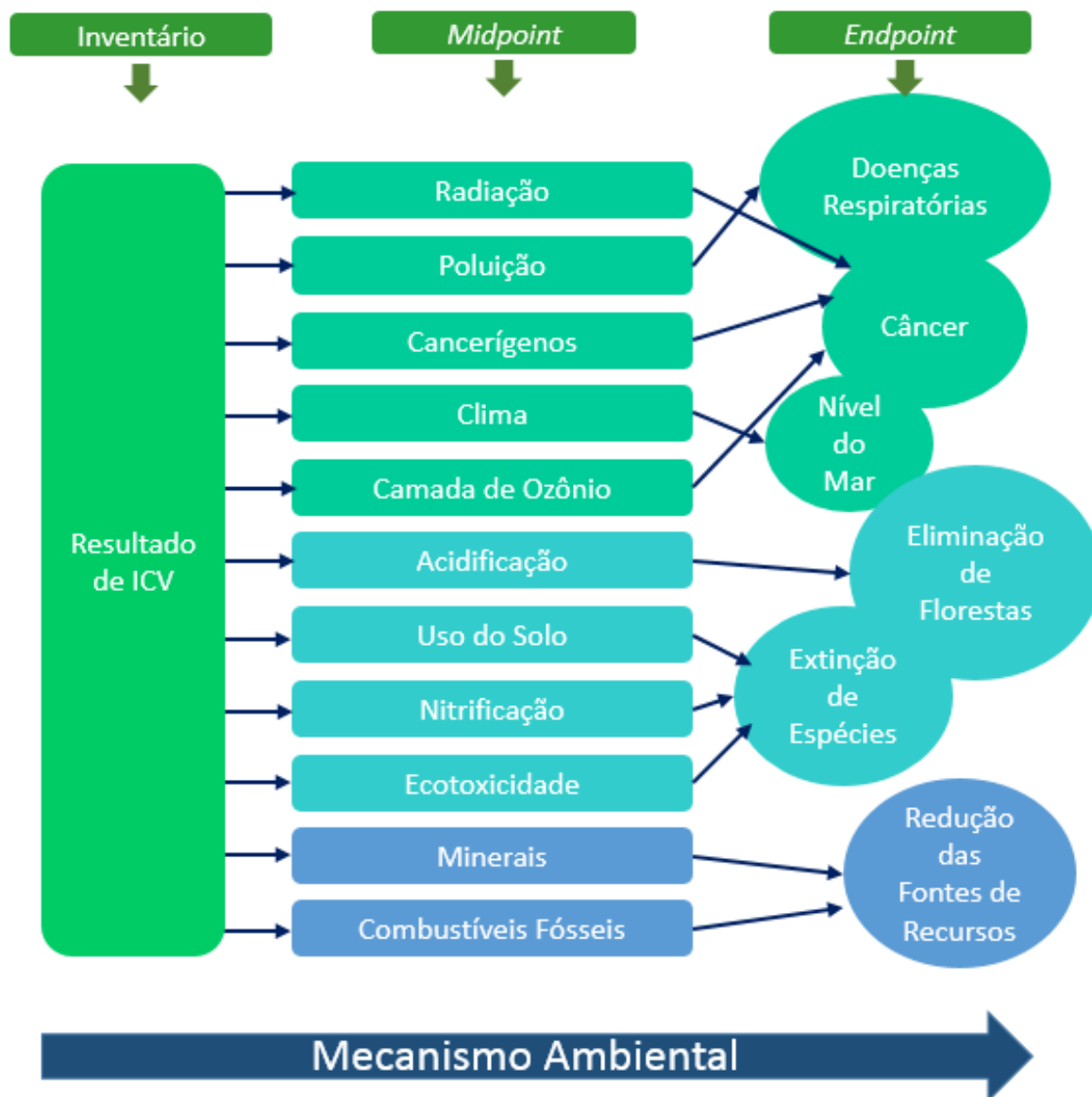
2.1.4. Modelos de análise de impacto de ciclo de vida

Vários métodos de ACV têm sido apresentados pela comunidade científica recentemente. No entanto, conforme apresentado por Carvalho *et al.* (2014), esses métodos consideram diferentes categorias de impacto, fatores de emissão, métodos de normalização e pesos, o que dificulta muito a comparação entre as metodologias disponíveis.

Para a avaliação de impacto de ciclo de vida por exemplo, conforme apresentado por Ferreira (2004), os impactos são definidos como as consequências causadas pelos fluxos de entrada e saída de um sistema. E irão avaliar de que forma isso irá impactar a saúde humana, a fauna, a flora, a disponibilidade futura de recursos e o ecossistema como um todo.

Dessa forma, existem diferenças metodológicas para realizar a AICV, no que se diz quanto a forma de apresentar as consequências dos impactos gerados. Essas avaliações podem ser agrupadas em duas categorias, conforme apresentado pela Figura 2.4 (FERREIRA, 2004; CAMPOS Marcel, 2012):

Figura 2.4 - Diferenças entre métodos de AICV



Fonte: Adaptado de Campos, Marcel (2012).

a) Modelos Clássicos de AICV ou *Midpoint*

Os modelos clássicos de AICV apresentam seus resultados sob a forma de categorias de impacto intermediárias. Isso equivale a apresentar o quanto os impactos gerados pelo sistema afetam aspectos tais como (GOEDKOOOP; SPRIENSMA, 2001; CAMPOS Marcel, 2012):

- Uso do solo;
- Acidificação;
- Eutrofização;

- Eco-toxicidade;
- Uso de combustíveis fósseis;
- Mudanças climáticas;
- Radiação.

Para os modelos clássicos pode-se exemplificar os seguintes métodos: EDIP 2003, LCA *Handbook* (com normalização), IMPACT 2002 (+) (com avaliação de danos e normalização), LIME (com avaliação de danos e ponderação), TRACI (com normalização) e CML 2 *baseline* 2000 (com normalização) (CAMPOS Marcel, 2012).

b) Modelos de Danos de AICV ou *Endpoint*

Os modelos de danos estimam as causas e efeitos dos impactos gerados, para avaliar os danos promovidos além dos aspectos intermediários. Decorrendo, portanto, de como esses danos irão afetar diretamente o homem e o ambiente em que ele se encontra, tais como (CAMPOS Marcel, 2012):

- Doenças respiratórias;
- Extinção de espécies;
- Redução de matérias primas;
- Câncer;
- Redução das florestas.

Para os modelos de danos, pode-se citar o método *Eco-indicator* 99, que é realizado com normalização e opção de ponderação (CAMPOS Marcel, 2012).

As metodologias que apresentam seus resultados segundo aspectos diretos (*midpoint*) possuem maior confiabilidade nos resultados. Isto porque seus dados obtidos são mais objetivos e próximos dos dados de inventário. No entanto o autor afirma que os resultados apresentados nas categorias de *endpoint*, apesar de conterem um número maior de hipóteses assumidas, são mais fáceis de serem interpretadas (PRE CONSULTANTS, 2016).

Para realizar uma descrição geral de como é realizada a metodologia de Análise de Inventário de Ciclo de Vida, serão abordadas quatro das principais metodologias utilizadas, com a intenção de incluir ao menos uma de cada grupo exemplificado.

Segundo Ferreira (2004) o Método CML 2 (2000) é uma reformulação de sua versão anterior de 1992. Este foi um dos primeiros métodos a serem desenvolvidos no mundo e é amplamente utilizado.

Segundo o mesmo autor, trata-se de um método clássico e "multi-fase", com sua orientação voltada para as categorias de impacto ambiental intermediárias, e foi criado no Centro de Gestão Ambiental da Universidade de Leiden, na Holanda.

Para o cálculo das pontuações dos impactos potenciais, fatores de caracterização quantificados são estabelecidos para cada impacto. Ao final, as emissões identificadas no ICV são convertidas em valores de contribuição para cada efeito potencial ambiental identificado, através de sua multiplicação por um fator equivalente (FERREIRA, 2004).

Os indicadores de categoria utilizados na maioria dos estudos de ACV, para essa metodologia são (FERREIRA, 2004):

- Depleção de recursos abióticos: se relaciona com os dados de entrada no sistema de extração de minerais e de combustíveis fósseis;
- Aquecimento global;
- Depleção da camada de ozônio;
- Toxicidade humana;
- Eco-toxicidade de água doce;
- Eco-toxicidade de água salgada;
- Eco-toxicidade terrestre;
- Formação de ozônio fotoquímico;
- Eutrofização.

Por fim, para cada um desses indicadores estabelecidos, são calculados valores de normalização. As etapas de agregação e ponderação são consideradas opcionais neste método (FERREIRA, 2004).

O método de AICV *Eco-Indicator 99*, foi criado sob a coordenação do *Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment* com a participação de especialistas em ACV holandeses e suíços, juntamente com o instituto holandês *National Institute of Public Health and the Environment* – RIVM (GOEDKOOPT; SPRIENSMA, 2001).

Esta metodologia objetiva transformar os valores de entradas nos sistemas encontrados na fase de ICV, em pontuações de danos ambientais. São consideradas onze categorias de impactos ambientais, subdivididas em três categorias de danos (CAMPOS Marcel, 2012):

- Saúde Humana:
 - Carcinogênicos;
 - Efeitos respiratórios inorgânicos;
 - Efeitos respiratórios orgânicos;
 - Mudança climática;
 - Radiação;
 - Depleção da camada de ozônio.
- Qualidade do Ecossistema:
 - Eco-toxicidade;
 - Acidificação/eutrofização;
 - Uso do solo.
- Recursos:
 - Uso de recursos minerais;
 - Uso de recursos fósseis.

A categoria de danos à saúde humana é valorada por uma escala de pesos referentes às diferentes incapacidades geradas por doenças. A pontuação correspondente é escalonada variando de 0 a 1. Para a qual 0 corresponde à um estado de saúde perfeita e 1 significa o pior estado de saúde ou morte (CAMPOS Marcel, 2012).

Para os danos de qualidade do ecossistema são consideradas a toxicidade em organismos terrestres e aquáticos, incluindo micro-organismos e plantas, valorando em um percentual de espécies afetadas. É considerado ainda, o impacto gerado sobre o ecossistema (CAMPOS Marcel, 2012).

Por fim, o modelo de dano de recursos leva em consideração a energia a ser gasta no futuro como meio de compensação pela disponibilidade e menor oferta de recursos minerais e fósseis que foram utilizados (CAMPOS Marcel, 2012).

O terceiro método apresentado é o Método Ecopontos 97 Suíço, que é de ponderação, quantitativo e realizado em uma única fase. Apresenta seus resultados baseados em ecopontos,

que são estimados numa relação entre o fluxo encontrado para cada emissão e seu fluxo crítico (AHBE; BRAUNSCHWEIG; MÜLLER-WENK, 1991³ *apud* FERREIRA, 2004).

Para o cálculo dos ecopontos, Ferreira (2004) explicita a Equação 2.1:

$$\text{Ecopontos} = \sum_i \text{Ecofator}_i \times \text{quantidade poluente}_i \quad (2.1)$$

Para realizar essas avaliações deve-se obter os seguintes dados (FERREIRA, 2004):

- Quantidade de emissões específicas;
- Emissões totais;
- Emissão ou consumo máximo admissível.

A obtenção do ecofator (ou indicador de saturação ecológica) é dada pela Equação 2.2 (FERREIRA, 2004):

$$\text{Ecofator} = \frac{1}{F_k} \cdot \frac{F}{F_k} \cdot c \quad (2.2)$$

Onde: c:

- Coeficiente adimensional, equivalente a 10^{12} , apenas como forma de evitar potências negativas de 10;
- F: fluxo encontrado de carga ambiental (m^3/ano);
- F_k : carga ambiental máxima admissível ou fluxo crítico (m^3/ano);
- (F/F_k) : fator linear que corresponde à ponderação de uma carga ambiental sobre um determinado setor ecológico;
- $(1/F_k)$: fator de normalização para normalizar as cargas ambientais em função da carga total crítica.

³ Ahbe, S., Braunschweig, A., Müller-Wenk, R., (1991). Methodologie des Ecobilans sur la base de l'optimisation écologique. Em l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) (Eds.). Cahier de l'environnement, 133. Berne.

A equação x1 é utilizada quando a normalização se baseia no fator crítico. Para normalizações realizadas em função da “emissão atual” ou emissão encontrada, utiliza-se a Equação 2.3 conforme apresentada por Ferreira (2004):

$$Ecofator = \frac{1}{F_k} \cdot \frac{F}{F_k} \cdot \frac{F}{F_k} \cdot c \quad (2.3)$$

Onde:

- $(1/F_k)$: fator de normalização;
- $\frac{F}{F_k} \cdot \frac{F}{F_k}$: fator de avaliação.

2.1.5. Pesquisas em análise de ciclo de vida no Brasil e indicadores ambientais

A ACV, como já apontada por Tavares (2006), é uma ferramenta que pode ser generalizada para quase qualquer área e para quase qualquer situação. Sendo assim, pesquisas com o uso da ACV como ferramenta, têm sido realizados em diversas regiões no mundo.

Segundo Lima (2007), a ACV é uma ferramenta de avaliação ambiental que já está sendo bastante empregada em países desenvolvidos. Um exemplo disso, é o avanço da União Europeia quanto à abordagem desta ferramenta, fazendo-se o uso de banco de dados consolidados, *softwares* já estabelecidos, incluindo ainda a ACV em políticas públicas.

No entanto, quanto mais próximos do estudo avaliado forem os dados, mais qualidade se obtém nos resultados. Seguindo esse preceito buscou-se, portanto, entender como estão sendo desenvolvidas as pesquisas no Brasil sobre o tema.

O trabalho realizado por Lima (2007) por exemplo, objetivou identificar ações para a inserção da ACV como uma ferramenta de sustentabilidade ambiental no país. Para isto, é explicitado em sua pesquisa um panorama de como a ACV tem se desenvolvido no mundo e no Brasil. Esta abordagem é realizada segundo as categorias de países desenvolvidos e em desenvolvimento. Além disso, a autora averiguou o estágio atual de conhecimento e de utilização dessa ferramenta no Brasil em três setores distintos: no meio acadêmico, no meio corporativo e em instituições governamentais.

A pesquisa conclui a necessidade da criação de bancos de dados brasileiros que possam ser utilizados para a realização de ACVs. Lima (2007) afirma ainda a importância de realização de parcerias entre os diversos setores, bem como em ações conjuntas e investimentos para o crescimento da área.

Por fim, a pesquisa mostra que no Brasil a ACV é uma ferramenta pouco aplicada no mercado. Se destacando, portanto, no contexto acadêmico, citando pesquisas realizadas na Universidade de São Paulo, Universidade de Brasília, Universidade Estadual de Campinas, Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Universidade Federal da Bahia.

Um outro trabalho relevante, é o estudo realizado por Tavares (2006). O autor identificou uma lacuna em pesquisas no Brasil que abordassem a ACV, especialmente quanto ao consumo de energia, para a produção de materiais de construção. O objetivo da pesquisa foi identificar e quantificar os principais fatores que influenciam consumo de energia, ao longo do ciclo de vida das edificações residenciais brasileiras.

Dessa forma, foi desenvolvida uma metodologia para o cálculo da energia embutida em edificações. A metodologia foi aplicada em cinco modelos que simulam as principais características físicas e ocupacionais em edifícios residenciais no Brasil, incluindo edificações uni e multifamiliares, abrangendo três categorias sociais. Também, como um aspecto de sustentabilidade, foi calculada a geração de gás carbônico por fases do ciclo de vida do estudo de caso e dos materiais utilizados.

O estudo apresenta a relevância da energia embutida nos materiais de construção, através de seus processos de fabricação, chegando em média, de 29% a 49% do ciclo de vida.

Um outro estudo que utilizou a ACV, foi realizado por Silva (2012). O foco do trabalho foi direcionado para análise de ciclo de vida energético em HIS. Foram selecionadas sete tipologias de edificações usualmente empregadas em programas de assistência habitacional no Brasil, incluindo também moradias unifamiliares e multifamiliares.

A pesquisa analisou o consumo energético embutido em três fases existentes nas edificações. A primeira fase considerada é aquela proveniente da fabricação dos insumos e da execução dos projetos dos empreendimentos. A etapa seguinte aborda o consumo energético despendido durante a utilização da unidade habitacional em todos seus aspectos, bem como nas manutenções necessárias ao longo do ciclo de vida da construção em foco. A última etapa

abordada foi a pós-operacional, considerando o final da vida útil do sistema, sua demolição e o transporte dos resíduos gerados.

Por fim o estudo aponta que cerca de 70% da energia consumida durante todo o ciclo de vida analisado, é proveniente de fontes não renováveis.

Por fim, o estudo que mais se aproxima com esta pesquisa em questão, foi realizado por Marinoski (2010). A pesquisa avaliou ambiental e economicamente o emprego de SPAAP em edificações residenciais de baixo, médio e alto padrão. Foram considerados para cada caso sistemas tradicionais de abastecimento de água e sistemas com a inclusão do aproveitamento de água pluvial. Além disso, o estudo abordou três materiais de composição dos reservatórios inferiores: plástico reforçado com fibra de vidro, polietileno de alta densidade e concreto armado.

Os resultados foram obtidos através de indicadores de viabilidade e a comparação entre os sistemas foi realizada dentro do escopo definido inicialmente para o estudo considerado. Na fase de avaliação ambiental foram analisadas as matérias primas, a energia embutida, as emissões e os resíduos gerados pelos principais equipamentos e componentes dos sistemas. Na fase de avaliação econômica, foram avaliados os custos de materiais, equipamentos, mão-de-obra, custos operacionais, custos de utilização da água potável, benefício monetário e período de retorno do investimento.

O trabalho de Marinoski (2010) conclui que na abordagem ambiental, os SPAAPs que possuem reservatório inferior de armazenamento de água pluvial em plástico reforçado com fibra de vidro são os mais adequados. Já conforme a avaliação econômica, os que empregam reservatórios em concreto armado, são os mais indicados.

Para além de verificar como estão sendo desenvolvidas as pesquisas no Brasil, também buscou-se saber sobre como se eram estabelecidos os critérios de seleção de viabilidade ambiental entre cenários de um mesmo trabalho, avaliando-se assim alguns estudos de ACV.

Nestas pesquisas verificou-se os parâmetros adotados para a classificação de seus respectivos cenários analisados. No estudo realizado por Marinoski (2010) e Marinoski e Ghisi (2011) foram apresentados índices de manutenção, custos, energia embutida e emissões em uma ACV em diferentes configurações de SPAAPs. As análises apresentadas pelos autores foram somente dentre cada categoria estabelecida, ou seja, para cada uma destas esferas avaliadas, apresentou-

se individualmente qual o cenário mais favorável. Porém, não foi proposto dentre todas as situações e índices considerados, qual seria a melhor das opções num contexto geral.

O mesmo ocorre no trabalho apresentado por Ward, Butler e Memom (2011), em que verificou-se a comparação simples entre os indicadores sugeridos: Eop/m³, ECop/m³, (que também foram considerados na metodologia deste trabalho) e custos de operação por m³ de água pluvial utilizada. Observou-se ainda o uso de indicadores de energia de operação por volume de água pluvial utilizada nos trabalhos de Gardner *et al.* (2008) e Brewer, Brown e Stanfield (2001).

No trabalho elaborado por Devkota, Schlachter e Apul (2015) são também apresentados os dados base de EE e EC dos cenários que incluem ou não SPAAP. A ACV verificada nesse estudo sugere os índices por usuário do sistema. Dessa forma, são avaliados os impactos ambientais considerando a EE e o EC por usuário.ano e a área de captação disponível por usuário. O fator de escolha entre os cenários propostos perpassa pela comparação entre os sistemas.

Na pesquisa realizada por Miranda e Yuba (2016) é realizada a ACV de 4 processos construtivos de parede. Foram sugeridos como índices para avaliação a EE, o EC, a quantidade de água e cimento, todos por metro quadrado de parede. Ao final, para determinar qual dos cenários propostos seria o mais viável ambientalmente, foi realizado uma classificação dos cenários para cada índice. No entanto, como foram apresentados apenas 4 índices, não foi possível eleger o processo construtivo de parede que obteve a melhor classificação.

Buscando uma estratégia que pudesse contribuir com essa seleção do melhor cenário, verificou-se que Rodrigues (2017) apresentou um modelo de Análise de Decisão Multicriterial para a ACV na disposição de resíduos sólidos de restaurantes universitários. No estudo, a autora explica a análise multicriterial é um processo utilizado no apoio à decisão de maneira metodológica. Expõe os atores, as alternativas e critérios adotados, bem como diferentes possibilidades de análises.

2.2. MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DE LITERATURA

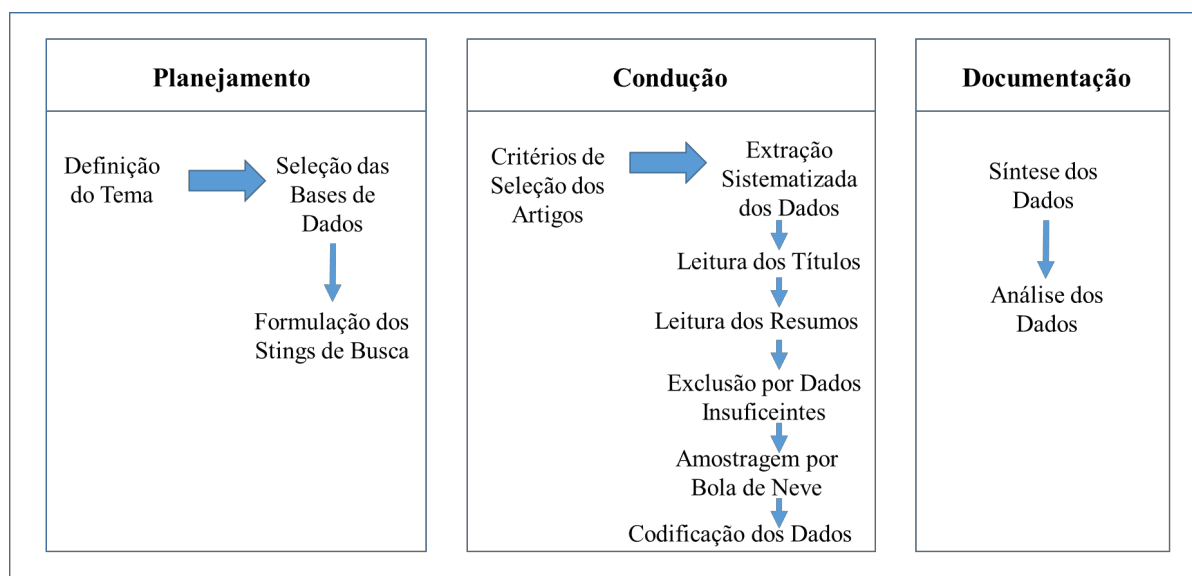
O Mapeamento Sistemático de Literatura – MSL consiste em uma metodologia que padroniza a busca por literatura, independentemente da área. Ela permite dessa forma, realizar uma pesquisa de bibliografia que proporciona uma visão global do tema abordado. Isto permite

aperfeiçoar qualitativamente a revisão bibliográfica, já que aprimora o processo de busca por literatura. Ela permite identificar os temas já abordados em uma determinada área de interesse, assim como as lacunas de pesquisa no contexto internacional, proporcionando situar o trabalho nesta conjuntura. Isto pode contribuir consideravelmente para comunidade científica (BAILEY et al., 2007; ENGSTRÖM; RUNESON, 2011) já que a partir dessa metodologia, pesquisas podem ser continuadas ou soluções inéditas podem ser propostas (RUIZ; GRANJA, 2013).

A partir desse mapeamento, resultados como a quantidade de artigos encontrados, os países em que as pesquisas se desenvolveram e as metodologias utilizadas em cada uma destas, foram obtidos.

Neste trabalho a metodologia de Mapeamento Sistemático de Literatura utilizada, segue o padrão aplicado por Ruiz e Granja (2013) e Costa, Staut e Ilha (2014), conforme o método empregado por Kitckenham et al. (2010), que pode ser visualizado na Figura 2.5.

Figura 2.5- Delineamento do Mapeamento Sistemático de Literatura



Fonte: Adaptado de Costa, Staut e Ilha (2014).

Nos itens que seguem serão explicitados o processo de realização do MSL, bem como seus resultados e conclusões.

2.2.1. Definição do tema

Para que se pudesse dar início ao mapeamento sistemático de literatura, definiu-se previamente o tema abordado nesta pesquisa, para que se tivesse um norteamento quanto aos assuntos a serem levantados no mapeamento. Para tanto, foram realizadas leituras de bibliografia científica que abrangessem diferentes propostas. O tema inicialmente amplo, tocou em diversos assuntos de revisão bibliográfica, de metodologias propostas e análises realizadas. Para essa pesquisa em questão, a literatura envolveu temas como Gestão de Água, Aproveitamento de Água Pluvial em seus diferentes contextos, Conforto Térmico, Cobertura Verde e Análise de Ciclo de Vida de Sistemas Prediais de Aproveitamento de Água Pluvial. Para realizar a escolha de um dentre os conteúdos avaliados, observou-se dentre as leituras feitas, o potencial de realização da pesquisa, juntamente com a área de interesse do pesquisador. Para este trabalho, o tema abordado é a Análise do Ciclo de Vida de Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial.

2.2.2. Definição das bases de dados

As bases de dados são, para o pesquisador, uma das fontes de dados bibliográficos de considerável relevância, pois disponibilizam um grande volume de conteúdo científico em um único local. Portanto, deve-se levar em consideração a confiabilidade das bases adotadas, de forma a priorizar a pré-seleção qualitativa dos artigos buscados. A escolha das bases de dados aqui utilizadas, acordou-se com a área em que a pesquisa se contextualiza: Engenharias, bem como com a disponibilidade de acesso às mesmas. Para este trabalho utilizou-se o *Scopus*, o *Science Direct*, o *Web of Science* e o *Engineering Village* como plataformas para a obtenção de literatura científica.

2.2.3. Definição das palavras-chave

A definição das palavras-chave é prévia à formulação dos *strings* de busca e sugere porém, um patamar mais amplo do que será abordado na pesquisa. Neste trabalho, este parâmetro foi realizado a partir da escolha do tema, resultando-se no seguinte conjunto: *Rainwater*, *RWH – Rainwater Harvesting*, *Life Cycle* e *LCA – Life Cycle Assessment*. Estas seriam as palavras mais importantes de serem identificadas, pois os artigos selecionados devem abordar a LCA em SPAAPs.

2.2.4. Formulação dos *strings*

A definição dos *strings* é uma das etapas mais minuciosas do processo de mapeamento sistematizado de literatura, pois é ela que determina o escopo de obtenção dos artigos, estabelecendo-se portanto a amplitude da bibliografia a ser obtida, assim como a correspondência com os interesses do pesquisador. Para esta pesquisa foram realizadas algumas tentativas de *strings* antes de se encontrar um satisfatório para esta revisão:

- *rainwater AND life cycle*
- *rainwater harvesting AND social houses*
- *rainwater harvesting AND life cycle assessment*
- *rwh AND lca*
- *rainwater harvest* AND life cycle*
- *rainwater harvest* AND lca*

Ao final das tentativas, o *string* estabelecido foi: *(rainwater OR rwh) AND (life cycle OR lca)*, o qual foi utilizado na mesma configuração para todas as bases de dados acessadas.

2.2.5. Definição dos parâmetros adotados

Para este trabalho apenas um parâmetro foi adotado: adotou-se apenas os artigos publicados a partir de 1997, excluindo-se todos os anteriores devido às incompatibilidades de obtenção dos mesmos.

2.2.6. Extração sistematizada dos dados

A extração sistematizada é feita para que sejam comparados entre si todos os dados dos artigos obtidos através das buscas nas bases de dados. Para cada base de dados há uma especificidade na forma de extração dessas informações. Nesta etapa, visou-se obter esses documentos nos formatos mais simplificados possível, de maneira a facilitar a etapa de codificação dos dados extraídos. Neste trabalho, os dados obtidos foram em formato de .txt (bloco de notas), .ris ou .csv.

2.2.7. Codificação dos dados

Para que se possa realizar a seleção e posterior análise dos artigos identificados de modo mais eficiente, é importante que os dados dos artigos obtidos sistematicamente sejam padronizados em um único formato e forma. Este processo é feito através de programas computacionais que permitem a organização dos dados adquiridos nas diferentes bases de dados. Neste trabalho foram utilizados para padronização dos elementos analisados (título, autor, ano, resumo...) dos artigos, o Excel[®] como ferramenta de organização dos dados, o *Sublime*[®] e um link de envio e padronização dos dados.

2.2.8. Processamento e contabilização dos dados obtidos

Após a extração e padronização de todos os dados, realizou-se a contagem de todos artigos obtidos, bem como foram selecionadas as publicações de interesse tanto para a pesquisa em geral, quanto para o mapeamento realizado: análise de ciclo de vida de sistemas prediais de aproveitamento de água pluvial. A Figura 2.2 apresenta o quantitativo de artigos iniciais, delineando por cada etapa realizada para a exclusão e/ou adesão de novos artigos, conforme a metodologia utilizada.

Inicialmente ocorreu a exclusão de artigos baseados em critérios pré-estabelecidos, são estes:

- Artigos de 1997 e anteriores;
- Artigos com duplicidade;
- Leitura dos Títulos;
- Leitura de Resumos;
- Artigos sem dados suficientes;
- Leitura completa dos artigos;

Após todas as exclusões indicadas, realizou-se a adição de mais alguns artigos conforme:

- Amostragem por bola de neve.

Dado isto, a primeira etapa consistiu no levantamento dos artigos aderentes. Conforme os critérios de inclusão e exclusão citados no item de metodologia, obteve-se 25 artigos, conforme descritos na Tabela 3.1, finalizando-se este processo.

Tabela 2.1 - Quantitativo de artigos nas etapas do Mapeamento Sistemático de Literatura

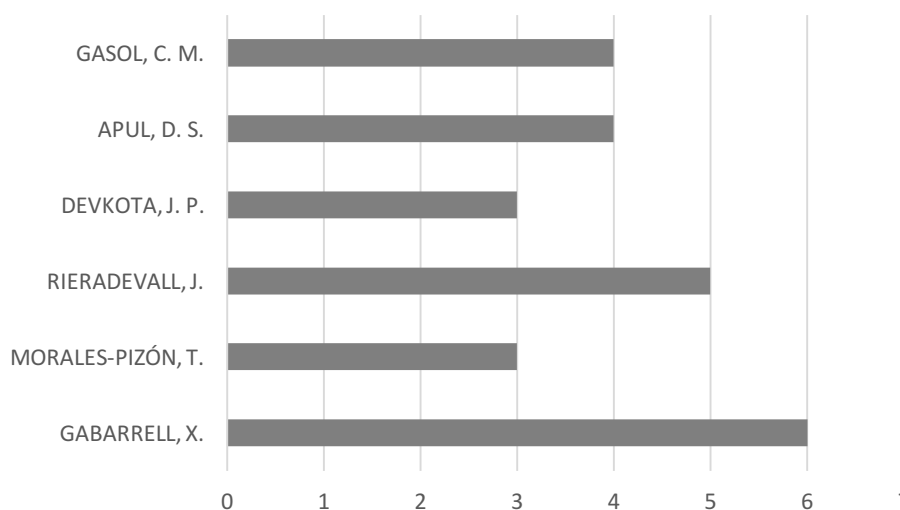
Etapa	Nº de Artigos
Artigos previamente selecionados	6607
Artigos de 1997 e anos anteriores	-1605
Artigos com duplicidade	-238
Leitura de títulos	-4124
Leitura de resumos	-584
Artigos sem dados suficientes	-9
Leitura dos artigos completos	-23
Amostragem por bola de neve	+1
TOTAL	25

2.2.9. Síntese e análise dos dados

Para finalizar o mapeamento sistematizado de literatura, realizou-se a síntese e a análise dos dados. Essa etapa permitiu identificar dentre os artigos selecionados, informações como por exemplo: principais temas abordados, anos com maior quantidade de publicações, tipos de publicação (congressos, periódicos, capítulos de livros...), números de publicações por ano, principais autores, dentre outros. Além disso, verificou-se também as lacunas de conhecimentos existentes, servindo assim para norte em futuras pesquisas.

A partir da obtenção dessas informações dos artigos aderentes, foram realizadas análises quantitativas e qualitativas. A primeira análise feita se refere ao número de publicações por autor, que é apresentada na Figura 2.6.

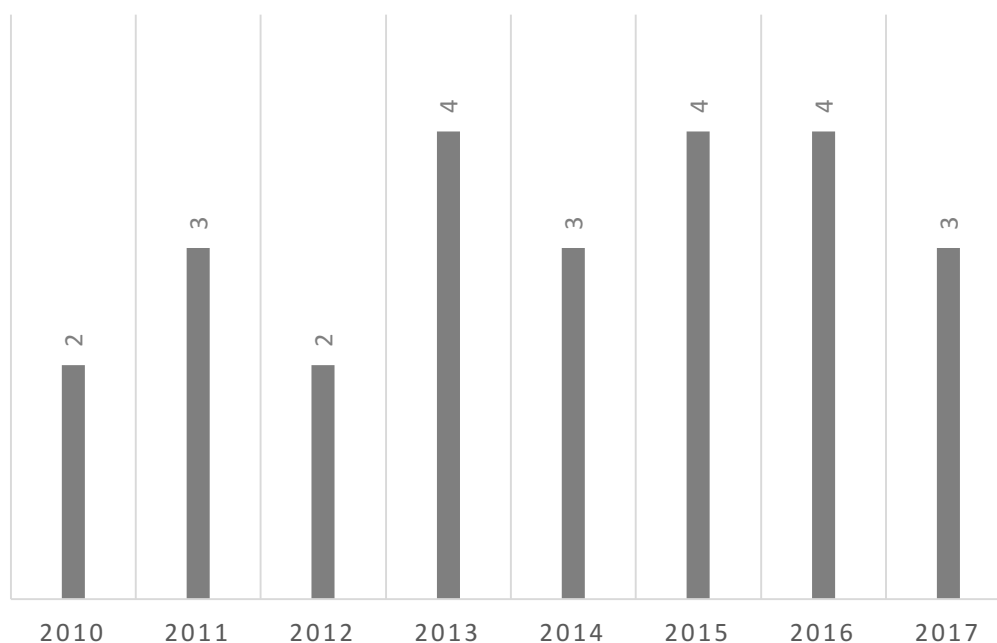
Figura 2.6 - Principais autores das publicações selecionadas pelo MSL



A Figura 2.6 apresenta os 6 autores, de um total de 78, com 3 ou mais publicações identificadas dentro do contexto do Mapeamento. Identificou-se que destes autores apresentados, existem dois maiores grupos de pesquisa que realizam suas publicações em conjunto. O autor com mais publicações Gabarrell, realizou todos os seus trabalhos com o perfil residencial, em estudos de caso na Espanha (VARGAS-PARRA; VILLALBA; GABARRELL, 2013; ANGRILL *et. al*, 2012; 2017; MORALES-PINZÓN *et. al*, 2012, 2014, 2015).

Seguido do levantamento dos autores, foram verificados os anos de publicação dos artigos aderentes e identificou-se que são pesquisas recentes, datando a partir do ano de 2010. Como os dados do mapeamento foram obtidos no início do ano de 2017, poucas publicações haviam sido realizadas neste ano em questão, portanto, este é um dos fatores que contribuiu para que o número de artigos publicados neste ano seja ainda pequeno. No entanto, observou-se o desenvolvimento crescente do tema ao longo dos anos analisados, com 32% dessas publicações ocorrendo no anos de 2015 e 2016 e 12% das publicações ocorrem até fevereiro de 2017, conforme apresentado pela Figura 2.7.

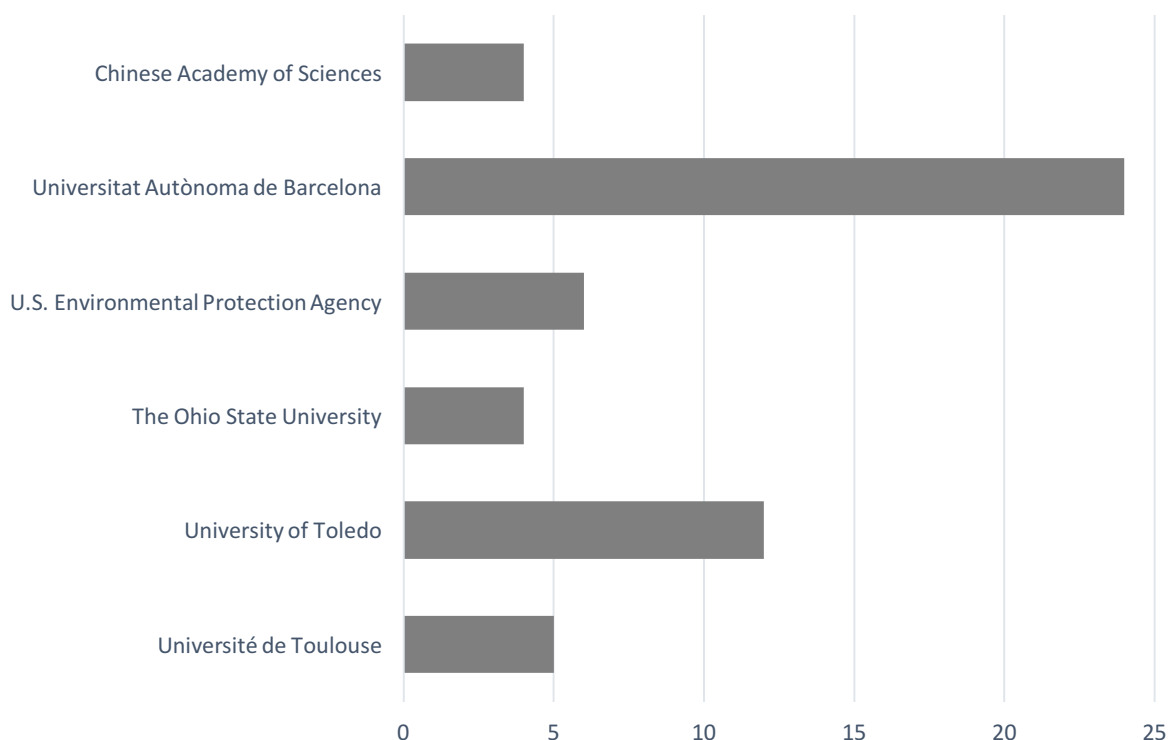
Figura 2.7 - Número de publicações por ano



Vale ressaltar que os dados apresentados no mapeamento nesta pesquisa, se referem a artigos publicados nos últimos 20 anos.

Dos 25 artigos selecionados pelo mapeamento sistematizado de literatura, foi possível identificar quarenta instituições de autores que participaram das pesquisas consideradas. Para realizar esta análise, contabilizou-se individualmente cada autor de cada publicação. A partir deste dado, pôde-se visualizar as instituições com os maiores grupos de pesquisas e publicação, bem como demonstrou ainda, os principais países que investiram em pesquisa na área considerada. A Figura 2.8 apresenta as 6 principais instituições dos autores participantes na produção dos artigos selecionados.

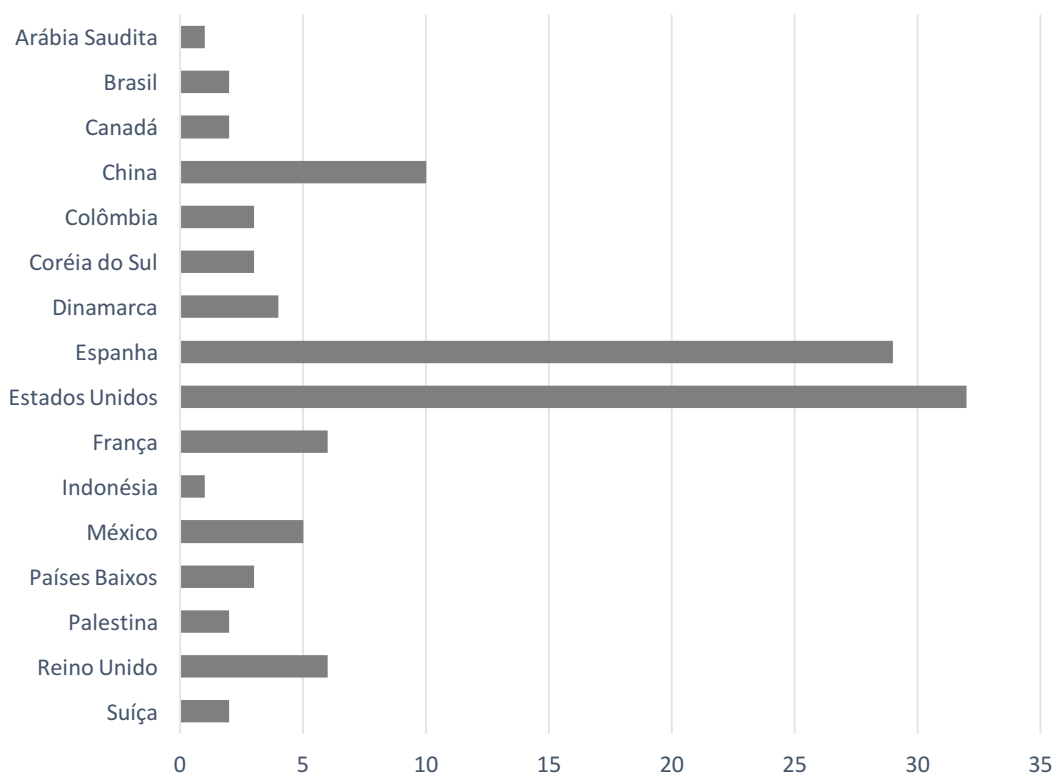
Figura 2.8 - Instituições dos autores



Para obter o valor de produção de cada instituição, atribuiu-se 1 ponto para cada autor de artigo publicado e aderido ao mapeamento. Dentre os grupos de pesquisas das universidades que se destacaram, pode-se citar a *University of Toledo* e a *Universitat Autònoma de Barcelona*. Os autores provenientes da *University of Toledo* foram participantes em 4 dos 25 artigos produzidos, enquanto que os autores da *Universitat Autònoma de Barcelona* participaram de produção de 6, dos artigos aderentes.

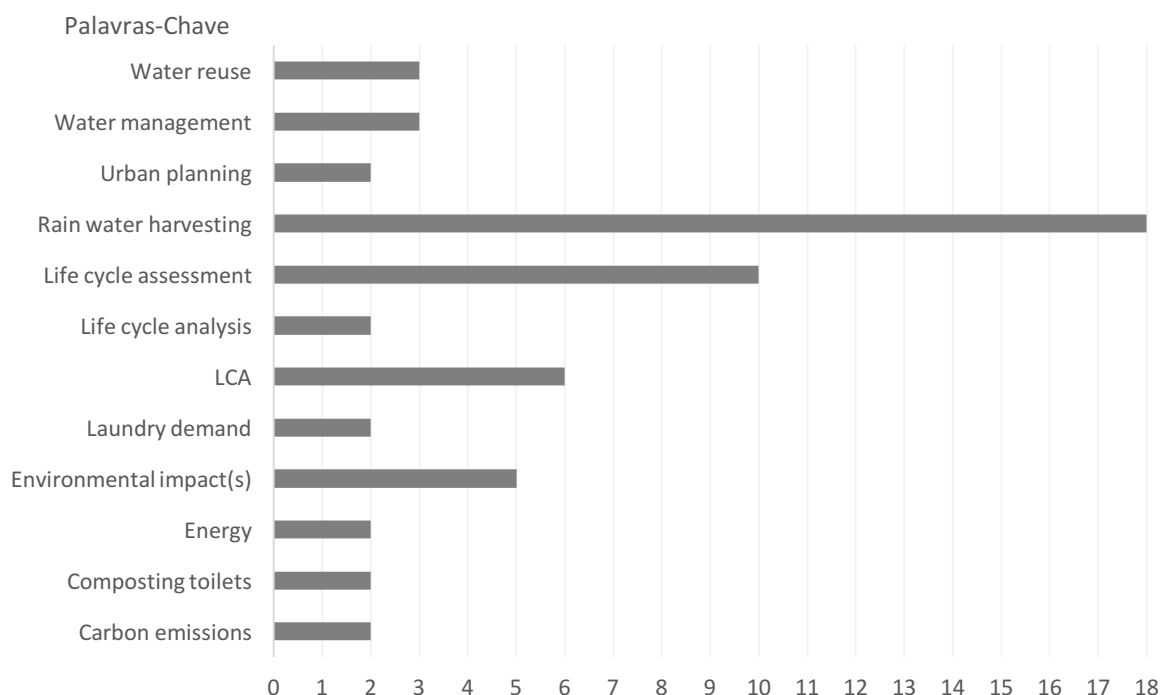
Para avaliar as instituições quanto aos países em que se localizam, foi atribuído novamente, um ponto para cada autor de cada artigo. Isso permitiu identificar que os Estados Unidos é o país que mesmo com um menor número de artigos publicados no tema, apresentou um maior número de autores pesquisando sobre o assunto, seguido da Espanha, conforme apresentado pela Figura 2.9.

Figura 2.9 - Nacionalidade das instituições



Para verificar as palavras-chave utilizadas nos artigos, foram contabilizados os números de aparições destas em todo o conjunto de artigos analisados. A palavra-chave com o maior número de ocorrências foi *Rainwater harvesting*, aparecendo em 72% dos artigos selecionados. As palavras-chave que seguem no ranking são *Life cycle assessment* e *LCA*, que apareceram em 40% e 24% dos artigos respectivamente. Apesar destes dois *strings* possuírem um mesmo significado literal, eles oferecem resultados distintos nas buscas nas bases de dados, dessa forma, considerou-os separadamente. No entanto, em relação ao contexto, ambos *strings*, juntamente com *Life cycle analysis*, apareceram também em 72% dos artigos adotados. A Figura 2.10 aponta as palavras-chave para o tema abordado no mapeamento que apareceram em pelo menos 2 artigos.

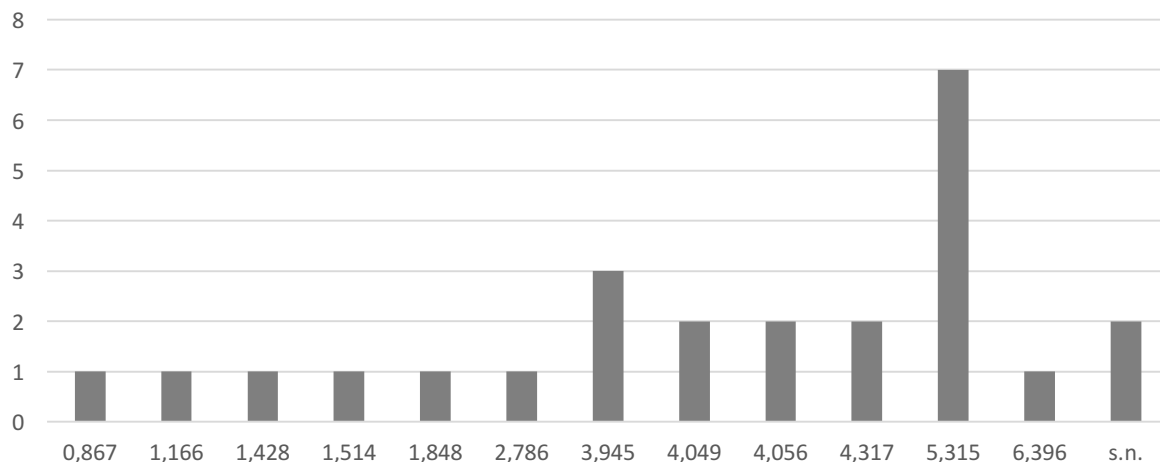
Figura 2.10 - Palavras-Chave



Verificou-se a aparição de 79 palavras chaves diferentes, porém apenas os termos apresentados na Figura 2.10 apareceram em mais de um artigo. As outras palavras são pontuais, referentes à cada análise apresentada nos artigos.

Em relação aos meios de publicação desses artigos, verificou-se que apenas 1 artigo foi publicado em congresso (SHAH *et al.*, 2013), sendo o restante em periódicos. No entanto, mais relevante que identificar os locais de publicação, é apresentar seus índices de *Journal Citation Reports* (JCR), uma vez que por atribuição de notas para cada periódico, ele permite avaliar qualitativamente o local de publicação desses artigos. No total, 13 periódicos foram identificados e seus respectivos fatores de impacto JCR são apresentados na Figura 2.11.

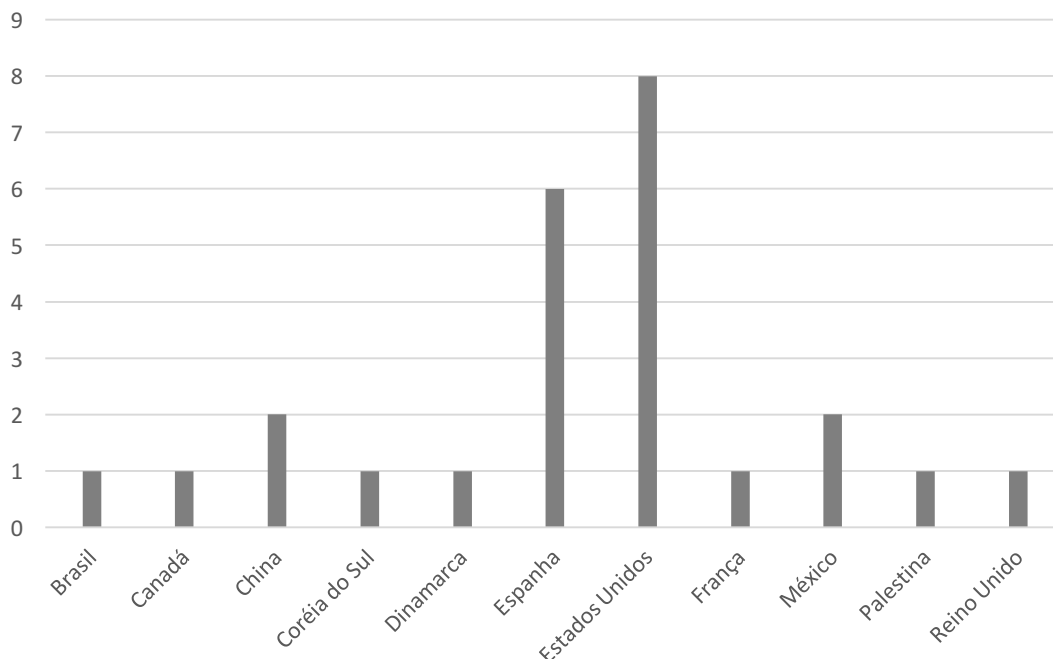
Figura 2.11 - Origem dos artigos selecionados pelo MSL



Dos artigos aderentes, dois não possuíam nota de JCR e foram indicados no gráfico com a sigla s.n., de sem nota (SHAH *et al.*, 2013; MARINOSKI; GHISI, 2011). A média dos índices de cada artigo aderente corresponde ao valor de 3,908 e menos de um quarto destes artigos ficaram abaixo deste valor. Além disso, neste caso a maioria dos trabalhos foram publicados conforme a segunda melhor nota dos índices observados. Verificou-se que o *Journal of Cleaner Production* foi o que veiculou o maior número de artigos, totalizando 7 publicações (DEVKOTA; SCHLACHTER; APUL, 2015; DEVKOTA *et al.*, 2015; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2015; GAO *et al.*, 2016; GARCÍA-MONTOYA *et al.*, 2016; GHIMIRE *et al.*, 2017; CHANG; LEE; YOON, 2017) e possui um JCR de 5,315.

Os artigos foram analisados ainda em relação à sua estratégia de pesquisa quanto ao procedimento, conforme proposto por Gerhardt e Silveira (2009). Identificou-se que todos os artigos avaliados tratam-se de estudo de caso. Em seguida, foi verificado ainda os países em que os estudos de caso foram realizados. Das 25 pesquisas abordadas, 8 foram estabelecidas nos Estados Unidos (ANAND; APUL, 2011; DEVKOTA *et al.*, 2013; SHAH *et al.*, 2013; GHIMIRE *et al.*, 2014; DEVKOTA; SCHLACHTER; APUL, 2015; DEVKOTA *et al.*, 2015; JEONG *et al.*, 2016; GHIMIRE *et al.*, 2017), seguidas da Espanha com 6 trabalhos (ANGRILL *et al.*, 2012; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2012; VARGAS-PARRA; VILLALBA; GABARRELL, 2013; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2014; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2015; ANGRILL *et al.*, 2017). A Figura 2.12 apresenta os 9 países restantes que foram verificados.

Figura 2.12 - Países em que as pesquisas foram realizadas

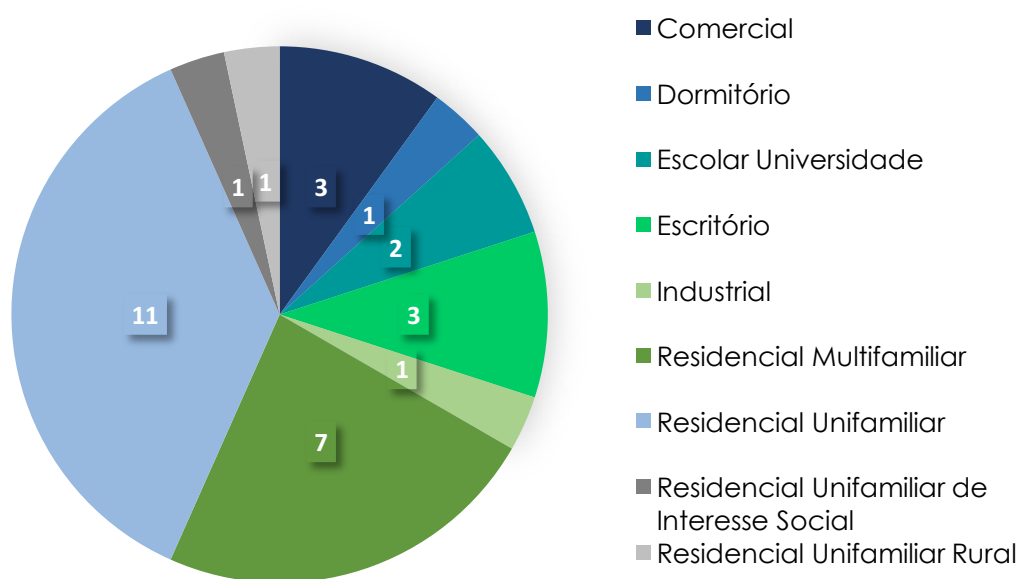


É importante ressaltar que metade dos artigos publicados nos Estados Unidos tem seus autores vinculados principalmente à *University of Toledo* (ANAND; APUL, 2011; DEVKOTA *et al.*, 2013; DEVKOTA; SCHLACHTER; APUL, 2015; DEVKOTA *et al.*, 2015).

Outro fator de relevante para esta análise é a tipologia das edificações que foram utilizadas como modelo para os estudos de casos das pesquisas apresentadas. Entre os artigos selecionados, diversas tipologias foram abordadas: escritórios (WARD; BUTLER; MEMON, 2011; DEVKOTA *et al.*, 2013; DEVKOTA *et al.*, 2015), edifícios escolares, universidades (ANAND; APUL, 2011; SHAH *et al.*, 2013), dormitórios (DEVKOTA; SCHLACHTER; APUL, 2015), residenciais (NAZER *et al.*, 2010; RACOVICIANU; KARNEY, 2010; MARINOSKI; GHISI, 2011; ANGRILL *et al.*, 2012; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2012; VARGAS-PARRA; VILLALBA; GABARRELL, 2013; ZHI-YUN; XIAO-YAN; YU-JUN, 2013; GHIMIRE *et al.*, 2014; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2014; RYGAARD *et al.*, 2014; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2015; VIALLE *et al.*, 2015; ANGRILL *et al.*, 2017; GAO *et al.*, 2016; JEONG *et al.*, 2016; VALDEZ *et al.*, 2016) e comerciais (CHANG; LEE; YOON, 2017; GHIMIRE *et al.*, 2017). No entanto, a tipologia residencial unifamiliar foi a que teve o maior número de casos analisados na amostra estudada. No total, 17 artigos (68%) se encaixaram nessa categoria. A Figura 2.13 apresenta os percentuais das tipologias das edificações utilizadas

nos estudos realizados. Vale ressaltar que há trabalhos que estudaram mais de uma tipologia de edificação (MORALES-PINZÓN *et al.*, 2012; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2014; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2015; JEONG *et al.*, 2016; CHANG; LEE; YOON, 2017).

Figura 2.13 - Tipologia das Edificações dos Estudos de Casos

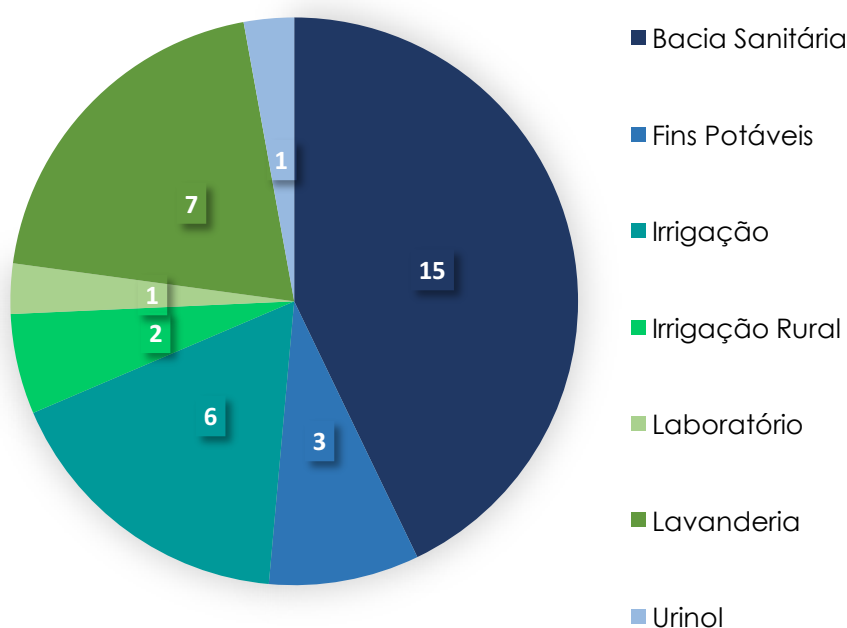


Destes 17 artigos que abordaram a tipologia residência, 14 realizaram estudo em habitações unifamiliares, sendo que deste universo, apenas uma desenvolveu o trabalho em habitações de interesse social. Nesta publicação, Marinoski e Ghisi (2011), empregaram a metodologia baseada nos conceitos da ACV, conforme aplicada por Tavares (2006). Para as avaliações ambientais 4 cenários foram avaliados e abordou-se ainda os resultados comparativos entre três reservatórios constituídos de diferentes materiais: plástico reforçado com fibra de vidro, concreto e PEAD. Os autores propuseram ainda, uma variação no percentual da demanda de água pluvial entre 30, 40 e 50%, de acordo com o dimensionamento do reservatório, que poderia variar de 4 à 11 m³. Isto interferiu no percentual do potencial de aproveitamento de água pluvial. O estudo apresentou como resultados a unidade funcional e os indicadores de avaliação. Para este trabalho a unidade funcional era o volume de água potável consumido pela residência em

um período de 20 anos, o que é equivalente à vida útil considerada para o sistema. Teve-se, portanto que, com o aumento do percentual de demanda de água pluvial, os indicadores ambientais utilizados apresentaram resultados cada vez melhores. Estes indicadores ambientais sugeridos associaram os dados de energia embutida (EE) por volume de água potável consumida (MJ/m^3). Como resultados teve-se que os melhores valores ambientais foram obtidos com o cenário em que se adotou reservatório de plástico reforçado com fibra de vidro.

Outro aspecto analisado foram os usos finais previstos para a água proveniente do sistema de aproveitamento de água pluvial. Identificou-se que, na maioria dos casos, os usos previstos são destinados às bacias sanitárias. A Figura 2.14 apresenta também os demais usos para os quais a água de chuva foi destinada.

Figura 2.14 - Usos finais da água proveniente do SPAAP

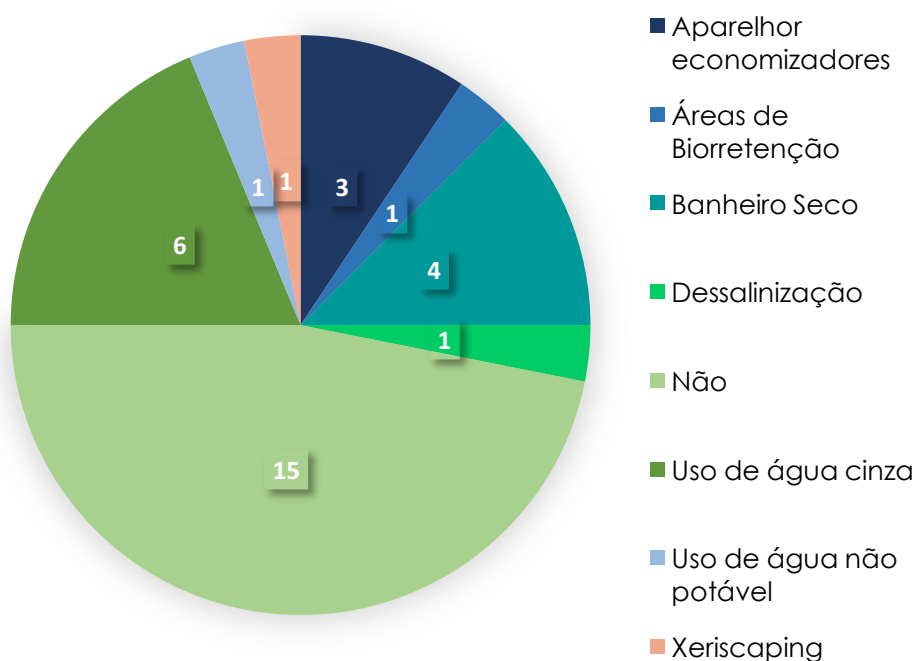


A bacia sanitária atinge 43% das ocorrências totais para os usos finais da água pluvial coletada. Vale ressaltar que dos 25 artigos, 15 realizaram uma abordagem com apenas um uso previsto para a água pluvial (NAZER *et al.*, 2010; RACOVICEANU; KARNEY, 2010; ANAND; APUL, 2011; MARINOSKI; GHISI, 2011; WARD; BUTLER; MEMON, 2011; ANGRILL *et*

al. 2012; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2012; SHAH *et al.*, 2013; VARGAS-PARRA; VILLALBA; GABARRELL, 2013; ZHI-YUN; XIAO-YAN; YU-JUN, 2013; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2014; DEVKOTA *et al.*, 2015; VIALLE *et al.*, 2015; GAO *et al.*, 2016; VALDEZ *et al.*, 2016; ANGRILL *et al.*, 2017;).

Apesar do foco deste MSL ser voltado para sistemas de aproveitamento de água pluvial, nos artigos selecionados, foi possível verificar a ocorrência de utilização de outras ações tecnológicas para conservação de água em 10 artigos. A Figura 2.15 apresenta essas outras modalidades de economia de água.

Figura 2. 15 – Outras modalidades de gestão sustentável da água

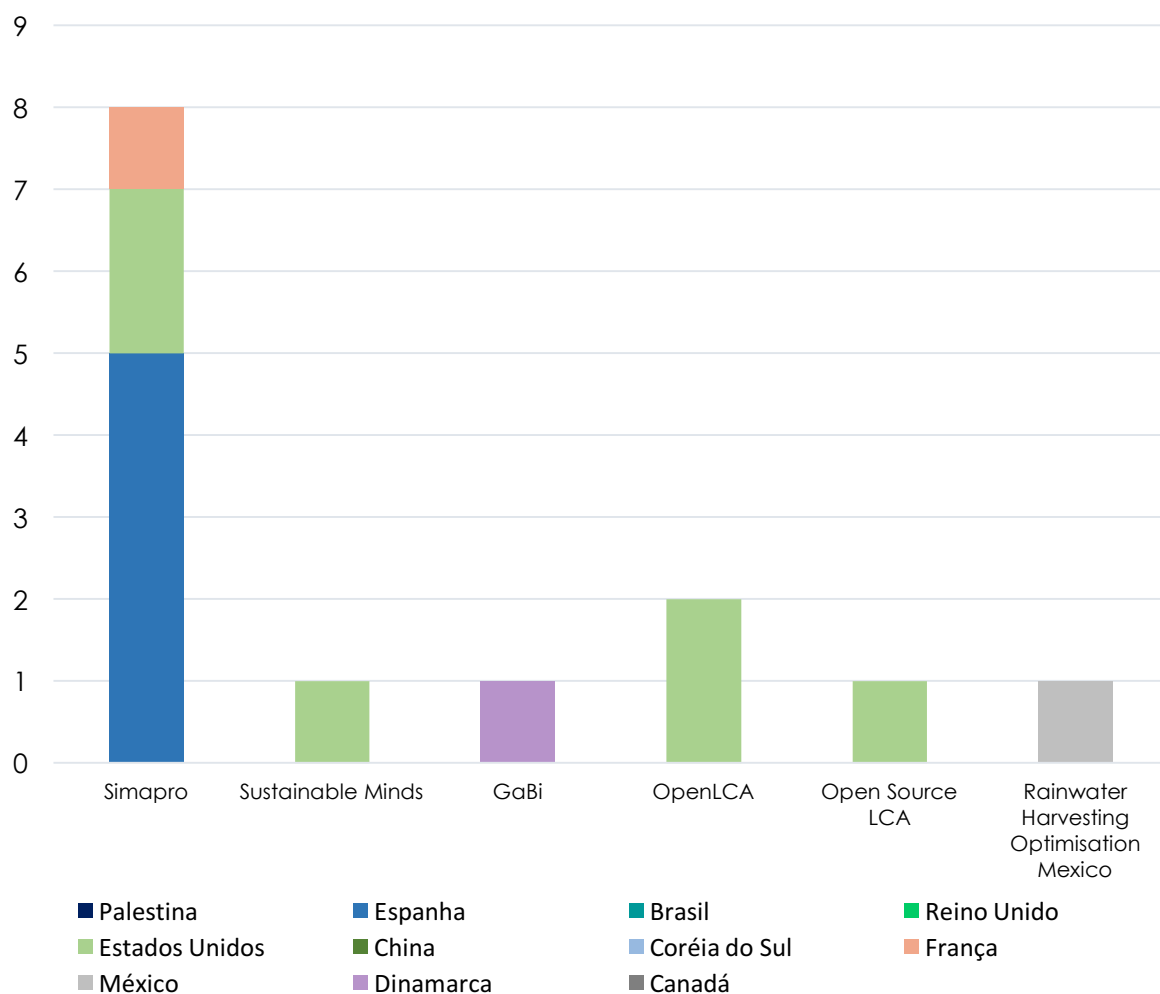


A utilização de águas cinzas, foi a principal alternativa apresentada ao aproveitamento de água pluvial, com a ocorrência em mais de 20% dos artigos (NAZER *et al.*, 2010; ANGRILL *et al.*, 2012; RYGAARD *et al.*, 2014; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2015; GARCÍA-MONTOYA *et al.*; 2016; CHANG; LEE; YOON, 2017). Pelo mapeamento, foi possível verificar ainda alternativas consideravelmente recentes como o xeriscaping e a biorretenção (JEONG *et al.*,

2016), que atuam respectivamente na economia de água, através de planejamento de paisagismo e na mitigação de eventos de enchente.

Em relação à ACV, observou-se inicialmente se houve ou não a utilização de algum *software* para a realização das análises ambientais e quando utilizado, quais eram eles, conforme identifica-se na Figura 2.16.

Figura 2. 16 - *Softwares* de ACV



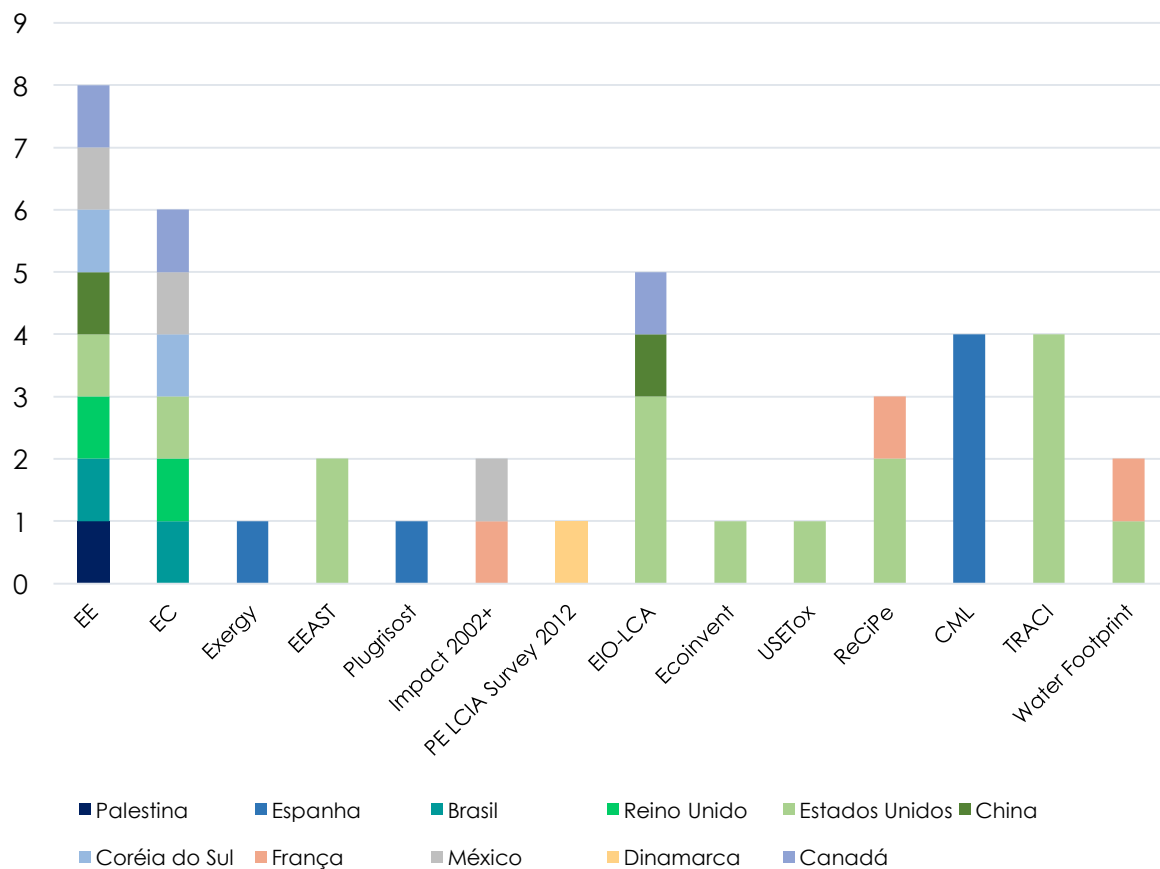
Percebe-se que o SimaPro® foi o *software* mais utilizado pelos estudos encontrados no mapeamento (ANGRILL *et al.*, 2012; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2012; GHIMIRE *et al.*, 2014; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2014; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2015; VIALLE *et al.*, 2015; JEONG *et al.*, 2016; ANGRILL *et al.*, 2017), apresentando um número de artigos 4 vezes maior que o segundo colocado, o OpenLCA (GHIMIRE *et al.*, 2014; GHIMIRE *et al.*, 2017). O SimaPro® foi desenvolvido na Holanda pela *Pre-sustainability* e possui vários métodos de

AICV e bancos de dados (VINHAL, 2016), o que o torna tão interessante para ser aplicado para diferentes realidades. Além disso é uma ferramenta que apresenta uma certa flexibilidade, uma vez que possibilita que usuário realize uma modelagem do sistema do produto, transitando entre as diferentes metodologias e banco de dados oferecido (VINHAL, 2016). O SimaPro®, além de tudo é ainda uma ferramenta gratuita para a utilização com fins de pesquisa, o que justifica sua ampla recorrência nos estudos verificados.

Destaca-se ainda o Rainwater Harvesting Optimization, um simulador projetado no Excel®. Este programa simula a demanda de água, otimiza o dimensionamento dos reservatórios e compara os 3 indicadores ambientais sugeridos no estudo: *Global Warming Potential* – GWP, *Cumulative Energy Demand* – CED e o *Net Present Value* – NVP. O indicador GWP indica o potencial de aquecimento global ($\text{KgCO}_{2\text{eq}}/\text{m}^3$), o CED indica a EE pelo volume de água utilizada durante a vida útil do sistema (KWh/m^3) e o NVP como o valor presente líquido de cada cenário. Este trabalho teve como objetivo calcular e comparar as emissões de gases estufa, energia e custos do ciclo de vida de 5 diferentes configurações de SPAAP em edificações supridas também pela concessionária. O simulador é utilizado tanto para edificações comerciais, quanto em edificações residenciais uni e multifamiliares. No entanto, ele realiza essas simulações apenas para a Cidade do México.

Mais uma análise que o MSL pôde oferecer embasamento, foi quanto às metodologias de ACV e também com relação às bases de dados adotadas. Em relação à metodologia utilizada para a ACV de cada estudo, verificou-se que a mais empregada é a apresentação dos dados quanto à EE e ao dióxido de carbono equivalente embutido (EC) (NAZER *et al.*, 2010; RACOVICIANU; KARNEY, 2010; MARINOSKI; GHISI, 2011; WARD; BUTLER; MEMON, 2011; ZHI-YUN; XIAO-YAN; YU-JUN, 2013; DEVKOTA; SCHLACHTER; APUL, 2015; VALDEZ *et al.*, 2016; CHANG; LEE; YOON, 2017), o que se deve provavelmente por se ter uma maior facilidade de acesso aos procedimentos metodológicos. Outra base de dados bastante utilizada é *Economic Input-Output Life Cycle Assessment* – EIO-LCA *Model* (RACOVICIANU; KARNEY, 2010; ANAND; APUL, 2011; DEVKOTA; SCHLACHTER; APUL, 2015; GAO *et al.*, 2016), presente em 20% dos artigos avaliados. A Figura 2.17 apresenta ainda os demais métodos abordados.

Figura 2.17 - Método de LCA



Verificou-se ainda que as ACVs que apresentaram seus resultados por meio de EE e EC, utilizaram em sua maioria dados provenientes de bibliografias (RACOVICIANU; KARNEY, 2010; MARINOSKI; GHISI, 2011; WARD; BUTLER; MEMON, 2011; ZHI-YUN; XIAO-YAN; YU-JUN, 2013; DEVKOTA; SCHLACHTER; APUL, 2015) e os demais artigos utilizaram suas bases de dados de outras fontes. Além disso, percebeu-se que as primeiras publicações apresentavam os dados de impacto ambiental sob o formato de EE e EC.

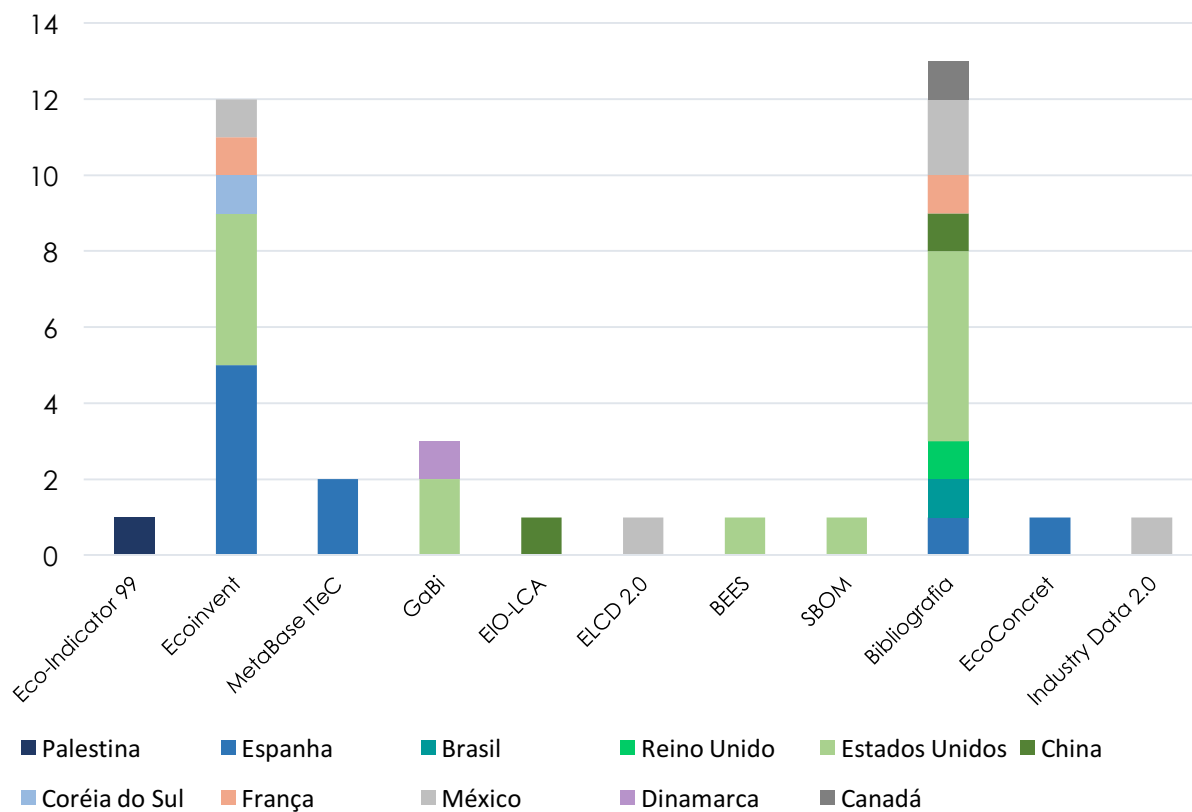
Além disso, verificou-se dentre os artigos aderentes, dois trabalhos que tinham como objetivo do desenvolvimento de novos programas para avaliação ambiental. O primeiro deles é desenvolvido por Devkota *et al.* (2015) sob o nome de *EEAST Model*. O programa é baseado na metodologia apresentada pelo *Software* TRACI e utiliza as bases de dados GaBi® e Ecoinvent®. Busca apresentar dados que mostrem as diferenças de resultados entre as configurações de sistemas através de um indicador, que é dado pela razão entre demanda e o suprimento de água pluvial. Os resultados da pesquisa apresentaram ainda, análises de indicadores por usuário e por área de captação (800kg de CO₂/pessoa e 12KgCO₂/pé²).

O Segundo trabalho é desenvolvido por Morales-Pinzón *et al.* (2015) e sugere o Plugrisost como uma ferramenta para facilitar a gestão e o planejamento de SPAAP e do uso de águas cinzas, especialmente na escala de planejamento urbano. O programa integra duas diferentes ferramentas metodológicas, a análise de ciclo de vida com a simulação dinâmica, para avaliar custos econômicos e os impactos ambientais potenciais de sistemas alternativos de suprimento de água. Auxilia ainda no dimensionamento dos reservatórios e estima os custos e os quantitativos das análises ambientais, apresentando-se como um programa em fase de criação, porém com o objetivo de tornar-se bastante completo.

É interessante ressaltar ainda, que apesar de mais de 36% dos artigos terem apresentado avaliações não somente ambientais, como também econômicas (NAZER *et al.*, 2010; RACOVICIANU; KARNEY, 2010; ANAND; APUL, 2011; MARINOSKI; GHISI, 2011; DEVKOTA *et al.*, 2013; DEVKOTA; SCHLACHTER; APUL, 2015; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2015; GAO *et al.*, 2016; VALDEZ *et al.*, 2016), porém identificou-se apenas um artigo que propôs uma avaliação também social (NAZER *et al.*, 2010). Para essa avaliação social, utilizou-se especialmente de técnicas de entrevistas e questionários com os usuários do estudo de caso.

Além da ACV, também verificou-se a origem das bases de dados adotadas. Foi possível identificar uma gama bastante ampla de bases de dados para acesso às informações necessárias para os cálculos ambientais. Nota-se que a maioria dos dados são obtidos de fontes bibliográficas ou de conselhos registrados. Mas em relação à uma base de dados específica, tem-se que a *Ecoinvent* é a mais utilizada (ANGRILL *et al.*; 2012; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2012; GHIMIRE *et al.*, 2014; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2014; DEVKOTA *et al.*, 2015; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2015; VIALLE *et al.*, 2015; JEONG *et al.*, 2016; VALDEZ *et al.*, 2016; ANGRILL *et al.*, 2017; CHANG; LEE; YOON, 2017; GHIMIRE *et al.*, 2017). A Figura 2.18 apresenta os dados obtidos neste tópico.

Figura 2.18 – Bases de dados



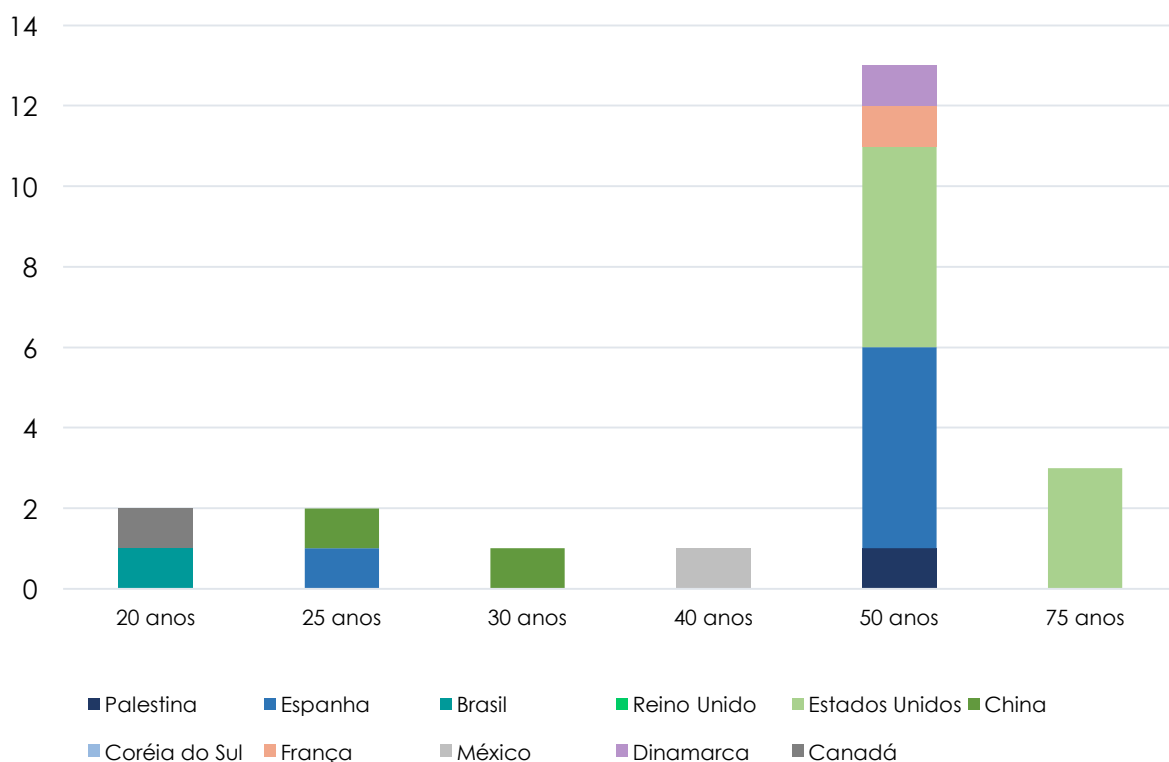
O Ecoinvent® é uma ferramenta que pode ser utilizada tanto como metodologia, quanto como base de dados. Ela foi desenvolvida pelo Instituto Federal Suíço para Pesquisa e Testes de Materiais (EMPA) em parceria com diversos institutos governamentais suíços. Sua ampla utilização é justificada por apresentar uma quantidade de quase 10 mil inventários, (VINHAL, 2016) sendo considerada uma base de dados internacional.

Em relação à escolha das bases de dados, três artigos em específico (RACOVICIANU; KARNEY, 2010; JEONG *et al.*, 2016; CHANG; LEE; YOON, 2017) deixaram explícita a preocupação com o uso de dados locais e caso estes não estivessem disponíveis, seriam realizadas adaptações para se adequarem, o quanto possível, à realidade local. Dos trabalhos aderentes, 9 utilizaram mais de uma base de dados para a obtenção dos dados ambientais (RACOVICIANU; KARNEY, 2010; ANAND; APUL, 2011; MARINOSKI; GHISI, 2011; WARD; BUTLER; MEMON, 2011; ANGRILL *et al.*, 2012; DEVKOTA *et al.*, 2013; VARGAS-PARRA; VILLALBA; GABARRELL, 2013; ZHI-YUN; XIAO-YAN; YU-JUN, 2013; DEVKOTA *et al.*, 2015; DEVKOTA; SCHLACHTER; APUL, 2015; VIALLE *et al.*, 2015; GARCÍA-MONTOYA *et al.*, 2016; VALDEZ *et al.*, 2016; JEONG *et al.*, 2016;

ANGRILL *et al.*, 2017; GHIMIRE *et al.*, 2017). No entanto, nenhum dos artigos realizou análises comparativas e qualitativas quanto à origem das bases de dados.

Por fim, a vida útil dos SPAAPs foi verificada e a maioria dos artigos adotou o tempo para 50 anos (NAZER *et al.*, 2010; ANAND; APUL, 2011; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2012; SHAH *et al.*, 2013; VARGAS-PARRA; VILLALBA; GABARRELL, 2013; GHIMIRE *et al.*, 2014; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2014; RYGAARD *et al.*, 2014; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2015; VIALLE *et al.*, 2015; JEONG *et al.*, 2016; ANGRILL *et al.*, 2017; GHIMIRE *et al.*, 2017). A Figura 2.19 apresenta esses dados divididos por países.

Figura 2.19 - Vida útil dos reservatórios



A Tabela A5 apresenta um resumo das informações obtidas nos trabalhos analisados, incluindo as informações inclusive quanto às etapas do ciclo de vida que foram avaliadas, neste caso, 44% dos artigos avaliaram apenas as etapas de produção e operação de seus sistemas (NAZER *et al.*, 2010; ANAND; APUL, 2011; MARINOSKI; GHISI, 2011; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2012; DEVKOTA *et al.*, 2013; SHAH *et al.*, 2013; DEVKOTA; SCHLACHTER; APUL, 2015; VIALLE *et al.*, 2015; GAO *et al.*, 2016; VALDEZ *et al.*, 2016; GHIMIRE *et al.*, 2017).

Partindo das análises realizadas por meio do MSL, foi possível verificar as lacunas do conhecimento que existem na área abordada, assim como os aspectos que podem ser aderidos à pesquisa em questão. Inicialmente, observa-se que o tema é ainda relativamente recente, uma vez que os artigos encontrados datam dos últimos 7 anos. Além disso, verificou-se que os Estados Unidos é o país que mais tem abordado o tema, apontando ainda que no Brasil, há apenas uma pesquisa sobre o assunto (MARINOSKI; GHISI, 2011).

Outro ponto é, o fato de que as pesquisas apresentadas embasaram seus métodos com abordagens de LCA diferentes, algumas apresentando apenas energia embutida e emissões (NAZER *et al.*, 2010; RACOVICEANU; KARNEY, 2010; ANAND; APUL, 2011; MARINOSKI; GHISI, 2011; WARD; BUTLER; MEMON, 2011; DEVKOTA *et al.*, 2013; SHAH *et al.*, 2013; DEVKOTA; ZHI-YUN; XIAO-YAN; YU-JUN, 2013; SCHLACHTER; APUL, 2015; VALDEZ *et al.*, 2016; CHANG; LEE; YOON, 2017). Porém as demais debruçando ainda para outros tipos de impactos de midpoint ou endpoint (ANGRILL *et al.*, 2012; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2012; GHIMIRE *et al.*, 2014; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2014; RYGAARD *et al.*, 2014; DEVKOTA *et al.*, 2015; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2015; VIALLE *et al.*, 2015; GAO *et al.*, 2016; GARCÍA-MONTOYA *et al.*, 2016; JEONG *et al.*, 2016; ANGRILL *et al.*, 2017; GHIMIRE *et al.*, 2017).

Percebe-se que para a ICV, foram utilizadas várias bases de dados, concluindo que isso irá se referir frente ao objetivo e escopo adotados para o trabalho, bem como com a região em que ele é realizado, para que os dados sejam mais verossímeis. É possível identificar também que o estudo de caso é uma alternativa viável de modelo de pesquisa, uma vez que todos os artigos aderentes ao MSL adotaram este modelo de pesquisa.

Em relação ao trabalho realizado no Brasil, as técnicas metodológicas apresentaram-se satisfatórias, podendo serem empregadas neste estudo. No entanto, ambas pesquisas irão se diferir nos aspectos dos resultados buscados. Na pesquisa realizada por Marinoski e Ghisi (2011), quanto aos aspectos ambientais, foram comparados os sistemas com e sem aproveitamento de água pluvial com a simulação de diferentes volumes e materiais de reservatórios. O que se propõe para este estudo são as comparações de viabilidade ambiental para diferentes configurações de SPAAP constituídas dos mesmos materiais componentes, bem como realizar análises comparativas entre bases de dados provenientes de diferentes realidades, uma buscando dados de países em desenvolvimento e a outra de países desenvolvidos.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

Neste capítulo, são apresentados todos os elementos caracterizadores do estudo de caso abordado neste trabalho.

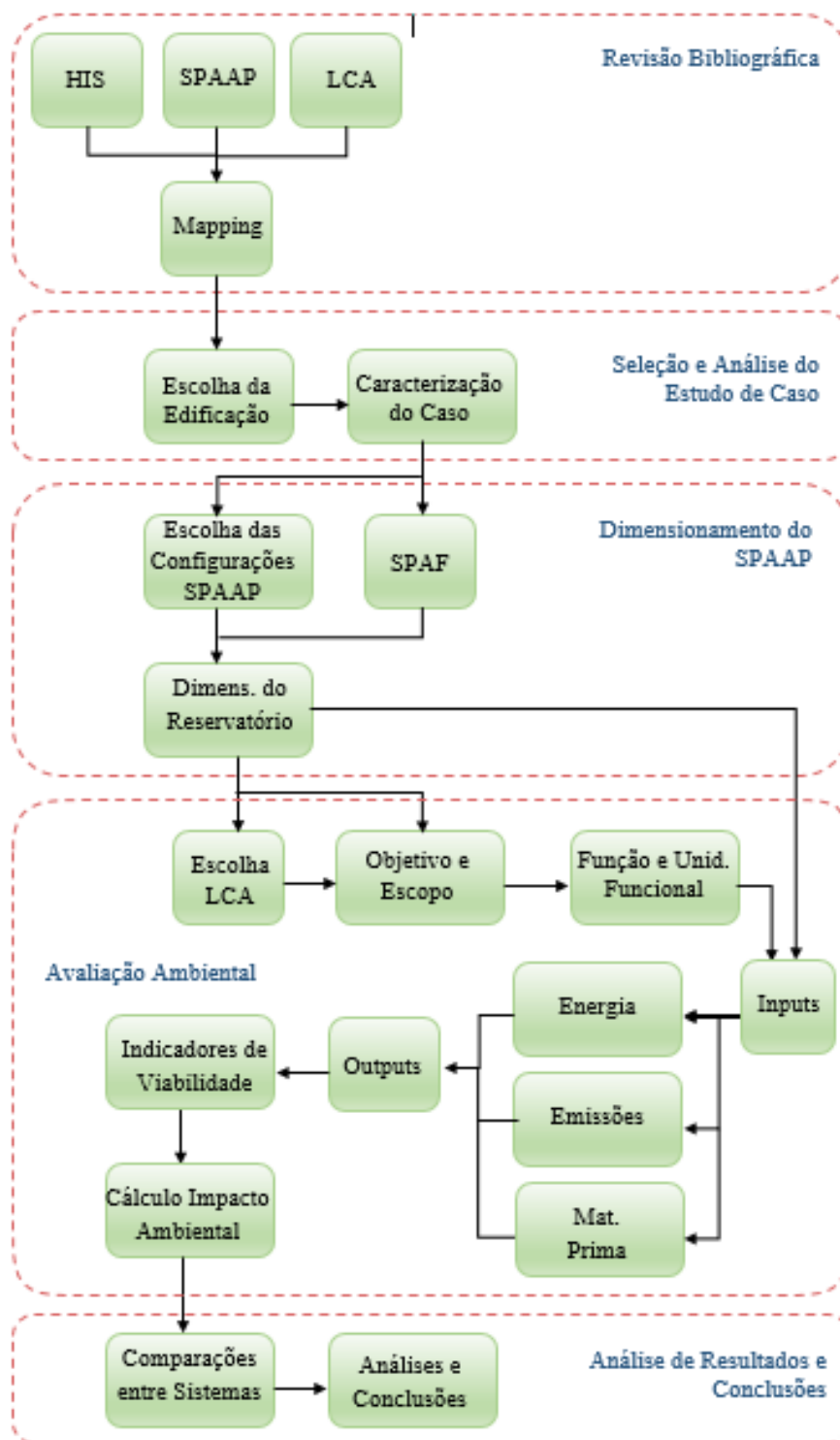
Neste capítulo, apresenta-se a metodologia aplicada na pesquisa, bem como é delimitado o estudo de caso. Aponta-se ainda como os projetos originais foram readequados à esta pesquisa.

Em relação aos objetivos esta é uma pesquisa exploratória, já que, além de todo o levantamento bibliográfico e dos dados para análise, ela busca proporcionar maior familiaridade com um problema específico, tornando-o mais explícito e investigando soluções para sua resolução (GEHARDT; SILVEIRA, 2009).

Por fim, quanto aos procedimentos, trata-se de uma pesquisa de estudo de caso, uma vez que as análises serão realizadas a partir de dados de um projeto existente e do local onde ele se insere.

A Figura 3.1 delinea as etapas e processos necessários para a realização desta pesquisa.

Figura 3.1 – Delineamento da pesquisa



A seguir detalha-se o processo de cada uma das etapas necessárias para a concretização deste trabalho.

3.1. ESCOLHA E CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

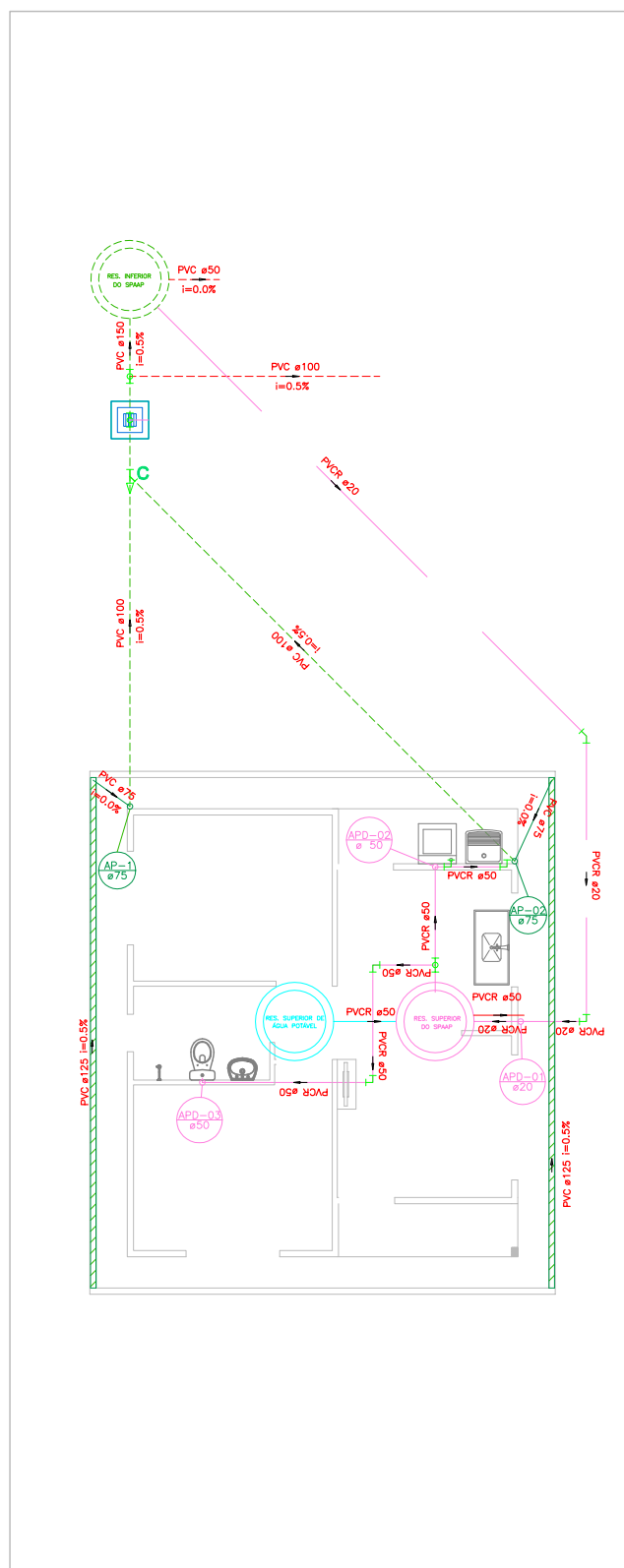
Neste trabalho determinou-se que o estudo de caso contemplaria a tipologia residencial de interesse social, incluindo-se ainda alguns critérios que deveriam ser contemplados para a escolha da edificação:

- Ser um conjunto habitacional horizontal de habitações unifamiliares, tendo-se assim uma maior área de captação de água pluvial se comparado a condomínios verticais. Essa escolha permite, portanto, ter um maior potencial de aproveitamento da água pluvial, uma vez que se disponibiliza uma quantidade maior dessa água;
- Ter acesso aos projetos arquitetônicos do condomínio, bem como outras informações (ex. topográficas).

Sendo assim, neste trabalho, optou-se em utilizar um conjunto habitacional de interesse social, executada conforme os padrões exigidos pelo “Programa Minha Casa, Minha Vida”.

O loteamento em questão é localizado na cidade de Goiânia, estabelecido por 1000 residências unifamiliares, compostas individualmente por uma varanda, sala de estar com cozinha/copa americana, área de circulação, dois dormitórios, banheiro e área de serviço, totalizando uma área de 48,56 m². Os lotes do condomínio possuem em média uma área de 250,00 m² e comportam apenas uma casa, a Figura 3.2 apresenta o layout da residência padrão utilizada na pesquisa, em conjunto com a implantação da mesma no lote padrão.

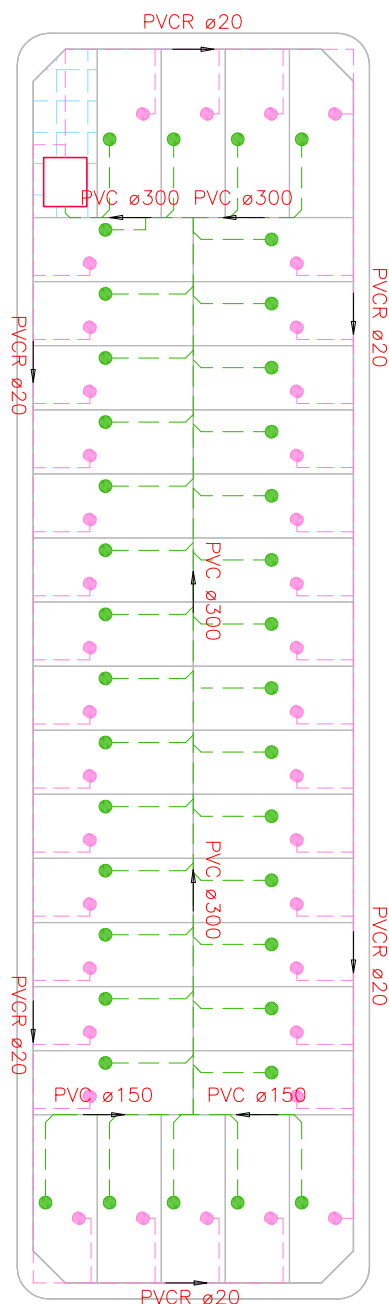
Figura 3.2 – Residência padrão do estudo de caso



VISTA SUPERIOR
ESC.: 1/50

Neste condomínio existem seis tipologias de quadras, a qual foi seleccionada por ser a quadra mais recorrente no empreendimento. Ela é composta por 38 lotes, dos quais 37 foram disponibilizados para a instalação das residências e um deles foi destinado para uma instalação coletiva de SPAAP, conforme ilustrado na Figura 3.3.

Figura 3.3 – Quadra adotada para o estudo de caso



O lote destinado para a instalação coletiva de SPAAP era destinado para fins coletivos, não sendo um lote destinado para comercialização, ou seja, não apresentando a instalação de

residências mesmo no cenário individual, o que possibilita também que a comparação entre os sistemas seja passível de ser realizada com o menor acúmulo de erros possível⁴.

3.2. CONCEPÇÃO E ELABORAÇÃO DOS PROJETOS DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL (SPAAP)

Para desenvolver este trabalho definiu-se inicialmente dois cenários de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis: o primeiro de caráter individual e o segundo coletivo.

O cenário individual é caracterizado de forma que a água pluvial obtida pela área de captação de cada residência seja utilizada nela própria. A água é coletada na cobertura da habitação, sendo conduzida em seguida ao reservatório inferior, passando nesse percurso por um filtro e um sistema de descarte inicial (que serão detalhados mais à frente). Após seu armazenamento no reservatório inferior, a água será recalçada para o reservatório superior de onde, por gravidade, abastecerá os pontos de utilização da moradia. Neste trabalho a água captada será destinada a usos não potáveis, sendo eles: bacia sanitária, máquina de lavar roupa e torneira de jardim – irrigação e lavagem de piso.

Já no cenário coletivo, a água captada pelas áreas de cobertura de todas as unidades habitacionais é armazenada em um único reservatório inferior, executado em concreto armado. Este reservatório será construído na área de uso coletivo de cada quadra. Neste cenário o sistema de filtragem e descarte inicial é equivalente ao utilizado no sistema individual, já apresentado. Posteriormente à essa reservação a água coletada será bombeada diariamente para os reservatórios superiores presentes em cada residência, seguido de sua distribuição para os pontos de uso final, de modo análogo ao sistema individual.

Portanto, fez-se necessária a adequação dos projetos originais do condomínio e das residências para a inserção dos SPAAPs que serão avaliados neste trabalho. Todos os novos projetos realizados foram produzidos conforme as respectivas Normas Brasileiras de Sistemas Prediais de Água Fria e de Sistemas Prediais de Aproveitamento de Água Pluvial e serão detalhados nesta Metodologia.

⁴ Este estudo de caso trata-se de um condomínio executado na localidade especificada, bem como é o mesmo projeto de pesquisa apresentado no trabalho de Carvalho (2017), em que é realizada a abordagem de viabilidade econômica.

Uma vez que as configurações do SPAAP foram escolhidas, torna-se necessário o dimensionamento dos sistemas. Este dimensionamento foi dividido, neste trabalho, em três partes: a primeira referente ao subsistema de coleta e distribuição, a segunda do subsistema de bombeamento e a terceira do reservatório. Os respectivos critérios de dimensionamento adotados são apresentados a seguir.

3.2.1. Dimensionamento do subsistema de coleta e distribuição

Para a realização deste trabalho, foi inicialmente necessário realizar o dimensionamento de todos os subsistemas do SPAAP (coleta e distribuição) para ambos os cenários determinados. Os projetos e quantitativos estão apresentados no Apêndice.

Para este dimensionamento utilizou-se as seguintes normas:

- ABNT NBR 5626:1998 – Instalação predial de água fria (ABNT, 1998);
- ABNT NBR 5648:2010 – Tubos e conexões de PVC-U com junta soldável para sistemas prediais de água fria – Requisitos (ABNT, 2010a);
- ABNT NBR 5688:2010 – Tubos e conexões de PVC -U para sistemas prediais de água pluvial, esgoto sanitário e ventilação – Requisitos (ABNT, 2010b);
- ABNT NBR 8220:2015 – Reservatório de poliéster, reforçado com fibra de vidro, para água potável para abastecimento de comunidades de pequeno porte – Especificação (ABNT, 2015);
- ABNT NBR 8890:2007 – Versão corrigida: 2008 – Tubo de concreto de seção circular para águas pluviais e esgoto sanitários – Requisitos e métodos de ensaios (ABNT, 2007a);
- ABNT NBR 10844:1989 – Instalações prediais de águas pluviais – Procedimento (ABNT, 1989);
- ABNT NBR 12211:1992 – Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água – Procedimento (ABNT, 1992);
- ABNT NBR 15527: 2007 – Aproveitamento de água de chuva de cobertura para fins não potáveis em áreas urbanas (ABNT, 2007b);
- ABNT NBR 15645:2008 – Execução de obras de esgoto sanitário e drenagem de águas pluviais utilizando-se tubos e aduelas de concreto (ABNT, 2008a);

- ABNT NBR 15579:2008 – Sistemas prediais – Tubos e conexões de ferro fundido com pontas e acessórios para instalações prediais de esgotos sanitários ou águas pluviais – Requisitos (ABNT, 2008b).

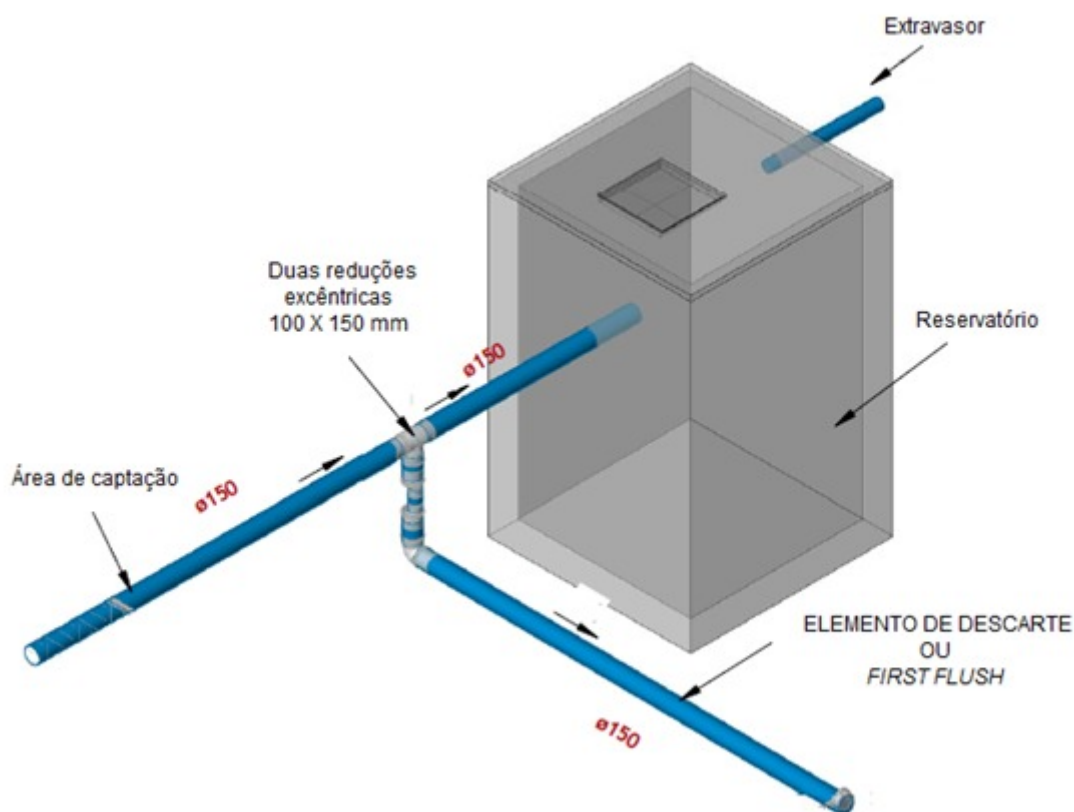
De um modo geral, para a implantação dos subsistemas de transporte – coleta e distribuição, tanto para o cenário individual, quanto para o cenário coletivo, foi necessário realizar algumas adaptações no projeto arquitetônico original. Isto significa que com os novos projetos de aproveitamento de água pluvial, novos elementos foram adicionados aos elementos construtivos originais da residência, destacando-se:

- Calhas: para captação e transporte horizontal inicial da água pluvial, adotada em ambos os cenários, composta em PVC com diâmetro de 125 mm;
- Tubulações de coleta: produzidas em PVC Rígido Série Normal e suas respectivas conexões, nos diâmetros de 75 mm, 100 mm e 150 mm utilizados em ambos cenários e de 200 mm, 250 mm e 300 mm utilizados somente no cenário coletivo;
- Tubulações de distribuição: produzidas em PVC Soldável e suas respectivas conexões, utilizadas nos diâmetros de 40 mm, 32 mm e 25 mm para ambos os cenários; de 20 mm utilizadas no SPAAP Individual e de 60 mm e 50 mm aplicadas ao SPAAP Coletivo;
- Filtro: utilizado para retenção de partículas antes do descarte e da entrada da água pluvial no reservatório inferior, composto por tela, acessível para limpeza de eventuais resíduos, localizado antes do descarte inicial, utilizado em todas as residências em ambos os cenários;
- Sistema de descarte: executado com tubulações e conexões de PVC, tendo como finalidade permitir o first-flush ou descarte inicial, ou seja, a eliminação da água pluvial que entrou em contato com a área de captação primeiro.

Uma vez que tratamentos mais rigorosos – como com radiação ultravioleta, carvão ativado ou ozônio – não são obrigatórios para uso de água pluvial coletada de telhados para fins não potáveis (MARINOSKI, 2007; WARD; BUTLER; MEMOM, 2011), para este estudo considerou-se, portanto, apenas o descarte inicial e a filtragem simples. O descarte inicial permite diminuir a chance de arrastamento de agentes contaminantes para a água a ser reservada. Para este estudo de caso, determinou-se a eliminação do volume de 1 mm de água pluvial inicial por m² no *first-flush*, conforme indicado por Campos Marcus (2012). Este sistema é aplicado em ambos os cenários de modo equivalente, isto é, um descarte por

habitação, localizado logo após o filtro. A Figura 3.4 ilustra a composição e o modelamento do elemento de descarte.

Figura 3.4 – Elemento de descarte



- Sistema de extravasão: instalado nos reservatórios superiores e inferiores de ambos os cenários. É composto de tubulações de PVC e registros, exercendo a função de permitir a eliminação da água que possa vir a ser excedente no reservatório em que se localiza, para evitar que este transborde.

No item a seguir explicita-se o dimensionamento das bombas de recalque para a água pluvial.

3.2.2. Dimensionamento das bombas

Para o dimensionamento do sistema de bombeamento da água pluvial, do reservatório inferior para o reservatório superior, utilizou-se os seguintes dados de entrada: vazão, altura livre positiva de sucção e altura manométrica total. A partir disso foi possível identificar diretamente com os fabricantes, qual a bomba mais adequada para cada cenário. Nos casos em que mais de uma bomba adequou-se ao projeto, escolheu-se a bomba com o melhor rendimento percentual.

Dessa forma, foram acrescentados:

- Uma bomba de recalque afogada de 1/3 cv, com o funcionamento de 1 hora por dia, todos os dias, válvula solenoide e sensores de nível para o SPAAP Individual, sendo um conjunto por casa;
- Uma bomba de recalque afogada de 1 cv, com o funcionamento de 3 horas por dia, funcionando diariamente, válvula solenoide e sensores de nível para todo o SPAAP Coletivo.

No item que segue, desenvolve-se o dimensionamento dos reservatórios inferiores do SPAAP.

3.3. DIMENSIONAMENTO DOS RESERVATÓRIOS

O reservatório é um equipamento relevante no SPAAP e para o dimensionamento de reservatórios de armazenamento de água pluvial não há uma norma brasileira que especifique ou exija alguma metodologia para seu dimensionamento. Tendo isso, adotou-se para este trabalho a metodologia PSO – *Particle Swarm Optimization*, desenvolvida por Campos Marcus (2012), por ser um método com foco em SPAAPs, que aplica funções econômicas no procedimento de escolha do volume de armazenamento. Esse método possibilita que o processo de decisão do dimensionamento de volume ótimo de reservação seja guiado pelo maior valor presente líquido – VPL.

Antes da aplicação dos dados no programa computacional citado, deve-se obter previamente as seguintes informações:

- Oferta de água pluvial;
- Demanda de água pluvial;
- Função custo do reservatório;
- Custos de manutenção e operação do reservatório;

- Variáveis econômicas: tarifa de água, histórico de reajustes e taxa mínima de atratividade.

O desenvolvimento de todos esses elementos é descrito a seguir.

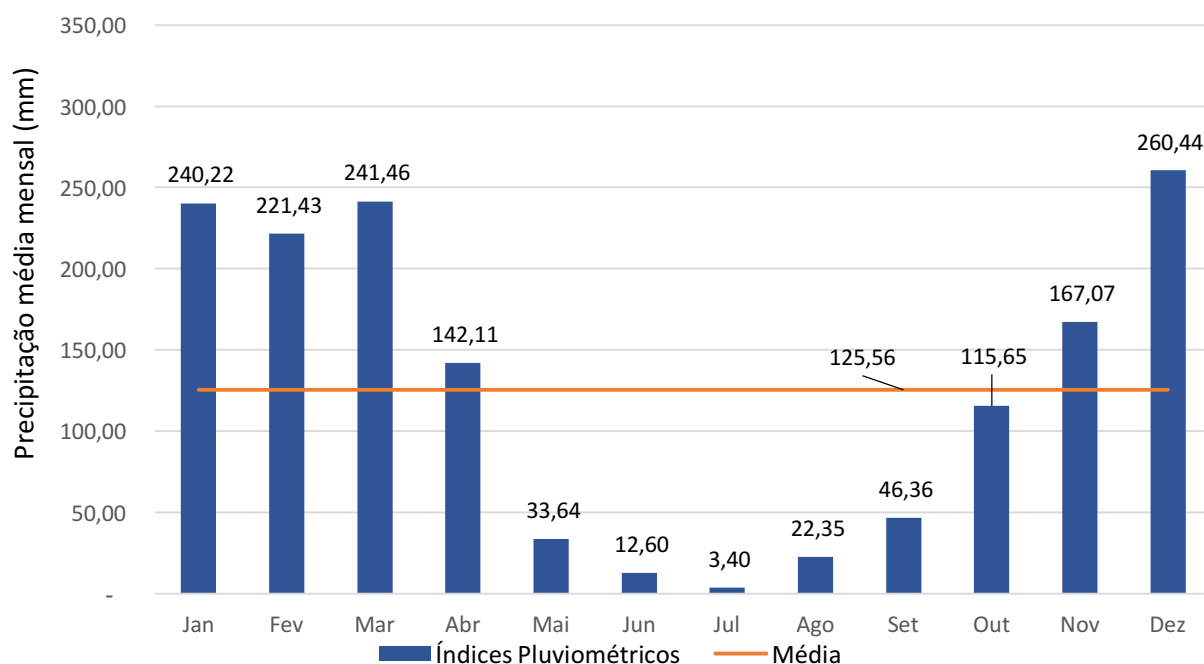
3.3.1. Determinação da oferta de água pluvial

A determinação da oferta de água pluvial depende da área de captação, do coeficiente de escoamento superficial da cobertura, do fator de eficiência do sistema e da precipitação média do local em análise, conforme especificado pela NBR 15527 (ABNT, 2007b).

Para a análise da oferta de água pluvial, é necessário analisar o regime pluviométrico da região em que o sistema se encontra. Dessa forma, recomenda-se que sejam utilizados dados diários de no mínimo 10 anos. Usualmente estima-se médias diárias e mensais, além de se obter períodos de estiagem caracterizando o regime pluviométrico da região (CAMPOS Marcus, 2012).

Para o estudo de caso, verificou-se o regime pluviométrico da região em que o estudo de caso está locado. Nesta pesquisa, os dados necessários são da cidade de Goiânia e foram obtidos pelo site Agritempo (2016) do governo federal do Brasil, em uma série histórica de dados acumulados diários de chuvas, do ano de 2000 ao ano de 2016. A Figura 3.5 apresenta os índices pluviométricos médios mensais de chuva para esse período de 16 anos para a cidade em questão.

Figura 3.5 – Médias mensais de intensidade pluviométrica para a cidade de Goiânia com dados de 2000 a 2016



A Figura 3.5 indica ainda a média dos índices pluviométricos médios mensais, que é igual a 125,56 mm/mês. Além disso, verificou-se o período máximo médio de estiagem é igual a 45 dias, de modo a auxiliar na compreensão do comportamento pluviométrico da região.

Para o estudo, foi considerado que meses com índices pluviométricos maiores que 200 mm são meses de chuvas intensas, meses com índices abaixo de 50 são de chuvas escassas e meses com índices intermediários são meses de chuvas moderadas. Dessa forma, foi possível verificar que, para a cidade de Goiânia, tem-se que os meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro são meses com chuvas intensas; os meses de abril, outubro e novembro são meses de chuvas moderadas e os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro são os meses de chuvas escassas.

3.3.2. Determinação da demanda de água pluvial

A demanda de água pluvial corresponde ao volume médio consumido pela residência avaliada, nos pontos de uso final de interesse deste trabalho. Nesta pesquisa e em ambos os cenários, os pontos finais de uso da água captada serão: bacia sanitária, máquina de lavar roupa, lavagem de piso e irrigação.

Para determinar a demanda exigida por esses pontos realizou-se uma avaliação bibliográfica, em que foram procurados artigos que contemplassem os usos que este trabalho propõe e que fossem, preferencialmente, de baixa renda. Identificou-se seis artigos que abordaram informações tais como: percentual da demanda total da residência que é destinado aos pontos de água pluvial avaliados, consumo diário por habitante e número de habitantes das residências. Os trabalhos selecionados, bem como os valores obtidos e suas médias, desvios padrão e média corrigida encontrados são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Pesquisa bibliográfica para determinação da demanda dos aparelhos

	WC (%)	MLR (%)	Consumo (L /habitante.dia)
Barreto (2008)	20,00	14,00	-
Gameiro (2007)	5,00	14,00	109,00
Silva (2013)	10,00	32,00	-
Cohim, Garcia e Kiperstok (2008)	27,00	8,00	80,00
Peters et al. (2006)	22,00	27,00	90,23
Marinoski et al. (2014)	21,60	10,80	152,00
MÉDIA	17,60	17,63	107,81
DESVIO PADRÃO	8,32	9,59	31,81
MÉDIA + DESVIO PADRÃO	25,92	27,23	139,62
MÉDIA - DESVIO PADRÃO	9,28	8,04	75,99
MÉDIA CORRIGIDA	18,40	16,45	93,08

Ressalta-se que para a determinação da demanda deste trabalho utilizou-se a média corrigida, ou seja, a média somente dos valores que se encontravam entre os valores da média mais ou menos o desvio padrão amostral. Tendo-se então que o consumo diário de água potável por habitante seja de 93,08 litros de água, não incluindo a irrigação.

Dessa forma, para a bacia sanitária a demanda diária por habitante é de 17,13 litros de água pluvial e para a máquina de lavar roupa é de 15,31 litros de água pluvial.

Em relação à lavagem de piso e à irrigação, adotou-se o volume de 1 litro de água por metro quadrado, em que a lavagem de piso é realizada diariamente nas áreas molhadas da residência, o que equivale a um volume de 36,11 litros diários. Para a irrigação o volume corresponde a 197,11 litros de água por dia em que há a irrigação. A Tabela 3.2 apresenta os valores da demanda por aparelho em que se foi previsto o uso de água pluvial.

Tabela 3.2 – Demanda de água prevista por aparelho

	L/habitante.dia	L/residência.dia
Bacia Sanitária	17,13	68,50
Máquina de Lavar Roupa	15,31	61,24
Lavagem de Piso	9,04	36,17
Irrigação	49,28	197,11

O volume de irrigação adotado varia conforme o regime de chuvas da região em que o estudo é realizado. Considerou-se que para os meses em que a intensidade média mensal é maior que 200 mm de chuva por mês, não se faz necessário haver irrigação. Já para os meses com chuvas escassas, o que corresponde à uma intensidade média mensal menor que 50 mm, a irrigação é realizada uma vez a cada três dias. Por fim, para os períodos em que intensidade média mensal de chuva seja intermediária aos dois valores já citados, a irrigação é realizada uma vez a cada dois dias. Sendo assim, devido à demanda da irrigação ser variável mensalmente, a Tabela 3.3 apresenta os resultados obtidos para a demanda considerada em ambas as configurações de sistema.

Tabela 3.3 – Demanda mensal total dos aparelhos com uso de água pluvial

	m³/residência.mês
Janeiro	5,14
Fevereiro	4,65
Março	5,14
Abril	6,95
Maio	8,10
Junho	7,93
Julho	8,10
Agosto	8,10
Setembro	7,93
Outubro	7,11
Novembro	6,95
Dezembro	5,14

O número de habitantes por residência adotado neste trabalho foi igual à 4, tendo como justificativa o projeto original do estudo de caso, em que foi utilizada esta quantidade de residentes por habitação para a realização dos projetos.

3.3.3. Obtenção da função custo do reservatório

Esta função é dependente dos custos de materiais e serviços necessários para a produção ou execução do reservatório conforme cada caso (PACHECO, 2016).

Para este estudo, foi necessário a construção de duas funções-custo. A primeira relacionada para reservatório de polietileno e a segunda para reservatório de concreto armado. Foram levantados custos de 5 reservatórios de polietileno de alta densidade e 8 de concreto armado pela tabela SINAPI (2016a, 2016b) e plotou-se, a partir disso, o gráfico dos resultados obtidos no programa Grapher, obtendo assim o gráfico e respectiva função custo para um destes. Os gráficos obtidos, bem como suas respectivas funções são apresentadas nas Figuras 3.6 e 3.7.

Figura 3.6 – Função custo do reservatório de polietileno

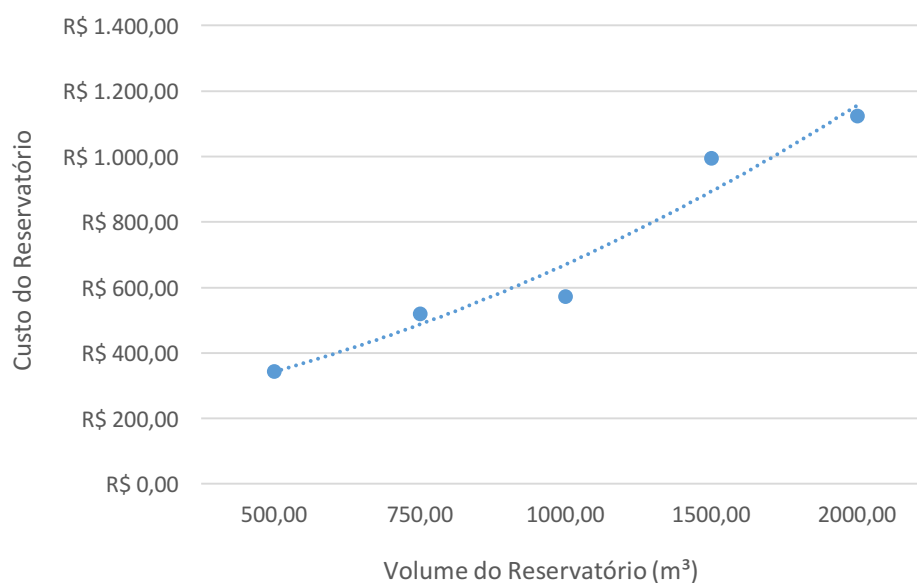
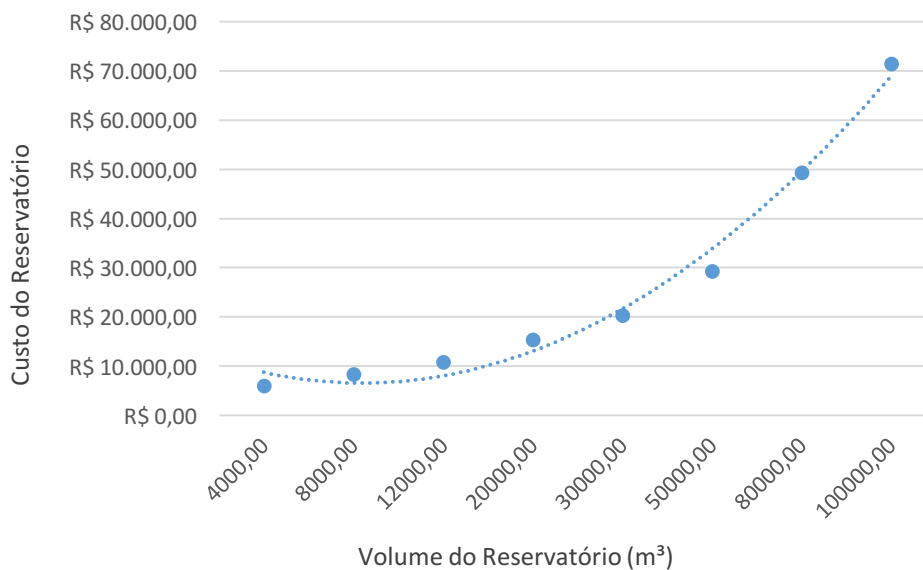


Figura 3.7 – Função custo do reservatório de concreto armado



Para o reservatório inferior do sistema individual, a equação obtida é a Equação 3.1:

$$Y = 19,746 X^2 + 84,865 X + 238,54 \quad (3.1)$$

Para o reservatório inferior do sistema coletivo, a equação obtida foi a Equação 3.2:

$$Y = 1788,2 X^2 - 7488,1 X + 14444 \quad (3.2)$$

Para ambas as equações apresentadas, o coeficiente de determinação – R^2 – foi maior que 0,98 para equações polinomiais, o que assegura que as funções utilizadas são confiáveis para sua aplicação.

3.3.4. Determinação dos custos de manutenção e operação do reservatório

O programa utilizado solicita ainda os custos associados à manutenção e operação dos reservatórios inferiores. Para tanto, verificou-se os custos mensais, bimestrais, semestrais e anuais conforme apresentado pelas Tabelas 3.4 e 3.5.

Tabela 3.4 – Custos de manutenção e operação do reservatório individual

PERÍODO	CUSTOS	
Mensal em função do volume	R\$	1,77
Mensal fixo	R\$	74,70
Bimestral fixo	R\$	44,55
Semestral fixo	R\$	50,00
Anual fixo	R\$	89,10

Tabela 3.5 – Custos de manutenção e operação do reservatório coletivo

PERÍODO	CUSTOS	
Mensal em função do volume	R\$	1,77
Mensal fixo	R\$	94,55
Bimestral fixo	R\$	44,55
Semestral fixo	R\$	50,00
Anual fixo	R\$	89,10

Entram como custos mensais:

- Consumo de produto para desinfecção (em função do volume do reservatório);
- Consumo de energia do conjunto motor-bomba;
- Realização de ensaios previstos pela ABNT (2007) e semestrais;

Nos custos bimestrais é considerada a limpeza dos filtros e nos anuais considerou-se a limpeza das calhas e reservatório, bem como a manutenção da bomba (PACHECO, 2016).

3.3.5. Variáveis econômicas

Para o dimensionamento do reservatório foi requerido também variáveis econômicas, uma vez que o programa utilizado aplica esses valores para a determinação do volume ótimo do reservatório (CAMPOS Marcus, 2012).

Para a estrutura tarifária e seu histórico de reajustes utilizou-se os dados obtidos da concessionária de água da região, conforme apresentado pelas Tabela 3.6 e Tabela 3.7.

Tabela 3.6 – Tarifas de água

CATEGORIA	Faixas de consumo / economia (m ³ / mês)	Custo (R\$/m ³)
Residencial Social	1 -10	1,91
	11 - 15	2,16
	16 - 20	2,47
	Maior que 20	5,61

Tabela 3.7 – Histórico de reajustes

ANO	MÉDIA TARIFA SOCIAL (R\$)	REAJUSTE (%)
2006	0,99	-
2007	1,03	103,45
2008	1,07	104,44
2009	1,14	106,38
2010	1,18	103,00
2011	1,24	105,83
2012	1,35	108,26
2013	1,40	103,39
2014	1,48	105,74
2015	1,51	102,33
2016	2,18	144,70

Para os índices tarifários considerou-se os valores referentes a janeiro de 2017, apenas para a categoria social, por corresponder-se à classe social adotada para o estudo de caso.

Para a taxa de atratividade foi assumido o valor de 1,02% ao mês, conforme dados apresentados pelo Banco Central do Brasil (2017) também em janeiro de 2017.

3.3.6. Aplicação do método para dimensionamento do reservatório

A partir dos dados de oferta e demanda de água pluvial, área disponível para implantação do reservatório, área de captação da cobertura, escoamento superficial da área de captação, função custo do reservatório e variáveis econômicas, é possível entrar com todas essas informações no programa *RAIN Toolbox* e iniciar o processo de dimensionamento dos reservatórios de armazenamento de água pluvial.

É necessária a realização de várias simulações para que se possa escolher o volume ótimo do reservatório. Para este estudo, utilizou-se a técnica de *Particle Swarm Optimization* – PSO, e neste caso foram feitas 10 simulações de dimensionamento para cada um dos cenários adotados. As Tabela 3.8 e Tabela 3.9 apresentam os dados de simulação com os valores de VPL, economia média anual em m³ de água e em reais.

Tabela 3.8 – Dados de dimensionamento do reservatório inferior do SPAAP individual

Dimensionamento do Reservatório Individual			
Volume = 500L			
VPL	VOLUME	Economia média anual (m³)	Economia média anual (R\$)
MODO SIMULAÇÃO			
- 9.075,92	0,50	33,52	1.990,00
- 9.194,88	0,75	37,25	2.210,85
- 9.382,18	1,00	39,67	2.354,79
- 9.876,83	1,50	42,57	2.519,63
- 10.460,05	2,00	44,56	2.629,42

Tabela 3.9 – Dados de dimensionamento do reservatório inferior do SPAAP coletivo

Dimensionamento do Reservatório Coletivo			
Volume = 27 m³			
VPL	VOLUME	Economia média anual (m³)	Economia média anual (R\$)
MODO SIMULAÇÃO			
31.846,39	10,00	981,75	67.021,27
41.459,20	20,00	1.268,64	84.696,49
42.258,38	30,00	1.403,97	92.929,77
39.710,59	40,00	1.489,92	98.057,66
35.108,89	50,00	1.548,84	101.397,95
29.303,30	60,00	1.596,15	104.044,17
22.467,29	70,00	1.635,88	106.223,75
14.473,29	80,00	1.665,92	107.883,22
5.473,28	90,00	1.689,47	109.199,58
- 4.413,73	100,00	1.708,00	110.241,78
42.375,34	25,00	1.343,91	89.271,88
41.316,58	35,00	1.471,58	95.825,37
41.984,11	22,00	-	-
42.424,68	27,00	1.369,31	90.827,13
42.421,54	26,00	-	-

Tabela 3.9 (continuação) – Dados de dimensionamento do reservatório inferior do SPAAP coletivo

Dimensionamento do Reservatório Coletivo			
Volume = 27 m³ (continuação)			
		Economia	Economia
VPL	VOLUME	média anual	média anual
		(m³)	(R\$)
MODO SIMULAÇÃO			
42.397,79	28,00	-	-
42.343,81	29,00	-	-

No item seguinte apresenta-se a metodologia utilizada para os aspectos de avaliação ambiental.

3.4. AVALIAÇÃO AMBIENTAL

O presente trabalho empregou uma metodologia de avaliação ambiental, de maneira que permitiu realizar uma análise comparativa entre configurações de SPAAPs. Isto possibilitou identificar dentre as duas tipologias de implantação disponíveis, qual a menos ambientalmente impactante.

Para a realização da etapa Ambiental, optou-se pela metodologia utilizada por Marinowski (2010), baseados nos conceitos da ACV, ou seja, uma adaptação da NBR 14040 (ABNT, 2009a). Três fatores foram considerados para esta escolha, o primeiro se refere quanto à acessibilidade aos aspectos metodológicos a serem implementados, devido à complexidade intrínseca à aplicação da ACV. O segundo aspecto é condizente com a proximidade do método do autor com a realidade brasileira (SOUST-VERDAGUER; LLATAS; GARCÍA-MARTÍNEZ, 2016). Isso ocorre, pois, a variação dos fluxos de entradas e saídas de impactos ambientais, bem como de produtos gerados, variam muito quanto à localização do estudo de caso. Além disso, a metodologia de Marinowski (2010) é direcionada para edificações residenciais brasileiras, o que concorda com proposto neste estudo.

Esta metodologia é composta por quatro etapas, que são apresentadas na sequência.

3.4.1. Definição de Objetivos e Escopo

Inicia-se a avaliação ambiental com a definição dos objetivos e escopo do estudo. Nesta fase são definidos: a função do sistema, a unidade funcional, o tempo de vida útil, os dados de emissão de entrada e saída, incluindo também as etapas do ciclo de vida dos sistemas que serão contempladas.

Deve ser considerado ainda, que os componentes que constituem os SPAAPs possuam qualidade suficiente para cumprir seu objetivo de modo satisfatório. Além disso, para que se possa realizar uma comparação equitativa entre os sistemas, eles devem cumprir com uma mesma função num dado período de tempo, sendo este geralmente a vida útil considerada em cada objeto de avaliação.

Neste estudo, a função do sistema é a coleta, armazenamento e distribuição de água pluvial para fins não potáveis conforme a oferta e a demanda. O período de tempo considerado é o tempo de vida útil adotado para sistemas prediais hidráulicos, que é igual a 20 anos, conforme indicado pela NBR 15575 (ABNT, 2007b), considerando ainda a substituição de componentes com vida útil menor que a adotada. Em relação aos componentes dos SPAAPs avaliados neste trabalho, apenas as bombas possuem a vida útil inferior à considerada para o sistema, sendo igual a 10 anos, considerou-se, portanto, a substituição desses elementos após este período (MARINOSKI, 2010).

As fronteiras do sistema são as fases consideradas na ACV do sistema predial. Devido à complexidade dos métodos de ACV e à dificuldade de levantamento de dados, abordar todas as fases do ciclo de vida de um produto ou serviço, pode ser trabalhoso e demorado. Dessa forma após a identificação das fronteiras do sistema, é possível omitir ou não alguma etapa do ciclo de vida, conforme se faça necessário. Esta decisão deverá estar em concordância com o objetivo estabelecido para o estudo e independentemente se foram consideradas todas as fases do ciclo de vida ou apenas parte delas, isto deve estar claro no relatório de estudo apresentado. (MALMQVIST *et al.*, 2011; JOHN, 2012; SOUST-VERDAGUER; LLATAS; GARCÍA-MARTÍNEZ, 2016).

Devido à essas limitações apresentadas pela metodologia de aplicação de uma ACV, para este trabalho as fronteiras do sistema que foram abordadas, abrangem as etapas de fabricação e uso dos principais materiais que compõem o SPAAP em ambos os cenários. Os dados adotados consideram os aspectos de transporte das matérias primas e dos materiais entre as fábricas, não

considerando, porém, a disposição final desses elementos (TAVARES, 2006; LOBO, 2010; MARINOSKI, 2010).

Estes limites do estudo ao serem definidos foram mantidos para todos os cenários, de modo a permitir uma avaliação comparativa que assegure uma análise que apresente a mesma abordagem em ambos os sistemas considerados.

Portanto, os índices que serão apresentados neste trabalho, são provenientes dos materiais que compõem o SPAAP e apresentam o maior impacto, sendo eles:

- Tubulações de PVC, incluindo as válvulas e conexões;
- Bombas de Recalque;
- Reservatórios de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e de Concreto Armado;
- Diesel utilizado nos maquinários necessários para a escavação do SPAAP.

No estudo não foram considerados os filtros e o tratamento da água na ACV, uma vez que seu impactos fora considerados mínimos para este estudo (MARINOSKI, 2012) .

3.4.2. Definição da unidade funcional

A função do sistema abordado definida conforme os objetivos do estudo, é o fornecimento de água pluvial em edificações residenciais de interesse social.

A unidade funcional é uma unidade de comparação, que serve como referência de um sistema de produto. Isto permitirá realizar avaliações comparativas entre os dados de entrada e saída e é definida conforme a função do sistema. Para a avaliação comparativa entre sistemas hidráulicos prediais neste estudo, a função do sistema apresentado é armazenar e fornecer o maior volume de água pluvial possível demandado pelo usuário durante toda a vida útil do sistema. Sua unidade funcional foi definida, então, como o volume em m³ de água pluvial utilizada durante a vida útil do sistema (MARINOSKI, 2010).

Além disso, será avaliado ainda os índices de energia embutida – EE – e de CO₂ embutido equivalente – EC – provenientes de duas bases de dados. A primeira base é um conjunto de informações nacionais obtidas dos trabalhos de Tavares (2006), Lobo (2010) e Marinoski (2010), ou ainda dos fabricantes nacionais quando necessário e disponível, para ambos os cenários propostos. A segunda foi composta pelos dados apresentados em Hammond e Jones (2008) e Hsu (2011). A base principal representa informações do Reino Unido e sua utilização

tem o propósito de comparar a utilização de uma base estrangeira quando da ausência de informações nacionais, para o objetivo proposto neste trabalho.

3.4.3. Análise de inventário e avaliações de impactos ambientais

Uma vez que o projeto de SPAAP foi elaborado, quantificou-o e, após esta quantificação, se coletou os dados de Energia embutida e emissão equivalente de CO₂ dos elementos constituintes do sistema. Foram verificados os componentes, equipamentos e materiais utilizados na implementação dos sistemas. Os projetos realizados para cada tipologia foram avaliados separadamente para a realização de uma posterior análise comparativa.

Nesta etapa definiu-se o que são e quais são os dados de fluxos de entrada e saída que foram avaliados pela metodologia de ACV aplicada. Para este trabalho considerou-se como dados de entrada a quantidade dos materiais ou ainda a quantidade de horas de funcionamento dos equipamentos utilizados na composição dos SPAAPs. Foram abordadas as etapas de produção e operação, para ambos os cenários e verificou-se ainda qual a forma de combustível utilizado para este funcionamento. Além disso, também foi considerada a substituição das bombas após o vencimento de sua vida útil. Em termos de fluxo de saídas são eles os próprios dados de EE e EC obtidos através da literatura ou dos fabricantes.

Essa quantificação deu-se preferencialmente pela massa de cada equipamento ou material, já que os dados tanto de EE, quanto de EC são apresentados em função dessa medida (MJ/kg e KgCO_{2eq}/Kg) (TAVARES, 2006; LOBO, 2010; MARINOSKI, 2010).

Esses dados podem ser obtidos por meio da literatura, contato com os fabricantes ou verificados *in loco*. No entanto, conforme apresentado por Csillag e John (2006), dificilmente se consegue ter acesso aos dados primários, já que as empresas tendem a mantê-los confidenciais.

O procedimento para a coleta de dados necessários para realizar esse balanço, deve estar conforme os objetivos traçados para o estudo e é de suma importância que se registre todas as informações coletadas e as considerações estabelecidas neste procedimento (ABNT, 2009a; 2009b).

Para o cálculo da energia embutida dos sistemas prediais hidráulicos em foco, são considerados os tipos e quantidades de seus materiais constituintes. Para cada um haverá um coeficiente de energia, conforme apresentado pela Equação 3.3 (MARINOSKI, 2010).

$$EE_{comp} = M * EE \tag{3.3}$$

Onde:

EE_{comp} : energia embutida em um componente do sistema, dada por (MJ);

M: massa do componente do sistema, em (Kg);

EE: energia embutida do componente predominante do material considerado, em (MJ/Kg).

Para o cálculo do EC, segue analogamente à Equação 3.3, a Equação 3.4 (MARINOSKI, 2010):

$$EC_{comp} = M * EC \quad (3.4)$$

Onde:

EC_{comp} : CO₂ equivalente embutido em um componente do sistema, dada por (Kg CO_{2eq});

M: massa do componente do sistema, em (Kg);

EC: CO₂ equivalente embutido do componente predominante do material considerado, em (KgCO_{2eq}/Kg).

Estas duas equações apresentadas permitem obter uma visão global de quais componentes são os principais responsáveis pelos maiores impactos ambientais gerados. Isto permite que as tomadas de decisão baseadas nessas informações, contribuam com a possível substituição dos componentes poluentes, ou a busca para a redução dessas emissões.

Ademais, aponta-se também as considerações feitas e as limitações do escopo deste estudo. Em relação ao banco de dados nacional, algumas considerações foram necessárias por falta de dados específicos e são descritos a seguir:

- Para as calhas de 125 mm, foram utilizados os valores de EE e de EC de tubulações de 150 mm;
- Tubos e conexões em que os valores de seus respectivos diâmetros não foram encontrados, verificou-se os valores de diâmetros próximos e adotou-se valores proporcionais ao diâmetro.

Estas considerações não afetaram a qualidade do resultado final dos cálculos realizados, já que os valores de EE e EC se assemelham para os elementos descritos.

A análise de inventário é a etapa em que serão buscados e avaliados os dados necessários para se realizar a ACV. Estes dados podem ser obtidos através de medições, cálculos ou estimativas, conforme sugerido pela ABNT NBR 14044 (2009), porém sua procedência deve ser apresentada e eles devem ser condizentes com a fronteira do sistema estabelecida para cada estudo.

Se comparada com as demais fases de uma ACV, a análise de inventário pode ser a que exige mais tempo e esforço no seu desenvolvimento, especialmente durante a obtenção das informações necessárias, devido à dificuldade de se encontrar os dados, bem como de se afirmar da qualidade dos mesmos. Em todos os casos podem ser relatados estes requisitos qualitativos a fim de estabelecer e explicitar as condições destas informações (ROY *et al.*, 2009; ABNT, 2009a).

Esta pesquisa se limita quanto às etapas de produção e operação do sistema (uso), as bases de dados adotadas abrangem, portanto, esta fronteira. O estudo se limita aos quantitativos aqui apresentados, para a realidade das bases de dados utilizadas.

A seguir é apresentada a Avaliação do Impacto Ambiental.

3.4.4. Interpretação dos resultados

A interpretação dos resultados retrata um comparativo entre os modelos dimensionados, identificando, a partir de indicadores propostos, qual cenário apresentaria condições mais ou menos favoráveis de implementação do sistema, levando em consideração os aspectos ambientais avaliados.

Tal análise se baseou somente nos dados tratados de saída da ACV, ou seja, a análise ocorreu apenas na avaliação comparativa entre os indicadores obtidos na etapa de Avaliação de Impacto, conforme realizado em Marinoski (2010), Marinoski; Ghisi (2011), Ward, Butler e Memom (2011), Devkota, Schlachter e Apul (2015, entre outros, conforme apresentado na revisão bibliográfica.

Para este trabalho, determinou-se 19 indicadores que pudessem contribuir com diversas abordagens diferentes. Eles podem ser agrupados da seguinte maneira:

- EE e EC: avaliar o quanto de EE ou de EC se encontra no volume de água pluvial utilizado, ou por área de captação, na massa total do SPAAP implementado, na massa

de elementos derivados do petróleo (que é uma fonte energética não renovável e que contribui com o aquecimento global), ou ainda na operação do sistema;

- Massa: avaliar o quanto de massa o SPAAP incrementa na habitação considerada, uma vez que a quantidade de massa aplicada ao sistema está diretamente relacionada com o aumento da EE e do EC nos cenários;
- Água Pluvial: o quanto de água pluvial o sistema tem potencial de disponibilizar para o usuário, diminuindo assim o consumo de uma água potável proveniente da concessionária para fins não nobres, apresentando um percentual de economia de água potável;

Os indicadores utilizados foram os seguintes:

Energia embutida por unidade habitacional (EE_{hab}) – mede a energia embutida em MJ para cada unidade habitacional. Este indicador é determinado pela Equação 3.5.

$$EE_{hab} = \frac{EE_{tot}}{N_{casas}} \quad (3.5)$$

Onde:

EE_{hab} : energia embutida por habitação, dada por (MJ);

EE_{tot} : energia embutida total do SPAAP, dada por (MJ);

N_{casas} : número de casas do cenário.

Energia embutida por volume de água pluvial ($EE_{\acute{a}gua}$) – mede a energia embutida em MJ para cada m^3 de água pluvial utilizada durante a vida útil do sistema. Este indicador é determinado pela Equação 3.6.

$$EE_{\acute{a}gua} = \frac{EE_{tot}}{V_{\acute{a}gua}} \quad (3.6)$$

Onde:

$EE_{\acute{a}gua}$: energia embutida por m^3 de água, dada por (MJ/ m^3);

EE_{tot} : energia embutida total do SPAAP, dada por (MJ);

$V_{\acute{a}gua}$: volume de água pluvial utilizada, dado em (m^3).

Energia embutida por área de captação (EE_{cap}) – mede a energia embutida em MJ para cada m^2 de área de captação de água pluvial disponível. Este indicador é determinado pela Equação 3.7.

$$EE_{cap} = \frac{EE_{tot}}{\text{Área de Captação}} \quad (3.7)$$

Onde:

EE_{cap} : energia embutida por área de captação do SPAAP, dada por (MJ/ m^2);

EE_{tot} : energia embutida total do SPAAP, dada por (MJ);

Área de Captação: área de captação do SPAAP, dada por (m^2).

Energia embutida de operação do SPAAP por habitação (EE_{ophab}) – mede a energia embutida de operação durante a vida útil do SPAAP em MJ para cada habitação. Este indicador é determinado pela Equação 3.8.

$$EE_{ophab} = \frac{EE_{op}}{N_{casas}} \quad (3.8)$$

Onde:

EE_{ophab} : energia embutida de operação do SPAAP por habitação, dada por (MJ);

EE_{op} : energia embutida de operação do SPAAP, dada por (MJ);

N_{casas} : número de casas do cenário.

Energia embutida por massa de material (EE_{massa}) – mede a energia embutida em MJ em cada quilograma de material utilizado na instalação do SPAAP. Este indicador é determinado pela Equação 3.9.

$$EE_{massa} = \frac{EE_{Tot}}{M_{SPAAP}} \quad (3.9)$$

Onde:

EE_{massa} : energia embutida por quilograma de material utilizado no SPAAP, dada por (MJ/Kg);

EE_{Tot} : energia embutida total do SPAAP, dada por (MJ);

M_{SPAAP} : massa total do SPAAP, dada por (Kg).

Energia embutida por massa de material derivado do petróleo (EE_{pet}) – mede a energia embutida em MJ em cada quilograma de material derivado de petróleo utilizado na instalação do SPAAP. Este indicador é determinado pela Equação 3.10.

$$EE_{pet} = \frac{EE_{Tot}}{M_{Pet}} \quad (3.10)$$

Onde:

EE_{pet} : energia embutida por quilograma de elemento derivado do petróleo, dada por (MJ/Kg);

EE_{Tot} : energia embutida total do SPAAP, dada por (MJ);

M_{Pet} : massa total de elementos derivados do petróleo, dada por (Kg).

Energia embutida de operação do SPAAP por volume de água pluvial (EE_{opvap}) – mede a energia embutida de operação durante a vida útil do SPAAP em MJ para cada m^3 de água pluvial utilizada durante a vida útil do sistema. Este indicador é determinado pela Equação 3.11.

$$EE_{opvap} = \frac{E_{op}}{V_{\acute{a}gua}} \quad (3.11)$$

Onde:

EE_{opvap} : energia embutida de operação em cada m^3 de água pluvial utilizada durante a vida útil do SPAAP, dada por (KWh/ m^3);

E_{op} : energia de operação do SPAAP durante sua vida útil, dada por (KWh);

$V_{\acute{a}gua}$: volume de água pluvial utilizada durante a vida útil do sistema, dada por (m^3).

Emissão de Dióxido de Carbono Equivalente Embutido por unidade habitacional (EC_{hab}) – De forma análoga ao EE_{hab} este indicador mede a quantidade de dióxido de carbono embutido equivalente em $KgCO_{2eq}$, para cada unidade habitacional. Este indicador é determinado pela Equação 3.12.

$$EC_{hab} = \frac{EC_{tot}}{N_{casas}} \quad (3.12)$$

Onde:

EC_{hab} : CO_2 equivalente embutido por habitação, dado por ($KgCO_{2eq}$);

EC_{tot} : CO₂ equivalente embutido total do SPAAP, dado por (KgCO_{2eq.});

N_{casas} : número de casas do cenário.

Emissão de Dióxido de Carbono Equivalente Embutido por volume de água pluvial ($EC_{\text{água}}$) – De forma análoga ao $EE_{\text{água}}$ este indicador mede a quantidade de dióxido de carbono embutido equivalente em KgCO_{2eq.} para cada m³ de água pluvial utilizada durante a vida útil do sistema. Este indicador é determinado pela Equação 3.13.

$$EC_{\text{água}} = \frac{EC_{tot}}{V_{\text{água}}} \quad (3.13)$$

Onde:

$EC_{\text{água}}$: CO₂ equivalente embutido por m³ de água, dado por (KgCO_{2eq./m³});

EC_{tot} : CO₂ equivalente embutido total do SPAAP, dado por (KgCO_{2eq.});

$V_{\text{água}}$: volume de água pluvial utilizada, dado em (m³).

Emissão de Dióxido de Carbono Equivalente Embutido por área de captação (EC_{cap}) – De forma análoga ao EE_{cap} este indicador mede a quantidade de dióxido de carbono embutido equivalente em KgCO_{2eq.} para cada m² de área de captação de água pluvial disponível. Este indicador é determinado pela Equação 3.14.

$$EC_{cap} = \frac{EC_{tot}}{\text{Área de Captação}} \quad (3.14)$$

Onde:

EC_{cap} : CO₂ equivalente embutido por área de captação do SPAAP, dado por (KgCO_{2eq./m²});

EC_{tot} : CO₂ equivalente embutido total do SPAAP, dado por (KgCO_{2eq.});

Área de Captação: área de captação do SPAAP, dada por (m²).

Emissão de Dióxido de Carbono Equivalente Embutido de operação do SPAAP por habitação (EC_{ophab}) – De forma análoga ao EE_{ophab} este indicador mede a quantidade de dióxido de carbono embutido equivalente em KgCO_{2eq.} de operação do SPAAP para cada habitação. Este indicador é determinado pela Equação 3.15.

$$EC_{Ophab} = \frac{EC_{Op}}{N_{casas}} \quad (3.15)$$

Onde:

EC_{Ophab} : CO₂ equivalente embutido de operação do SPAAP por habitação, dado por (KgCO_{2eq.});

EC_{Op} : CO₂ equivalente embutido de operação do SPAAP, dado por (KgCO_{2eq.});

N_{casas} : número de casas do cenário.

Emissão de Dióxido de Carbono Equivalente Embutido por massa de material (EC_{massa}) – De forma análoga ao EE_{massa} este indicador mede a quantidade de dióxido de carbono embutido equivalente em KgCO_{2eq.} por quilograma de material utilizado na instalação do SPAAP. Este indicador é determinado pela Equação 3.16.

$$EC_{massa} = \frac{EC_{Tot}}{M_{SPAAP}} \quad (3.16)$$

Onde:

EC_{massa} : CO₂ equivalente embutido por quilograma de material utilizado no SPAAP, dado por (KgCO_{2eq./Kg});

EC_{Tot} : CO₂ equivalente embutido total do SPAAP, dado por (KgCO_{2eq.});

M_{SPAAP} : massa total do SPAAP, dada por (Kg).

Emissão de Dióxido de Carbono Equivalente Embutido por massa de material derivado do petróleo (EC_{pet}) – De forma análoga ao EE_{pet} este indicador mede a quantidade de dióxido de carbono embutido equivalente em KgCO_{2eq.} por quilograma de material derivado de petróleo utilizado na instalação do SPAAP. Este indicador é determinado pela Equação 3.17.

$$EC_{pet} = \frac{EC_{Tot}}{M_{pet}} \quad (3.17)$$

Onde:

EC_{pet} : CO₂ equivalente embutido por quilograma de elemento derivado do petróleo, dado por (KgCO_{2eq./Kg});

EC_{Tot} : CO₂ equivalente embutido total do SPAAP, dado por (KgCO_{2eq.});

M_{pet} : massa total do SPAAP de elementos derivados do petróleo, dada por (Kg).

Emissão de Dióxido de Carbono Equivalente Embutido de operação do SPAAP por volume de água pluvial (EC_{opvap}) – De forma análoga ao EE_{opvap} este indicador mede a quantidade de dióxido de carbono embutido equivalente em $KgCO_{2eq}$ em cada m^3 de água pluvial utilizada durante a vida útil do sistema. Este indicador é determinado pela Equação 3.18.

$$EC_{opvap} = \frac{EC_{op}}{V_{\acute{a}gua}} \quad (3.18)$$

Onde:

EC_{opvap} : CO_2 equivalente embutido de operação para cada m^3 de água pluvial utilizada durante a vida útil do SPAAP, dado por ($KgCO_{2eq}/m^3$);

EC_{op} : CO_2 equivalente embutido de operação do SPAAP durante sua vida útil, dado por ($KgCO_{2eq}/m^3$);

$V_{\acute{a}gua}$: volume de água pluvial utilizada durante a vida útil do sistema, dada por (m^3).

Massa de material utilizado na instalação do SPAAP por habitação (M_{hab}) – mede a quantidade de massa, em quilogramas, de material utilizado na instalação do SPAAP por habitação. Este indicador é determinado pela Equação 3.19.

$$M_{hab} = \frac{M_{Tot}}{N_{Casas}} \quad (3.19)$$

Onde:

M_{hab} : massa total do SPAAP por habitação, dada por (Kg);

M_{Tot} : massa total do SPAAP, dado por (Kg);

N_{Casas} : número de casas do cenário.

Massa de material derivado de petróleo utilizado na instalação do SPAAP por habitação (PET_{hab}) – mede a quantidade de massa, em quilogramas, de material derivado do petróleo utilizado na instalação do SPAAP por habitação. Este indicador é determinado pela Equação 3.20.

$$PET_{hab} = \frac{M_{pet}}{N_{Casas}} \quad (3.20)$$

Onde:

PET_{hab} : massa de material derivado do petróleo utilizado na instalação do SPAAP por habitação, dada por (Kg);

M_{pet} : massa dos materiais derivados do petróleo, dada por (Kg);

N_{Casas} : número de casas do cenário.

Volume de água pluvial utilizada por habitação durante a vida útil do SPAAP (VAP_{hab}) – mede o volume de água pluvial em m^3 utilizada por habitação durante a vida útil do SPAAP. Este indicador é determinado pela Equação 3.21.

$$VAP_{hab} = \frac{V_{\acute{a}gua}}{N_{Casas}} \quad (3.21)$$

Onde:

VAP_{hab} : volume de água pluvial utilizada por habitação durante a vida útil do sistema, dada por (m^3);

$V_{\acute{a}gua}$: volume de água pluvial total utilizada pelo sistema durante sua vida útil, dada por (m^3);

N_{Casas} : número de casas do cenário.

Massa de material por volume de água pluvial (M_{vap}) – mede a massa de material utilizado na instalação do SPAAP para cada m^3 de água pluvial aproveitada durante a vida útil do sistema. Este indicador é determinado pela Equação 3.22.

$$M_{vap} = \frac{M_{Tot}}{V_{\acute{a}gua}} \quad (3.22)$$

Onde:

M_{vap} : massa de material utilizado na instalação do SPAAP para cada m^3 de água pluvial aproveitada durante a vida útil do sistema, dada por (Kg/ m^3);

M_{Tot} : massa total do SPAAP, dada por (Kg);

$V_{\acute{a}gua}$: volume de água pluvial utilizada durante a vida útil do sistema, dado por (m^3).

Percentual de economia de água (% ECON) – mede o percentual de água potável que pode ser substituída por água pluvial pela instalação do SPAAP. Este indicador é determinado pela Equação 3.23.

$$\% \text{ ECON.} = \frac{V_{\text{água}}}{V_{\text{pot}}} \times 100 \quad (3.23)$$

Onde:

% ECON.: percentual de água potável que pode ser substituída por água pluvial, dado em (%);

$V_{\text{água}}$: volume de água pluvial utilizada durante a vida útil do sistema, dado por (m^3);

V_{pot} : volume de água potável estimado utilizado durante a vida útil do sistema, dado por (m^3).

Estes indicadores sugeridos atuam com a proposta de auxiliar a comparação deste estudo com outras pesquisas afins, bem como possibilita realizar as análises comparativas entre os cenários indicados e as bases de dados utilizadas.

Uma vez, os indicadores definidos, realizou-se a comparação entre eles. Sendo assim, para fundamentar a avaliação dos resultados identificados e estabelecer uma logicidade na escolha entre os cenários propostos, optou-se por realizar uma análise de multicritérios simplificada. Para isto, tomou-se como estrutura de preferência entre os cenários o método multicritério de sobreclassificação. Esta ferramenta possibilita estabelecer uma priorização dentre as alternativas, de acordo com um conceito pré-estabelecido; que irá justificar a escolha de um determinado sistema em relação aos demais (CAMPOS, 2011).

Partindo-se da análise dos 19 indicadores ambientais, já explicitados no item 3.4.4, realizou-se uma classificação entre os 4 cenários propostos (individuais nacional e internacional e coletivos nacional e internacional), implementando uma predileção em relação ao cenário que apresentar menores índices de EE ou EC, menor quantidade de massa incluída no sistema e melhor percentual ou volume aproveitado de água pluvial. Evitando-se assim, os cenários que apresentarem características contrárias às citadas.

Ressalta-se que a comparação entre bases dos dados diferentes não tem a intenção de comparar os valores individuais das bases de dados e sim verificar a consistência dos dados provenientes de diferentes regiões.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Após a definição dos objetivos e escopo, das fronteiras do sistema avaliado, bem como das unidades funcional deste estudo, pode-se dar início à etapa de análise de inventário, avaliação dos impactos e interpretação dos resultados obtidos. Conforme estas definições apresentadas na metodologia, seguiu-se então para as 3 etapas subsequentes e os resultados obtidos em cada uma delas serão apresentados nesse capítulo. Estas etapas foram divididas pelo impacto medido, ou seja, pela determinação da energia embutida e da emissão de CO₂ equivalente dos materiais utilizados na composição do SPAAP. Após a determinação deste impacto, os dados obtidos são transformados em indicadores que permitirão realizar as análises comparativas. Ao final, a etapa de interpretação dos resultados é feita a partir de uma matriz de classificação dos indicadores. Estes resultados são apresentados nos itens que seguem.

4.1. ENERGIA EMBUTIDA

A determinação da energia embutida foi realizada conforme apresentado na metodologia e os valores obtidos e as análises realizadas são apresentados neste capítulo.

4.1.1. Análise de inventário e avaliação dos resultados

Realizou-se a análise do inventário baseado em duas bases de dados. Para apresentação dos resultados, dividiu-se este item em quatro grupos: tubulações, bombas, escavação e reservatório, por serem os elementos com maior representatividade no projeto de SPAAP proposto.

Seguindo este pressuposto, apresenta-se os dados de inventário e suas respectivas avaliações nos itens subsequentes.

A Tabela 4.1 apresenta os dados de EE adotados para as duas bases de dados e suas respectivas referências bibliográficas, incluindo os elementos instalados em ambos os cenários

Tabela 4.1 – EE para as bases de dados nacional e internacional

DESCRIÇÃO	BD Nacional		BD Internacional	
	EE MJ/kg	Referências EE	EE MJ/kg	Referências EE
ADAP. PVC SOLDAVEL CURTO 110 MM X 4" AF	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
ADAP. PVC SOLDAVEL CURTO 75 MM X 2 1/2" AF	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
ADAP. PVC SOLDAVEL 20 MM X 1/2"	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
ADAP. PVC SOLDAVEL 40 MM X 1 1/4" CX ÁGUA	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
ADAP. PVC SOLDAVEL 50 MM X 1 1/2" CX AGUA	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
ADAP. PVC SOLDAVEL 110 MM X 4" CX AGUA	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
ADAP. PVC SOLDAVEL 25 MM X 3/4" CX AGUA	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
BOMBA CENTRIF. MON. 0,50 CV Ø 3/4" X 3/4"	31,0	Marinoski (2010)	25,0	ICE (2008)
BOMBA CENTRIF. TRIFAS. 14,8 HP Ø 2 1/2" X 2"	31,0	Marinoski (2010)	25,0	ICE (2008)
BUCHA RED. PVC, SOLD. LONGA, Ø 40 X 25 MM AF	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
CAIXA D'AGUA EM POLIETILENO 500 L	95,0	Lobo (2010)	76,7	ICE (2008)
CALHA PVC, Ø 125 MM	80,0	Adaptado de Lobo (2010)	67,5	ICE (2008)
CAP PVC, Ø100 MM, SN ESGOTO	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
CAP PVC, SOLDAVEL Ø50 MM, SN ESGOTO	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
CURVA PVC, 45° SERIE R, Ø150 MM ESGOTO	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
CURVA PVC, 90° SERIE R, Ø100 MM ESGOTO	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
CURVA PVC, 90° SERIE R, Ø150 MM ESGOTO	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
CURVA PVC, 90° SERIE R, Ø75 MM ESGOTO	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
CURVA PVC, 45° SERIE R, Ø300 MM ESGOTO	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
CURVA PVC, 90° SERIE R, Ø300 MM ESGOTO	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
DIESEL ESCAVAÇÃO TOTAL ¹	37,0	Silva (2013)	8,5	Adaptado de Hsu (2011)
JOELHO PVC LEVE, 90°, Ø150 MM ESGOTO	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
JOELHO PVC LEVE, 90°, Ø200 MM ESGOTO	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
JOELHO PVC SOLD., 90°, Ø20 MM AF	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
JOELHO PVC SOLD., 90°, Ø25 MM AF	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
JOELHO PVC SOLD., 90°, Ø32 MM AF	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
JOELHO PVC SOLD., 90°, Ø50 MM AF	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
JOELHO PVC SOLD., 90°, Ø60 MM AF	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
JOELHO PVC, SOLD. LAT. 90°, 25 MM X 1/2" AF	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
JOELHO PVC, SOLD. LAT. 90°, 32MM X 3/4" AF	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
JOELHO PVC, SOLD. 90° Ø100 MM ESGOTO	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
JOELHO, PVC SOLDAVEL, 45 GRAUS, 20 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
JOELHO, PVC SOLDAVEL, 90 GRAUS, 75 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)

Tabela 4.1 (Continuação) – EE para as bases de dados nacional e internacional

DESCRIÇÃO (CONTINUAÇÃO)	BD Nacional		BD Internacional	
	EE MJ/kg	Referências EE	EE MJ/kg	Referências EE
JUNCAO SIMP PVC LEVE, 150 MM, ESG	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
JUNCAO, PVC, 45° Ø 200 MM ESG	80,0	Lobo (2010)	67,5	ICE (2008)
JUNCAO, PVC, 45° Ø 250 MM ESG	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
JUNCAO, PVC, 45° Ø 300 MM ESG	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
LUVA CORRER PVC, Ø 200 MM, ESGOTO	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
LUVA CORRER PVC, Ø 250 MM, ESGOTO	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
LUVA CORRER PVC, Ø 300 MM, ESGOTO	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
LUVA DE REDUCAO SOLD. PVC 60 MM X 50 MM AF	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
LUVA DUPLA, PVC LEVE, DN 200 MM	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
LUVA PVC SOLDAVEL, 20 MM, PARA AF	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
LUVA SIMPLES, PVC, SOLD., Ø100 MM SN ESG	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
LUVA SIMPLES, PVC, SOLD., Ø150 MM SN ESG	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
LUVA SIMPLES, PVC, SOLD., Ø75 MM SN ESG	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
REDUCAO PVC ESG 150 X 100MM	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
REDUCAO PVC ESG 200 X 150MM	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
REDUCAO PVC ESG 250 X 200MM	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
REDUCAO PVC ESG 300 X 250MM	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
REDUCAO PVC ESG 100 X 75MM	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
REGISTRO DE ESFERA, PVC, VS, SOLD. Ø 50 MM	71,6	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
REGISTRO DE ESFERA, PVC, VS, SOLD. Ø 60 MM	71,6	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
REGISTRO DE ESFERA, PVC, VS, ROSC. Ø 1/2" MM	71,6	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
REGISTRO DE ESFERA, PVC, VS, SOLD. Ø 20 MM	71,6	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
REGISTRO DE ESFERA, PVC, VS, SOLD. Ø 40 MM	71,6	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
RESERVATÓRIO CONCRETO ARMADO 27 m ³	1,70	Adaptado de Tavares (2006)	1,34	Adaptado de ICE (2008)
TE RED. PVC, SOLD. 90°, 40 MM X 32 MM, AF	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
TE PVC, ROSCAVEL, 90 GRAUS, 1 1/2", AF	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
TE PVC, ROSCAVEL, 90 GRAUS, 2", AF	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
TE PVC, SOLDAVEL, LAT.90°, 25 MM X 1/2", AF	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
TE SANITARIO, PVC, Ø100 X 100 MM, SN ESG	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
TE SOLDAVEL, PVC, 90°,50 MM, AF	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
TE, PVC LEVE, CURTO, 90 GRAUS, 150 MM, ESG	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
TE, PVC LEVE, CURTO, 90 GRAUS, 200 MM, ESG	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
TE, PVC, 90 GRAUS, Ø 300 MM, ESG	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
TE, PVC, SERIE R, 150 X 100 MM, ESG	80,0	Lobo (2010)	77,2	ICE (2008)
TUBO DE PVC ESG Ø200 MM	80,0	Lobo (2010)	67,5	ICE (2008)
TUBO DE PVC ESG Ø250 MM	80,0	Lobo (2010)	67,5	ICE (2008)

Tabela 4.1 (Continuação) – EE para as bases de dados nacional e internacional

DESCRIÇÃO	BD Nacional		BD Internacional	
	EE MJ/kg	Referências EE	EE MJ/kg	Referências EE
TUBO DE PVC ESG Ø300 MM	80,0	Lobo (2010)	67,5	ICE (2008)
TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 100 MM, ESG	80,0	Lobo (2010)	67,5	ICE (2008)
TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 150 MM, ESG	80,0	Lobo (2010)	67,5	ICE (2008)
TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 75 MM, ESG	80,0	Lobo (2010)	67,5	ICE (2008)
TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 20 MM, AF	80,0	Lobo (2010)	67,5	ICE (2008)
TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 25 MM, AF	80,0	Lobo (2010)	67,5	ICE (2008)
TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 32 MM, AF	80,0	Lobo (2010)	67,5	ICE (2008)
TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 40 MM, AF	80,0	Lobo (2010)	67,5	ICE (2008)
TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 50 MM, AF	80,0	Lobo (2010)	67,5	ICE (2008)
TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 60 MM, AF	80,0	Lobo (2010)	67,5	ICE (2008)
TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 75 MM, AF	80,0	Lobo (2010)	67,5	ICE (2008)
VÁLVULA SOLENOIDE	95,0	Marinoski (2010)	80,0	ICE (2008)

A qualidade e abrangência dos dados, bem como o processo de cálculo da EE de cada elemento e EE Total, foram obtidos de acordo com a metodologia apresentada. O resumo de todos os quantitativos encontra-se no Apêndice A.

Os valores totais obtidos nos cálculos de EE para os quatro grupos indicados são apresentados a seguir.

4.1.1.1. EE das tubulações

O subsistema de tubulação foi dividido para cada configuração em duas partes. A primeira refere-se desde a coleta e condução da água pluvial precipitada, até o reservatório inferior. A segunda corresponde à tubulação de recalque e de distribuição, até o reservatório superior e deste até os pontos de uso final. Além dos tubos e conexões, considerou-se para a parte de coleta, as calhas e o descarte. Já na parte de distribuição, contabilizou-se também as válvulas solenoides e registros.

É importante ressaltar que a contribuição da parcela da tubulação corresponde somente na fase pré-operacional, conforme definido por Tavares (2006). A Tabela 4.2 apresenta a EE das tubulações conforme a Base de Dados Nacional, para as etapas de coleta e distribuição da água pluvial captada.

Tabela 4.2 – EE das tubulações para a base de dados nacional

BASE DE DADOS NACIONAL						
	INDIVIDUAL			COLETIVO		
	EE (MJ)	%	% REL.	EE (MJ)	%	% REL.
COLETA	116.344,28	89%	100%	137.743,40	89%	100%
Calhas	38.693,12	30%	33%	38.693,12	25%	28%
Tubos	72.352,76	56%	62%	94.249,48	61%	68%
Conexões	5.298,40	4%	5%	4.800,80	3%	3%
DISTRIBUIÇÃO	13.748,16	11%	100%	16.550,21	11%	100%
Tubos	3.804,78	3%	28%	5.856,47	4%	35%
Conexões	4.670,88	4%	34%	5.421,24	4%	33%
Válvula Solenoide	5.272,50	4%	38%	5.272,50	3%	32%
TOTAL	130.092,44	100%		154.293,61	100%	

Verifica-se pela análise dos dados apresentados pela Tabela 4.2 que o cenário individual apresenta um valor de EE Total 16% menor se comparado com o cenário coletivo. Este fato se deve às dimensões e comprimentos utilizados no segundo cenário citado, apresentando diâmetros muito superiores aos aplicados no cenário individual. Vale ressaltar que os tubos exercem grande peso no valor da EE, totalizando 59% para o cenário individual e 65% para o coletivo, isto se deve especialmente à quantidade utilizada desses elementos.

Outro aspecto importante se refere quanto à válvula solenoide, que apresentou um valor percentual de EE próximo aos valores das conexões. Verifica-se isto a partir da massa do elemento. Conforme explicado na metodologia, considerou-se para itens mais complexos o seu material componente principal, sendo neste caso o latão, que naturalmente possui uma densidade maior que o PVC. Além disso a EE/Kg do latão é mais de 15% maior que a média da EE/Kg do PVC apresentado neste trabalho.

Por fim avaliando os subsistemas de coleta e distribuição, em ambos os cenários verificou-se que a coleta apresenta um peso no sistema de quase 90%. Para além dos diâmetros do subsistema de coleta serem consideravelmente maiores que o da distribuição, uma vez que o

primeiro funciona como conduto livre, este ainda inclui as calhas, totalizando um comprimento de pouco mais de 16 metros por residência.

Para a Base de Dados Internacional, avaliações análogas podem ser realizadas, conforme apresentada pela Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – EE das tubulações para as bases de dados nacional e internacional para o cenário coletivo

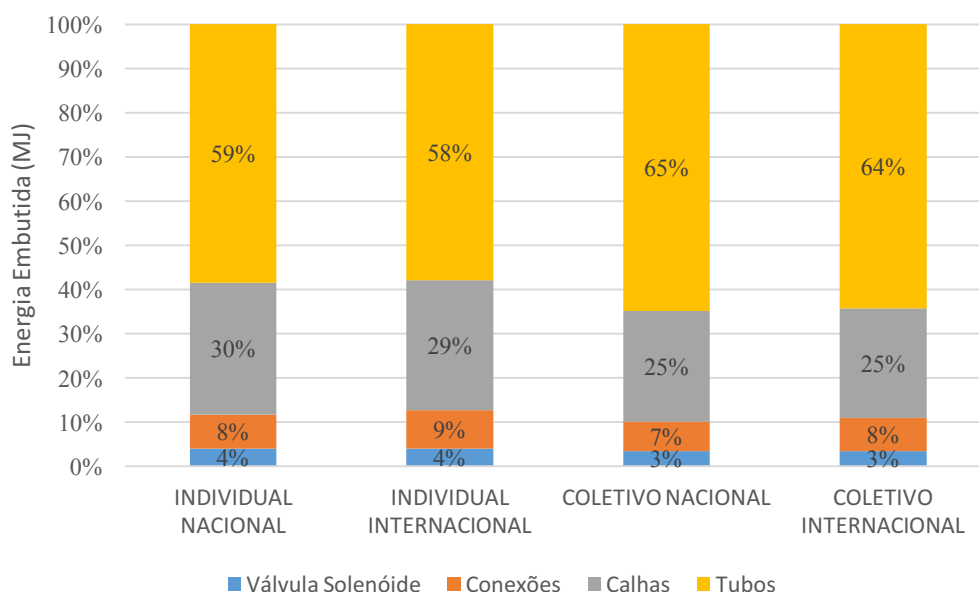
BASE DE DADOS INTERNACIONAL						
	INDIVIDUAL			COLETIVO		
	EE (MJ)	%	% REL.	EE (MJ)	%	% REL.
COLETA	98.807,92	89%	100%	116.802,51	89%	100%
Calhas	32.647,32	29%	33%	32.647,32	25%	28%
Tubos	61.047,64	55%	62%	79.523,00	60%	68%
Conexões	5.112,96	5%	5%	4.632,19	4%	4%
DISTRIBUIÇÃO	12.489,66	11%	100%	14.733,67	11%	100%
Tubos	3.422,29	3%	27%	4.941,40	4%	34%
Conexões	4.627,37	4%	37%	5.352,28	4%	36%
Válvula Solenoide	4.440,00	4%	36%	4.440,00	3%	30%
TOTAL	111.297,57	100%		131.536,18	100%	

Analisando a Tabela 4.3 para a base de dados internacional, verifica-se que o cenário individual apresentou um valor 15% menor que o cenário coletivo. Diferença bem próxima à encontrada para a mesma avaliação realizada nestes cenários utilizando-se da base de dados nacional. Mesmo partindo-se de dados internacionais, as proporções entre os quatro grupos permaneceram, em que os tubos apresentaram grande peso na EE Total do sistema das tubulações.

No que se refere ao valor total, o uso de uma base internacional reduziu o valor da EE nas tubulações em torno de 14%, tanto para a configuração individual como coletiva, quando comparada com a base nacional utilizada.

A Figura 4.1 apresenta os percentuais de contribuição de cada elemento que compõe o grupo das tubulações, incluindo ambas as Bases de Dados e cenários propostos.

Figura 4.1 – EE Percentual das tubulações



Analisando a Figura 4.1, verifica-se para os elementos constituintes do grupo das tubulações, uma distribuição proporcional dos seus valores percentuais de contribuição, tanto em cenários individuais e coletivos como quando comparadas as bases de dados nacional e internacional.

Ao avaliar o grupo de tubos, no entanto, que na configuração coletiva, estes materiais possuem uma maior contribuição, independente da base de dados adotada. A diferença atinge valores de 6% comparando os cenários em ambas as bases, pois o fator que atua neste caso, conforme explicado, são as dimensões e diâmetros determinados para o sistema coletivo, impactando nos valores finais de EE.

Outro item importante para a análise do EE é a construção dos reservatórios, conforme descrito no próximo item.

4.1.1.2. EE dos reservatórios

Nos sistemas de captação de água pluvial desse estudo, para ambos os cenários apresentados, são necessários reservatórios inferiores e superiores, como já apresentado na etapa de

caracterização do Estudo de Caso, no capítulo de Metodologia. Para o cenário individual, dimensionou-se um reservatório inferior de polietileno de alta densidade de 500 L e para o cenário coletivo um reservatório inferior de concreto armado de 27 m³. A contribuição da EE dos reservatórios considerada, se dá somente na fase pré-operacional (TAVARES, 2006).

Em ambos os cenários o reservatório superior é de 500 L, também em PEAD, adequando-se ao projeto original fornecido pelo engenheiro responsável pela obra do condomínio adotado. Dessa forma, optou-se por utilizar para o reservatório superior, um local de reservação análogo ao adotado originalmente ao projeto.

Ainda, conforme explicitado na metodologia, para elementos mais complexos utilizados no SPAAP – tais como as bombas e a válvula solenoide – foram contabilizados para o seu valor de EE apenas o elemento de seu componente principal. No entanto, para o reservatório de concreto observou-se que seria relevante considerar não somente o concreto, mas também outros elementos importantes, como o lastro de brita e a armação. A Tabela 4.4 apresenta os dados utilizados – para ambas as bases de dados – no cálculo da EE do reservatório inferior de concreto.

Tabela 4.4 – EE dos elementos que compõem o reservatório de concreto armado

ELEMENTO	MASSA (kg)	BASE DE DADOS NACIONAL		BASE DE DADOS INTERNACIONAL	
		EE (MJ/Kg)	EE TOTAL (MJ)	EE (MJ/Kg)	EE TOTAL (MJ)
Concreto	16.665,00	1,20	19.998,00	0,95	15.831,75
Armação Aço CA 50	367,73	31,00	11.399,63	24,60	9.046,16
Lastro de Brita	1.614,11	0,15	242,12	0,10	161,41
EE (MJ/Kg) DO RES. CONCRETO ARMADO			1,70		1,34

A partir da Tabela 4.4 é possível observar que o elemento que tem o maior peso de EE é o aço, com o valor de 31 MJ/Kg para a Base de Dados Nacional e de 24,6 MJ/Kg para a Base de Dados Internacional. No entanto a massa do concreto é a que exerce maior contribuição para a EE do Reservatório de concreto, sendo responsável por mais de 60% da massa total do reservatório.

É válido ressaltar que para o concreto usinado de FCK igual à 15 MPa, Lobo (2010) traz o valor de EE igual à 10,22 MJ/Kg de material, valor quase 10 vezes maior que o apresentado na Tabela 4.4. Esse valor apresentado por Lobo (2010) traria uma contribuição final do reservatório de

concreto visivelmente maior que a encontrada. No entanto a base de dados ICE apresenta apenas valores de EE para o concreto executado manualmente. Com o objetivo de padronizar as comparações entre as bases de dados e torna-las passíveis de comparações plausíveis, o valor do concreto adotado para a base de dados nacional, foi o valor apresentado na Tabela 4.4, proveniente da pesquisa de Tavares (2006).

Isto posto, a Tabela 4.5 apresenta os dados de EE para ambas as configurações de reservatório.

Tabela 4.5 – EE dos reservatórios para a base de dados nacional

	BASE DE DADOS NACIONAL					
	MASSA TOTAL (Kg)	EE (MJ/Kg)	INDIVIDUAL		COLETIVO	
			EE (MJ)	%	EE (MJ)	%
RES. INF. PEAD	388,50	95,00	36.907,50	50%	-	-
RES. INF. CONCR.	18.646,84	1,70	-	-	31.639,75	46%
RES. SUP. PEAD	388,50	95,00	36.907,50	50%	36.907,50	54%
TOTAL			73.815,00	100%	68.547,25	100%

Analisando-se os dados apresentados pela Tabela 4.5 verifica-se que mesmo com um valor de EE do concreto muito abaixo do valor sugerido por Lobo (2010), o valor final de EE dos reservatórios não apresentaram grandes discrepâncias, uma vez que a massa do reservatório de concreto é quase 48 vezes maior que o somatório dos 37 reservatórios inferiores do cenário individual.

Esta mesma observação pode ser feita sob a perspectiva da base de dados internacional, conforme apresentado pela Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – EE dos Reservatórios para a Base de Dados Internacional

BASE DE DADOS INTERNACIONAL						
	MASSA TOTAL	EE (MJ/Kg)	INDIVIDUAL		COLETIVO	
			EE (MJ)	%	EE (MJ)	%
RES. INF. PEAD	388,50	76,70	29.797,95	50%	-	-
RES. INF. CONCR.	18.646,84	1,34	-	-	25.039,32	46%
RES. SUP. PEAD	388,50	76,70	29.797,95	50%	29.797,95	54%
TOTAL			59.595,90	100%	54.837,27	100%

O cenário coletivo, mesmo com uma massa bem superior em relação aos reservatórios de PEAD, apresentou valores de EE menores que o do cenário individual, para ambas as bases de dados utilizadas. Isto ocorre pois reservatórios compostos de polietileno exercem uma contribuição de EE por quilograma de material, torno de 56% (para as duas bases de dados) maior que a apresentada pelo reservatório de concreto, quando comparados os seus valores de EE por quilograma de material, como pode ser verificado nas Tabelas 4.5 e 4.6.

Apesar dessa grande diferença entre os valores de EE de cada material, verificou-se que para o sistema coletivo, os tipos de reservatório apresentaram uma discrepância de 14% para a Base de Dados Nacional e 16% para a Base de Dados Internacional. Além disso, as diferenças de EE entre os cenários individual e coletivo estão acima dos 92% para ambas as bases de dados.

A avaliação quanto ao diesel utilizado para a escavação é apresentada no item a seguir.

4.1.1.3. EE da escavação

Na etapa de quantificar todos os elementos e materiais considerados no escopo deste estudo verificou-se que o volume de escavação foi de 600 m³ para cenário coletivo, enquanto que para o cenário individual esse valor foi de 448 m³. Este contexto abrange as valas necessárias para a instalação das tubulações, incluindo também as necessárias para a instalação dos reservatórios

enterrados. Considerou-se a produtividade da retroescavadeira de 150 metros lineares para 8 horas diárias de trabalho, conforme verificado *in loco*⁵.

A partir do volume de escavação necessário para cada cenário, verificou-se que para o cenário individual seriam necessárias 46 horas trabalhadas com o uso da retroescavadeira e para o coletivo 50 horas. Adotando o consumo sugerido por Vieira (2011) de 9 litros por hora de funcionamento da retroescavadeira, o volume de escavação necessária, na execução do SPAAP proposto, corresponde a um uso de 450 L de diesel para o cenário coletivo e de 414 L para o individual.

Para a composição da EE, portanto, é considerado, para o processo de escavação, o volume de diesel utilizado-o para realizar o serviço necessário. Em relação à etapa que este processo compreende, assim como os demais já apresentados, apenas a fase pré-operacional da LCA.

Dessa forma, optou-se por segmentar as avaliações para EE da escavação em três grupos: escavação para o subsistema de coleta, escavação para os subsistemas de distribuição e escavação dos reservatórios inferiores – para ambos os cenários de SPAAP adotados no estudo. Para o cenário individual, a coleta corresponde a 54% do total a ser escavado, seguida pela distribuição com 30% e os 17% finais correspondendo à escavação do reservatório inferior. Para o cenário coletivo, a distribuição apresenta o maior percentual de escavação, sendo este igual à 56%, 38% para a coleta e os 6% restantes para a instalação do reservatório de concreto.

A Tabela 4.7 apresenta os dados de EE para o diesel, indicando os cenários, as bases de dados e os grupos de escavação, bem como o valor total de EE deste item.

Tabela 4.7 – EE da Escavação

	BASE DE DADOS NACIONAL				BASE DE DADOS INTERNACIONAL			
	INDIVIDUAL		COLETIVO		INDIVIDUAL		COLETIVO	
	EE	%	EE	%	EE	%	EE	%
COLETA	8.234,53	54%	6.347,86	38%	1.883,48	54%	1.451,94	38%
DISTRIBUIÇÃO	4.553,66	30%	9.359,79	56%	1.041,56	30%	2.140,86	56%
RES. INF.	2.529,81	17%	942,35	6%	578,64	17%	215,54	6%
TOTAL	15.318,00	100%	16.650,00	100%	3.503,68	100%	3.808,35	100%

⁵ Dados obtidos da contratadora do projeto apresentado no estudo de caso.

A primeira análise que se pode realizar é quanto às bases de dados, devido à considerável discrepância entre os valores de ambas para os dois cenários propostos. Isso se deve à EE por massa do diesel, proposta por Silva (2013), ser pouco mais de 4 vezes o valor de EE por massa proposto por Hsu (2011). Dessa forma, percebe-se que a diferença de EE total entre as bases de dados mantém essa mesma proporção de pouco mais de 4 vezes entre os valores totais de EE.

Comparando-se os cenários, verificou-se que independente do banco de dados utilizado, o cenário coletivo apresenta um valor de EE total 8% maior que o cenário individual. No cenário individual, a maior contribuição é na escavação da coleta, enquanto que para o cenário coletivo é o subsistema de distribuição.

Por fim, identificou-se que a escavação dos reservatórios é mais representativa no cenário individual, sendo seu valor de EE quase 3 vezes maior que o dos cenários coletivos. Isto é justificado pela quantidade de reservatórios inferiores que são disponibilizados no cenário individual, 37 contra um grande reservatório para o sistema coletivo.

O próximo item apresenta os valores de EE para as bombas.

4.1.1.4. EE das bombas

Dos quatro grupos criados para a análise de inventário – tubulações, reservatórios, escavação e bombas – as bombas são os únicos elementos que contribuem não somente na fase pré-operacional deste estudo, como também exerce toda a contribuição da fase operacional do sistema. Devido à complexidade da bomba como elemento do sistema, considerou-se para seu valor de EE (MJ/Kg) como sendo o valor de EE apresentado pelo ferro fundido, que é o material que apresenta o maior percentual na composição das bombas, conforme apresentado pelo fabricante (SCHNEIDER, 2017) e sugerido por Marinoski (2010).

A Tabela 4.8 apresenta dos dados de EE para ambos os cenários e Bases de Dados, para as fases pré-operacional e operacional.

Tabela 4.8 – EE das bombas

	BASE DE DADOS NACIONAL				BASE DE DADOS INTERNACIONAL			
	INDIVIDUAL		COLETIVO		INDIVIDUAL		COLETIVO	
	EE (MJ)	%	EE (MJ)	%	EE (MJ)	%	EE (MJ)	%
PRÉ-OPER.	18.352,00	7%	992,00	2%	14.800,00	6%	800,00	1%
OPERAC.	237.522,24	93%	58.320,00	98%	237.522,24	94%	58.320,00	99%
TOTAL	255.874,24	100%	59.312,00	100%	252.322,24	100%	59.120,00	100%

Verifica-se que em todos os casos, a etapa que teve a maior parcela de contribuição para a EE foi a operacional. Atingindo em torno de 94% para os cenários individuais e de quase 100% para os cenários coletivos. Isto porque esta etapa considera o funcionamento diários destes equipamentos ao longo de toda a vida útil do sistema, totalizando 20 anos (ABNT, 2007). Apesar de, na etapa pré-operacional ser considerada a reposição das bombas ao final de sua vida útil, igual a 10 anos, conforme sugerido pelo SINDUSCONJP, (2010) e aplicado por Marinoski (2010), mesmo assim o impacto da etapa pré-operacional permanece muito pequeno se comparado com a etapa operacional, chegando a ser quase irrisório no cenário coletivo.

O cenário coletivo apresenta ainda, um valor 77% menor que o cenário individual, para ambas as Bases de Dados, trata-se não somente da quantidade de bombas utilizadas para o SPAAP Individual, como também do consumo mensal das bombas utilizadas neste período. Neste cenário, as 37 bombas são de 1/3 cv, 8 quilogramas cada e funcionam diariamente durante uma hora, resultando em um consumo mensal total de 274,91 KWh e uma massa total durante a vida útil de 592 Kg.

Em contrapartida, para o SPAAP Coletivo, serão utilizadas apenas 2 bombas para o mesmo período de 20 anos. No contexto do cenário coletivo, a bomba utilizada tem a potência de 1 cv, 16 Kg cada e seu funcionamento diário tem a duração de 3 horas, o que resulta em um consumo mensal de 67,5 KWh e uma massa total durante a vida útil de 32 Kg.

Isto significa que em relação à etapa de fabricação, a massa total das bombas do cenário individual é 18,5 vezes maior que a massa total das bombas utilizadas no cenário coletivo, resultando assim em uma EE de fabricação do cenário individual 95% maior que a do cenário coletivo e fazendo com que a etapa pré-operacional seja bem mais representativa no cenário individual. Além disso, para a fase de uso do sistema, devido ao consumo das bombas do

cenário individual ser 75% maior que o cenário coletivo, resultou conseqüentemente em uma EE da fase operacional, também 75% maior para o primeiro cenário.

Finalizada as avaliações dos principais grupos contribuintes para a EE Total do sistema, o conjunto total de EE será avaliado no item que segue.

4.1.2. Avaliação de impacto

Após a apresentação dos pormenores de EE de todos os elementos que compõem o SPAAP proposto para cada cenário, analisa-se, nesta etapa de avaliação de impacto, a energia embutida dos sistemas como um todo.

A Tabela 4.9 apresenta os valores de EE para os cenários individual e coletivo, utilizando-se a base de dados nacional.

Tabela 4.9 – EE para a Base de Dados Nacional

BASE DE DADOS NACIONAL						
PRODUÇÃO	CENÁRIO INDIVIDUAL			CENÁRIO COLETIVO		
	EE TOTAL (MJ)	% DE IMPACTO	% RELATIVO	EE TOTAL (MJ)	% DE IMPACTO	% RELATIVO
Materiais						
Tubulações	130.092,44	27%	55%	154.293,61	52%	64%
Reservatórios	73.815,00	16%	31%	68.547,25	23%	29%
Bombas	18.352,00	4%	8%	992,00	0%	0%
Processos Construtivos						
Escavação (Diesel)	15.318,00	3%	6%	16.650,00	6%	7%
TOTAL PRODUÇÃO	237.577,44	50%	100%	240.482,86	80%	100%

Tabela 4.9 (Continuação) – EE para a Base de Dados Nacional

BASE DE DADOS NACIONAL						
	CENÁRIO INDIVIDUAL			CENÁRIO COLETIVO		
OPERAÇÃO	EE TOTAL (MJ)	% DE IMPACTO	% RELATIVO	EE TOTAL (MJ)	% DE IMPACTO	% RELATIVO
Bombas	237.522,24	50%	100%	58.320,00	20%	100%
TOTAL OPERAÇÃO	237.522,24	50%	100%	58.320,00	20%	100%
TOTAL GLOBAL	475.099,68	100%	-	298.802,86	100%	-

Partindo dos resultados apresentados na Tabela 4.9, é possível verificar que o impacto total, abrangendo as duas etapas consideradas no escopo do estudo, é 37% maior para o cenário individual se comparado com o cenário coletivo, considerando a base de dados nacional.

Do ponto de vista das duas etapas analisadas (pré-operacional e operacional) verificou-se que o coletivo é 1,2% maior que o individual no momento do pré-operacional. Já no operacional, verificou-se que o individual é 75% maior do que o coletivo, sendo o responsável por 50% do total da EE do sistema individual.

A questão do impacto da etapa operacional no SPAAP individual pode ser observada ao se analisar o consumo energético das bombas. O funcionamento do SPAAP Individual necessita de 37 horas diárias, considerando 1 hora de funcionamento por bomba de 1/3CV, o que totaliza quase 66 MWh durante a vida útil do sistema. Já no coletivo, ocorrerá o funcionamento da bomba de 1 CV por 3 horas diárias resultando uma potência consumida de 16 MWh, para um mesmo período, valor este 75% inferior ao do individual.

Por fim, verificou-se que dos materiais utilizados na composição dos SPAAPs, as tubulações são as que exercem a maior contribuição de EE em ambos os cenários, sendo mais significativa, no entanto, no cenário coletivo, correspondendo com mais de 50% do valor final da EE deste cenário. Nesta sequência, identificou-se os reservatórios como o segundo elemento com a maior contribuição, em torno dos 20% para ambos os cenários.

Essas mesmas análises podem ser observadas, também, ao comparar-se os cenários propostos em que, no entanto, aplicou-se os valores de EE provenientes da base de dados internacional, conforme identifica-se na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – EE para a Base de Dados Internacional

BASE DE DADOS INTERNACIONAL						
	CENÁRIO INDIVIDUAL			CENÁRIO COLETIVO		
PRODUÇÃO	EE TOTAL (MJ)	% DE IMPACTO	% RELATIVO	EE TOTAL (MJ)	% DE IMPACTO	% RELATIVO
 Materiais						
Tubulações	111.085,57	26%	59%	131.536,18	53%	69%
Reservatórios	59.595,90	14%	32%	54.837,27	22%	29%
Bombas	14.800,00	3%	8%	800,00	0%	0%
 Processos Construtivos						
Escavação (Diesel)	3.503,68	1%	2%	3.808,35	2%	2%
TOTAL PRODUÇÃO	188.985,15	44%	100%	190.981,80	77%	100%
OPERAÇÃO	EE TOTAL (MJ)	% DE IMPACTO	% RELATIVO	EE TOTAL (MJ)	% DE IMPACTO	% RELATIVO
Bombas	237.522,24	56%	100%	58.320,00	23%	100%
TOTAL OPERAÇÃO	237.522,24	56%	100%	58.320,00	23%	100%
TOTAL GLOBAL	426.507,39	100%	-	249.301,80	100%	-

Pela Tabela 4.10 identificou-se que em relação ao impacto total o cenário individual atingiu um valor 42% maior que o cenário coletivo. Diferença maior que a identificada entre os cenários pela base de dados nacional.

Em relação às etapas do escopo – pré-operacional e operacional – foi possível identificar que, assim como verificado nos cenários nacionais, para a base de dados internacional a etapa de fabricação do sistema coletivo apresenta o valor de EE 1% maior que a do sistema individual.

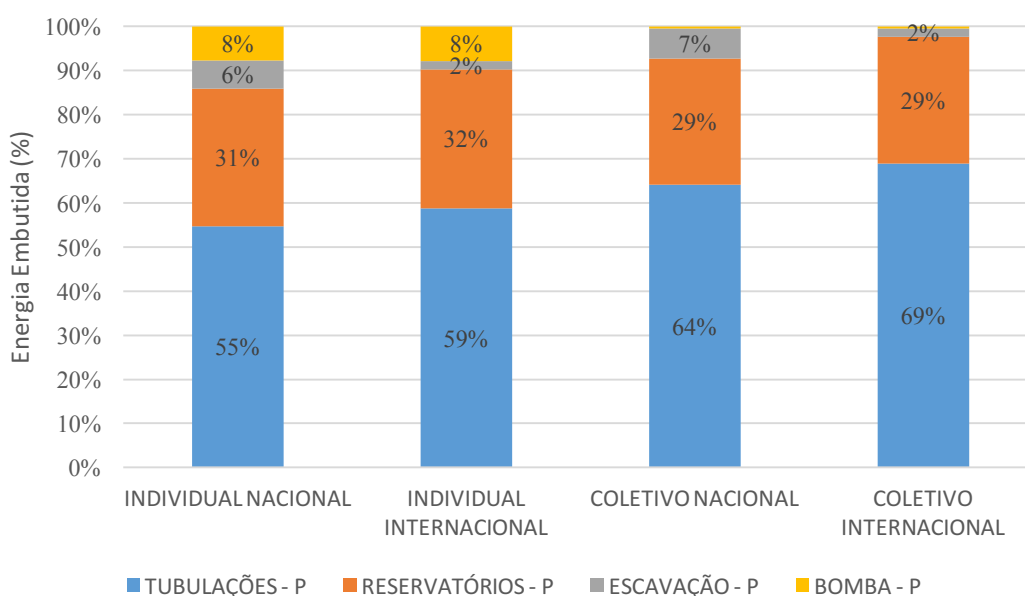
Para a etapa operacional, o cenário individual apresenta um valor 75% maior que o cenário coletivo. Para o cenário individual, a operação das bombas contribui com 56% de toda a EE do sistema, enquanto que no cenário coletivo a contribuição da etapa de operação corresponde a 23% de toda a EE.

O impacto da etapa operacional é verificado ao se analisar o consumo energético das bombas ao longo da vida útil do SPAAP, conforme explicado anteriormente (para a base de dados nacional), uma vez que independente da base de dados, os consumos de energia serão os mesmos. Sendo quase 66 MWh para o cenário individual e 16 MWh para o coletivo.

Finalmente em relação aos materiais, para a base de dados internacional as tubulações também são os elementos que participam com a maior contribuição de EE em ambos os cenários, chegando a ser mais de duas vezes maior que a contribuição exercida pelos reservatórios, o segundo colocado nesta classificação.

Realizando o comparativo entre as duas bases de dados adotadas, a Figura 4.2 apresenta para a fase pré-operacional (P), a contribuição em percentual de cada um dos elementos considerados nos sistemas.

Figura 4.2 – EE percentual para a etapa pré-operacional

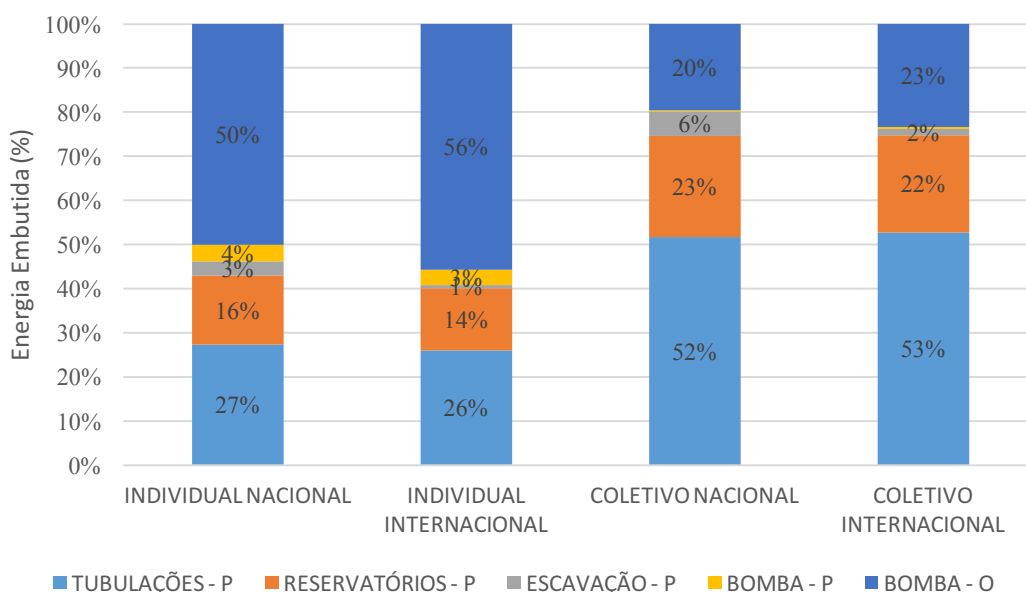


Pelas informações estabelecidas e expostas na Figura 4.2, foi possível identificar que as tubulações é o elemento que promove a maior contribuição de EE nas quatro circunstâncias propostas, com mais de 55% em todas elas. Seguido, igualmente proporcional, pela contribuição dos reservatórios.

A fase de produção das bombas é basicamente desconsiderável percentualmente nos cenários coletivos. Além disso, para os cenários em que se utiliza as bases de dados internacionais, a escavação é pouco impactante, uma vez que seu valor unitário de EE do diesel é 4,3 vezes menor que o apresentado pela base de dados nacional.

Ao realizar a análise de EE para o conjunto, considerando a etapa operacional (O), a Figura 4.3 esclarece alguns aspectos.

Figura 4.3 – EE Percentual para todo o sistema

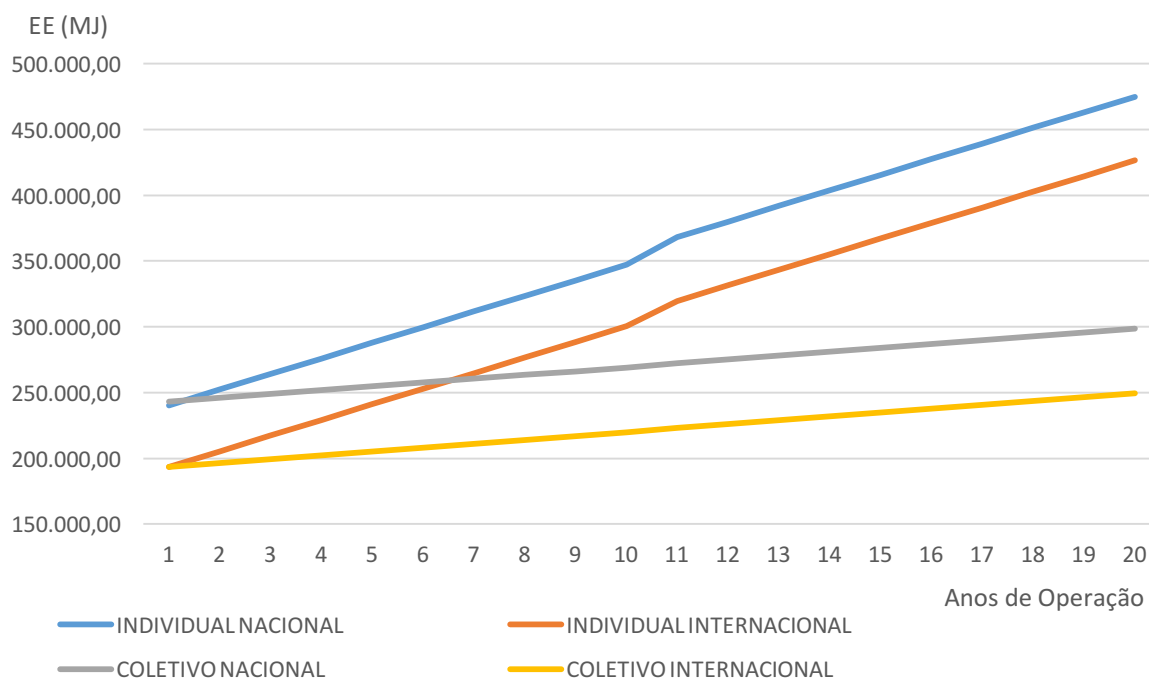


O primeiro aspecto é que a operação das bombas é bastante impactante, no que se diz respeito especialmente para os cenários individuais, em que está em torno de 50% para as duas bases de dados. Para os cenários coletivos, apesar da operação das bombas apresentar um percentual de EE menor, ele alcança em média 1/5 de contribuição.

O segundo aspecto que verificou-se é, mais uma vez, a expressiva contribuição das tubulações para a EE dos sistemas.

A Figura 4.4 traz a contribuição de EE acumulada anualmente durante a vida útil do SPAAP, considerando o funcionamento diário das bombas, conforme apresentado no capítulo de metodologia.

Figura 4.4 – EE acumulada no decorrer da vida útil dos SPAAPs



Como pode ser observado na Figura 4.4, verificou-se que o maior valor inicial de EE total é a do sistema coletivo para a base de dados nacional, e a base de dados internacional aplicada ao cenário individual, é a que apresenta o menor valor de EE. Estes valores iniciais não constam a EE de funcionamento das bombas. Ao considerar esta energia, verifica-se que as energias embutidas dos sistemas individuais ultrapassam os valores do sistema coletivo. Esta inversão ocorre por volta dos 15,5 meses para a base de dados nacional e aos 12 meses para a base de dados internacional.

Considerou-se que haveria uma troca das bombas no 11º ano do sistema. Mesmo assim, o cenário coletivo apresenta um valor de EE menor que o do cenário individual, independente da base de dados avaliada.

Posteriormente à obtenção desses valores, foram calculados os indicadores propostos para a unidade funcional, conforme desenvolvidos na metodologia. Esses indicadores possibilitam a realização das análises comparativas entre os sistemas através de uma unidade pré-estabelecida,

bem como podem atuar na contribuição de avaliações comparativas com estudos futuros e serão apresentados no item de interpretação dos resultados.

4.2. DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE EMBUTIDO

Assim como foi realizada a avaliação de EE dos cenários individual e coletivo, para as bases de dados nacional e internacional, realizou-se também algumas análises a respeito das emissões equivalentes de dióxido de carbono embutido – EC – para os elementos componentes do SPAAP projetado para o estudo de caso adotado neste trabalho.

4.2.1. Análise de inventário e avaliação dos resultados

Para a etapa de análise de inventário com foco no dióxido de carbono equivalente embutido, separou-se o sistema nos mesmos grupos indicados para a avaliação de EE: tubulações, bombas, escavação e reservatório.

Desta forma, apresenta-se nos itens subsequentes os dados de inventário e as avaliações realizadas.

A Tabela 4.11 Apresenta os dados de EC adotados para as duas bases de dados e suas respectivas referências bibliográficas, incluindo todos os elementos considerados para ambos os cenários propostos.

Tabela 4.11 – EC para as bases de dados nacional e internacional

DESCRIÇÃO	BD Nacional		BD Internacional	
	EC KgCO _{2eq} /kg	Referências EC	EC KgCO _{2eq} /kg	Referências EC
ADAP. PVC SOLDABEL CURTO 110 MM X 4" AF	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
ADAP. PVC SOLDABEL CURTO 75 MM X 2 1/2" AF	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
ADAP. PVC SOLDABEL 20 MM X 1/2"	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
ADAP. PVC SOLDABEL 40 MM X 1 1/4" CX ÁGUA	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
ADAP. PVC SOLDABEL 50 MM X 1 1/2" CX AGUA	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
ADAP. PVC SOLDABEL 110 MM X 4" CX AGUA	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
ADAP. PVC SOLDABEL 25 MM X 3/4" CX AGUA	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
BOMBA CENTRIF. MON. 0,50 CV Ø 3/4" X 3/4"	3,07	Adaptado de Tavares (2006)	1,91	ICE (2008)

Tabela 4.11 (Continuação) – EC para as bases de dados nacional e internacional

DESCRIÇÃO	BD Nacional		BD Internacional	
	EC KgCO _{2eq} /kg	Referências EC	EC KgCO _{2eq} /kg	Referências EC
BOMBA CENTRIF. TRIFAS. 14,8 HP Ø 2 1/2" X 2"	3,07	Adaptado de Tavares (2006)	1,91	ICE (2008)
BUCHA RED. PVC, SOLD. LONG. Ø 40X25 MM AF	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
CAIXA D'AGUA EM POLIETILENO 500 L	0,36	Tavares (2006)	1,60	ICE (2008)
CALHA PVC, Ø 125 MM	4,72	Adaptado de Lobo (2010)	2,50	ICE (2008)
CAP PVC, Ø100 MM, SN ESGOTO	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
CAP PVC, SOLDAVEL Ø50 MM, SN ESGOTO	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
CURVA PVC, 45° SERIE R, Ø150 MM ESGOTO	4,80	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
CURVA PVC, 90° SERIE R, Ø100 MM ESGOTO	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
CURVA PVC, 90° SERIE R, Ø150 MM ESGOTO	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
CURVA PVC, 90° SERIE R, Ø75 MM ESGOTO	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
CURVA PVC, 45° SERIE R, Ø300 MM ESGOTO	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
CURVA PVC, 90° SERIE R, Ø300 MM ESGOTO	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
DIESEL ESCAVAÇÃO TOTAL ¹	3,28	Silva (2013)	1,24	Adap. de Hsu (2011)
JOELHO PVC LEVE, 90°, Ø150 MM ESGOTO	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
JOELHO PVC LEVE, 90°, Ø200 MM ESGOTO	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
JOELHO PVC SOLD., 90°, Ø20 MM AF	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
JOELHO PVC SOLD., 90°, Ø25 MM AF	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
JOELHO PVC SOLD., 90°, Ø32 MM AF	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
JOELHO PVC SOLD., 90°, Ø50 MM AF	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
JOELHO PVC SOLD., 90°, Ø60 MM AF	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
JOELHO PVC, SOLD. LAT. 90°, 25 MM X 1/2" AF	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
JOELHO PVC, SOLD. LAT. 90°, 32MM X 3/4" AF	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
JOELHO PVC, SOLD. 90° Ø100 MM ESGOTO	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
JOELHO, PVC SOLDAVEL, 45 GRAUS, 20 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
JOELHO, PVC SOLDAVEL, 90 GRAUS, 75 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
JUNCAO SIMPLES, PVC LEVE, 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
JUNCAO, PVC, 45° Ø 200 MM ESGOTO	4,72	Lobo (2010)	2,50	ICE (2008)
JUNCAO, PVC, 45° Ø 250 MM ESGOTO	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
JUNCAO, PVC, 45° Ø 300 MM ESGOTO	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
LUVA CORRER PVC, Ø 200 MM, ESGOTO	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
LUVA CORRER PVC, Ø 250 MM, ESGOTO	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)

Tabela 4.11(Continuação) – EC para as Bases de Dados Nacional e Internacional

DESCRIÇÃO	BD Nacional		BD Internacional	
	EC KgCO _{2eq.} /kg	Referências EC	EC KgCO _{2eq.} /kg	Referências EC
LUVA CORRER PVC, Ø 300 MM, ESGOTO	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
LUVA DE RED. SOLD. PVC 60 MM X 50 MM AF	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
LUVA DUPLA, PVC LEVE, DN 200 MM	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
LUVA PVC SOLDAVEL, 20 MM, PARA AF	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
LUVA SIMP. PVC, SOLD., Ø100 MM SN ESG	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
LUVA SIMPLES, PVC, SOLD., Ø150 MM SN ESG	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
LUVA SIMPLES, PVC, SOLD., Ø75 MM SN ESG	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
REDUCAO PVC ESG 150 X 100MM	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
REDUCAO PVC ESG 200 X 150MM	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
REDUCAO PVC ESG 250 X 200MM	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
REDUCAO PVC ESG 300 X 250MM	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
REDUCAO PVC ESG 100 X 75MM	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
REGISTRO DE ESFERA, PVC, VS, SOLD. Ø 50 MM	2,96	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
REGISTRO DE ESFERA, PVC, VS, SOLD. Ø 60 MM	2,96	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
REGISTRO DE ESF. PVC, VS, ROSC. Ø 1/2" MM	2,96	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
REGISTRO DE ESFERA, PVC, VS, SOLD. Ø 20 MM	2,96	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
REGISTRO DE ESFERA, PVC, VS, SOLD. Ø 40 MM	2,96	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
RESERVATÓRIO CONCRETO ARMADO 27 m ³	0,09	Adap. de Tavares (2006)	0,15	Adap. de ICE (2008)
TE RED. PVC, SOLD. 90°, 40 MM X 32 MM, AF	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
TE PVC, ROSCAVEL, 90 GRAUS, 1 1/2", AF	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
TE PVC, ROSCAVEL, 90 GRAUS, 2", AF	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
TE PVC, SOLDAVEL, LAT.90°, 25 MM X 1/2", AF	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
TE SANITARIO, PVC, Ø100 X 100 MM, SN ESG	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
TE SOLDAVEL, PVC, 90°,50 MM, AF	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
TE, PVC LEVE, CURTO, 90 GRAUS, 150 MM, ESG	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
TE, PVC LEVE, CURTO, 90 GRAUS, 200 MM, ESG	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
TE, PVC, 90 GRAUS, Ø 300 MM, ESG	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
TE, PVC, SERIE R, 150 X 100 MM, ESG	4,72	Lobo (2010)	2,41	ICE (2008)
TUBO DE PVC ESG Ø200 MM	4,44	Lobo (2010)	2,50	ICE (2008)
TUBO DE PVC ESG Ø250 MM	4,19	Lobo (2010)	2,50	ICE (2008)
TUBO DE PVC ESG Ø300 MM	3,97	Lobo (2010)	2,50	ICE (2008)
TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 100 MM, ESG	4,72	Lobo (2010)	2,50	ICE (2008)
TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 150 MM, ESG	4,72	Lobo (2010)	2,50	ICE (2008)
TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 75 MM, ESG	4,72	Lobo (2010)	2,50	ICE (2008)

Tabela 4.11(Continuação) – EC para as bases de dados nacional e internacional

DESCRIÇÃO	BD Nacional		BD Internacional	
	EC KgCO _{2eq.} /kg	Referências EC	EC KgCO _{2eq.} /kg	Referências EC
TUBO PVC, SOLDABEL, DN 20 MM, AF	4,72	Lobo (2010)	2,50	ICE (2008)
TUBO PVC, SOLDABEL, DN 25 MM, AF	4,72	Lobo (2010)	2,50	ICE (2008)
TUBO PVC, SOLDABEL, DN 32 MM, AF	4,72	Lobo (2010)	2,50	ICE (2008)
TUBO PVC, SOLDABEL, DN 40 MM, AF	4,72	Lobo (2010)	2,50	ICE (2008)
TUBO PVC, SOLDABEL, DN 50 MM, AF	4,72	Lobo (2010)	2,50	ICE (2008)
TUBO PVC, SOLDABEL, DN 60 MM, AF	4,72	Lobo (2010)	2,50	ICE (2008)
TUBO PVC, SOLDABEL, DN 75 MM, AF	4,72	Lobo (2010)	2,50	ICE (2008)
VÁLVULA SOLENOIDE	0,24	Silva (2013)	4,39	ICE (2008)

A abrangência dos dados é explicitada na metodologia, bem como o processo de obtenção dos dados de EC. O quantitativo dos materiais que compõem o SPAAP projetado e de seus respectivos valores totais de EC, obtidos pela aplicação do método adotado, são apresentados no Apêndice A.

A seguir são apresentados os dados e as análises de EC para as tubulações, reservatórios, escavação e bombas.

4.2.1.1. EC das tubulações

Conforme apresentado na etapa de análise da EE, para o EC mante-se o padrão de divisão do grupo de tubulações: calhas, tubos, conexões e válvula solenoide, elementos que integram os subsistemas de coleta e de distribuição do SPAAP. Além disso, a etapa de contribuição de EC das tubulações manteve-se conforme apresentado para a EE das tubulações, apenas na fase pré-operacional.

A Tabela 4.12 apresenta o EC das tubulações para a base de dados nacional, nas etapas de coleta e distribuição da água pluvial captada.

Tabela 4.12 – EC das tubulações para a base de dados nacional

	BASE DE DADOS NACIONAL					
	INDIVIDUAL			COLETIVO		
	EC (KgCO _{2eq.})	%	% REL.	EC (KgCO _{2eq.})	%	% REL.
COLETA	6.861,52	93%	100%	8.016,22	93%	100%
Calhas	2.281,97	31%	33%	2.281,97	26%	28%
Tubos	4.267,08	58%	62%	5.450,96	63%	68%
Conexões	312,48	4%	5%	283,29	3%	4%
DISTRIBUIÇÃO	494,33	7%	100%	634,69	7%	100%
Tubos	224,39	3%	45%	345,39	4%	54%
Conexões	256,73	3%	52%	276,09	3%	44%
Válvula Solenoide	13,21	0,2%	3%	13,21	0,2%	2%
TOTAL	7.355,85	100%		8.650,91	100%	

Pela Tabela 4.12 observa-se que na comparação entre cenários, o coletivo apresenta um valor de EC 15% maior que o individual, sendo essa diferença atingida principalmente pela contribuição dos tubos, com suas maiores dimensões e massas na etapa de coleta.

Avaliando os 4 grupos apresentados, assim como na EE, para o EC se aplica a grande contribuição dos tubos, valor que está acima de 60% em ambos os cenários da base de dados nacional. Isto é justificado pelas dimensões e comprimentos dos tubos projetados para compor o SPAAP.

Diferente da EE, para o EC a contribuição da válvula solenoide é expressamente menor que a contribuição das conexões, sendo neste caso quase 20 vezes menor e quase desprezível dentro deste grupo. No caso da base de dados nacional a válvula solenoide apresenta menos de 0,5% de contribuição de EC em ambos os cenários. Isto se deve ao fato do valor adotado para o EC do latão na base de dados nacional ser um valor expressamente pequeno: 0,238 KgCO_{2eq.}/Kg.

Além disso, nesta avaliação a coleta apresenta 93% de contribuição tanto para o cenário individual quanto para o coletivo. Isto ocorre pois além dos diâmetros e, conseqüentemente a

massa dos dutos, serem maiores se comparados com o subsistema de distribuição (já que neste caso eles funcionam como condutos forçados), o subsistema de coleta abrange ainda as calhas.

Para a base de dados internacional, as avaliações seguem conforme os dados apresentados pela Tabela 4.13, que explicita as contribuições quanto aos aspectos de EC para as tubulações.

Tabela 4.13 – EC das tubulações para a base de dados internacional

	BASE DE DADOS INTERNACIONAL					
	INDIVIDUAL			COLETIVO		
	EC (KgCO _{2eq.})	%	% REL.	EC (KgCO _{2eq.})	%	% REL.
COLETA	3.629,80	88%	100%	4.299,09	88%	100%
Calhas	1.209,16	29%	33%	1.209,16	25%	28%
Tubos	2.261,02	55%	62%	2.945,30	60%	69%
Conexões	159,61	4%	4%	144,63	3%	3%
DISTRIBUIÇÃO	507,00	12%	100%	593,75	12%	100%
Tubos	118,90	3%	23%	183,01	4%	31%
Conexões	144,46	3%	28%	167,09	3%	28%
Válvula Solenoide	243,65	6%	48%	243,65	5%	41%
TOTAL	4.136,80	100%		4.892,83	100%	

Avaliando a base de dados internacional, ela manteve o mesmo padrão de diferença entre os cenários individual e coletivo que a base de dados nacional, em torno de 15%. Para esta base de dados as tubulações também foram as grandes contribuintes para o EC deste grupo, abrangendo também a casa dos 60% do total de EC, uma vez que as tubulações apresentam além de uma massa maior que as conexões, um EC em KgCO_{2eq.}/Kg maior que os das conexões em torno de 5%.

Para esta base de dados, no entanto, o subsistema de coleta teve uma parcela de contribuição total no grupo um pouco menor que a base de dados nacional, passando de 93% para 88%. Isso se deve ao fato de que para a base de dados internacional, a válvula solenoide apresenta uma contribuição maior dentro do grupo, em torno dos 5%. Enquanto que, na base de dados nacional,

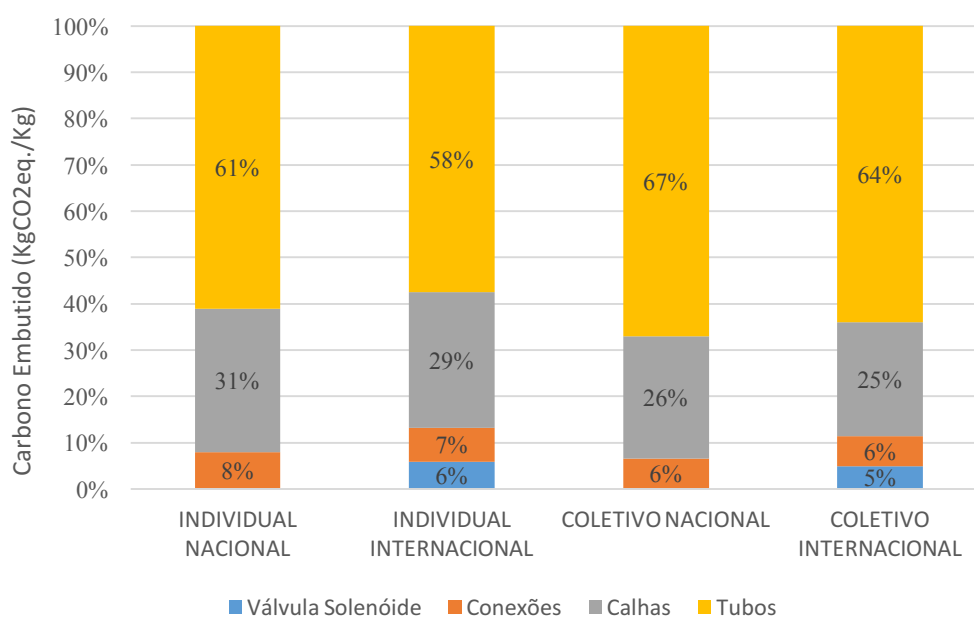
essa contribuição não passou de 0,5%. Isso ocorreu porque o valor que a base de dados internacional atribui para o latão é mais de 18 vezes maior que o fornecido pela base de dados nacional. Em valores absolutos, com os dados nacionais a válvula solenoide tem 13,21 KgCO_{2eq.} contra 243,65 KgCO_{2eq.} da base de dados internacional.

Os tubos apresentaram no subsistema de distribuição (conduto forçado) valores quase equivalentes ao das conexões, principalmente porque tubos com diâmetros menores apresentam massa menor, e conseqüentemente menores contribuições de EC para um mesmo valor de EC unitário.

Em relação ao valor total de EC, para as tubulações, a utilização de dados internacionais reduziu mais de 56% quando comparados aos dados nacionais, em ambos os cenários propostos. Essa diferença apresentada pelas bases de dados nas análises do EC é em torno de 4 vezes maior que a discrepância apresentada na avaliação da EE.

A Figura 4.5 apresenta os dados percentuais de contribuição de EC de cada elemento do grupo das tubulações, indicando não somente as bases de dados adotadas, como também os cenários sugeridos neste estudo.

Figura 4.5 – EC percentual das tubulações



Ao avaliar a Figura 4.5, verifica-se para os elementos constituintes do grupo das tubulações, uma distribuição relativamente proporcional dos seus valores percentuais de contribuição, tanto em cenários individuais e coletivos como quando comparadas as bases de dados nacional e internacional.

É fato que, para a base de dados nacional, a contribuição percentual da válvula solenoide nos cenários nacionais, é desconsiderada, uma vez que seu valor é irrisório dentro do grupo de tubulações.

Ao avaliar as calhas, elas apresentam uma contribuição percentual semelhante entre as quatro hipóteses sugeridas por este trabalho, com uma diferença máxima de 2% entre o cenário individual nacional e os cenários coletivos, uma vez que a representatividade das calhas diminui à medida que o EC total aumenta.

Apesar do padrão de distribuição percentual não ter uma grande variação entre os quatro modelos de cenários e bases de dados, a maior diferença entre eles se encontra entre o cenário individual internacional e o coletivo nacional, que chega a ter um valor total de EC mais de duas vezes maior que o primeiro. Vale ressaltar este caso é justificado, uma vez que os fatores de EC da base de dados nacional são maiores que a internacional, e que o sistema coletivo apresenta uma massa mais de 7 vezes maior que o cenário individual.

No item a seguir são apresentados os dados e avaliações do EC quanto ao aspecto dos reservatórios.

4.2.1.2. EC dos reservatórios

No que diz respeito aos materiais adotados para os reservatórios inferiores e superiores, a análise do EC dos reservatórios se mantém análoga com a apresentada para a EE. Assim sendo, os reservatórios superiores de ambos os cenários e o inferior do cenário individual, são compostos de PEAD, bem como o reservatório inferior do cenário coletivo, é composto de concreto armado.

Para definir o valor de EC do reservatório inferior, foram considerados o EC em $\text{KgCO}_{2\text{eq}}/\text{Kg}$ do concreto, da armação em aço CA 50 e do lastro de brita, conforme apresentado pela Tabela 4.14

Tabela 4.14 – EC dos elementos que compõem o reservatório de concreto armado

ELEMENTO	MASSA (kg)	BASE DE DADOS NACIONAL		BASE DE DADOS INTERNACIONAL	
		EC (KgCO _{2eq.} /kg)	EC TOTAL (KgCO _{2eq.})	EC (KgCO _{2eq.} /kg)	EC TOTAL (KgCO _{2eq.})
Concreto	16.665,00	0,05	749,93	0,13	2.149,79
Arm. Aço CA 50	367,73	2,57	944,70	1,71	628,82
Lastro de Brita	1.614,11	0,01	15,55	0,05	80,71
EE (MJ/Kg) DO RES. CONCRETO ARMADO			0,09		0,15

A partir da Tabela 4.14 verifica-se que o elemento do reservatório inferior que participa com a maior contribuição de EC por quilograma de material, é novamente o aço, no entanto, para o valor de EC total, o concreto contribui com 75% do valor final. Vale ressaltar que conforme apresentado nas análises de EE dos reservatórios, considerou-se o concreto executado *in loco* para fins de comparação da base de dados nacional com os valores fornecidos pela ICE.

Dessa forma, a Tabela 4.15 apresenta a contribuição do EC para os reservatórios propostos para o estudo de caso, com os dados provenientes da base de dados nacional.

Tabela 4.15 – EC dos reservatórios para a base de dados nacional

	BASE DE DADOS NACIONAL					
	MASSA TOTAL	EC (KgCO _{2eq.} /Kg)	INDIVIDUAL		COLETIVO	
			EC (KgCO _{2eq.})	%	EC (KgCO _{2eq.})	%
RES. INF. PEAD	388,50	0,358	139,08	50%	-	-
RES. INF. CONCR.	18646,84	0,09	-	-	1.710,18	92%
RES. SUP. PEAD	388,50	0,358	139,08	50%	139,08	8%
TOTAL			278,17		1.849,26	

Com os resultados apresentados pela Tabela 4.15 verifica-se que o reservatório de concreto apresentou um valor de EC mais de 12 vezes maior que o conjunto de 37 reservatórios inferiores de PEAD. Comparando-se o valor total de EC entre os cenários, a maior contribuição foi a do cenário coletivo, que apresenta uma contribuição de EC 85% maior que o cenário individual.

Para verificar os dados apresentados pela base de dados internacional, segue a Tabela 4.16, com os valores para ambos os cenários.

Tabela 4.16 – EC dos reservatórios para a base de dados internacional

	BASE DE DADOS INTERNACIONAL		INDIVIDUAL		COLETIVO	
	MASSA TOTAL	EC (KgCO _{2eq.} /Kg)	EC (KgCO _{2eq.})	%	EC (KgCO _{2eq.})	%
RES. INF. PEAD	388,50	1,60	621,60	50%	-	-
RES. INF. CONCR.	18.646,84	0,15	-	-	2.859,31	82%
RES. SUP. PEAD	388,50	1,60	621,60	50%	621,60	18%
TOTAL			1.243,20	100%	3.480,91	100%

Avaliando os dados de EC total entre os cenários, para a base de dados internacional, verificou-se que o cenário coletivo apresenta uma discrepância de 64%, valor menor que a diferença de EC total apresentada entre cenários, com os valores da base de dados nacional.

Em relação aos reservatórios inferiores do cenário coletivo, verificou-se que o reservatório de concreto é 78% maior que a apresentada pelo conjunto de 37 reservatórios de PEAD. Isto é justificado pois apesar do valor de EC por massa, do concreto, para a base de dados internacional, ser significativamente menor que o valor de EC por massa do PEAD, a grande contribuição, neste caso, foi da quantidade de massa de concreto utilizada, que é quase 50 vezes superior a quantidade de massa do PEAD.

O próximo item trata dos valores de EC para o diesel utilizado nas máquinas para viabilizar a escavação para instalação do SPAAP proposto para este estudo.

4.2.1.3. EC da escavação

O EC encontrado nesse procedimento de escavação, é proveniente do uso do diesel e entrará no somatório total de EC na fase pré-operacional. Conforme apresentado na etapa de avaliação de EE dos SPAAPs, verificou-se que para o processo de escavação dos sistemas a serem implementados, serão necessários 414 litros para realizar a escavação de todo o cenário individual e 450 litros de diesel para a escavação do sistema coletivo.

Para a análise de EC da escavação dividiu-se este processo em escavação do subsistema de coleta, de distribuição e dos reservatórios. Para o cenário individual, os percentuais de

contribuição são 54% do EC para a coleta, seguido de 30% para a distribuição e os 17% restantes para o reservatório inferior. Já para o cenário coletivo, a maior proporção do EC é proveniente da distribuição, representando 56%, 38% para a coleta e os 6% restantes para a instalação do reservatório de concreto.

A Tabela 4.17 apresenta os dados de EC parciais e totais para os cenários propostos e as bases de dados adotadas.

Tabela 4.17 – EC da escavação

	BASE DE DADOS NACIONAL				BASE DE DADOS INTERNACIONAL			
	INDIVIDUAL		COLETIVO		INDIVIDUAL		COLETIVO	
	EC	%	EC	%	EC	%	EC	%
COLETA	729,09	54%	562,04	38%	275,43	54%	212,33	38%
DISTRIBUIÇÃO	403,18	30%	828,72	56%	152,31	30%	313,07	56%
RES. INF.	223,99	17%	83,44	6%	84,62	17%	31,52	6%
TOTAL	1.356,26		1.474,20		512,37		556,92	

Avaliando a Tabela 4.17 quanto à diferença dos valores apresentados entre as bases de dados, percebeu-se que para ambos os cenários, a base de dados internacional apresentou valores quase 3 vezes menor que a base de dados nacional. Especificamente devido à diferença dos valores de EC por massa da base de dados internacional ser menor que a nacional.

Além disso, pelas proporções de escavação serem as mesmas entre cenários individuais e coletivos, o cenário individual manteve o valor de 8% menor que o cenário coletivo.

Identificou-se ainda que a escavação dos reservatórios é mais representativa no cenário individual, atingindo um valor de EC 2,7 vezes maior que o dos cenários coletivos de ambas as bases de dados.

O item seguinte aborda a análise dos dados de EC para as bombas.

4.2.1.4. EC das bombas

Na análise de EC para as bombas, os dados de entrada contribuem tanto na etapa pré-operacional, quanto na etapa operacional, a partir do funcionamento das bombas durante o uso do SPAAP projetado.

Conforme explicitado no item 4.1.1.4 EE das bombas, o EC é referente ao ferro fundido, principal material na composição das bombas, conforme descrito pelo fabricante (SCNEIDER, 2017). Para o valor de EC durante a operação dos sistemas, foi realizada a conversão da energia consumida mensalmente pelas bombas, em emissões de dióxido de carbono equivalente. Os dados de conversão foram provenientes do relatório síntese da Empresa de Pesquisa Energética (2017), para as duas bases de dados. O valor mais recente utilizado para a base de dados nacional foi de 2016, sendo 101,3 KgCO₂/MWh. Para a base de dados internacional, o valor mais recente data de 2014 e é igual a 366,2 KgCO₂/MWh.

A Tabela 4.18 apresenta dos dados de EC para ambos os cenários e Bases de Dados, para as fases pré-operacional e operacional.

Tabela 4.18 – EC das Bombas

	BASE DE DADOS NACIONAL				BASE DE DADOS INTERNACIONAL			
	INDIVIDUAL		COLETIVO		INDIVIDUAL		COLETIVO	
	EC	%	EC	%	EC	%	EC	%
PRÉ-OPER.	1.817,44	21%	98,24	6%	1.130,72	4%	61,12	1%
OPERAC.	6.683,61	79%	1.641,06	94%	24.161,29	96%	5.932,44	99%
TOTAL	8.501,05	100%	1.739,30	100%	25.292,01	100%	5.993,56	100%

Na análise do EC para as bombas, verifica-se a grande parcela de contribuição é proveniente da etapa operacional, representando 79% para o cenário individual e 94% para o cenário coletivo, de contribuição da base de dados nacional, e quase 100% para a base de dados internacional. Isto ocorre, pois, a base de dados internacional, apresenta valores 38% menores que a base de dados nacional, na etapa pré-operacional para as bombas. No entanto, para a etapa operacional, a base de dados internacional apresenta valores 3,61 vezes maior que a base de dados nacional. Portanto, para os valores totais de EC, a base de dados nacional atinge valores em torno de 70% menores que a base de dados internacional, uma vez que a etapa operacional possui um peso considerável no valor total do EC.

Por fim, entre os cenários, o valor total de EC do coletivo não atinge nem 25% do valor do individual. O que ocorre devido o número de bombas para o cenário individual ser consideravelmente maior se comparado com o cenário coletivo.

O item que segue apresenta a avaliação de impacto para o EC.

4.2.2. Avaliação de impacto

Com todos os detalhamentos referentes ao EC dos elementos considerados nos SPAAPs, avaliou-se o cenário como um todo, realizando a união de todos os elementos do sistema e analisando os impactos referentes ao EC de ambos os cenários e bases de dados.

A Tabela 4.19 apresenta os dados de EC para os cenários individual e coletivo a partir da aplicação dos dados nacionais.

Tabela 4.19 – EC para a base de dados nacional

BASE DE DADOS NACIONAL						
PRODUÇÃO	CENÁRIO INDIVIDUAL			CENÁRIO COLETIVO		
	EC TOTAL (KgCO ₂ eq.)	% DE IMPACTO	% RELATIVO	EC TOTAL (KgCO ₂ eq.)	% DE IMPACTO	% RELATIVO
Materiais						
Tubulações	7.355,85	42%	68%	8.650,91	63%	72%
Reservatórios	278,17	2%	3%	1.849,26	13%	15%
Bombas	1.817,44	10%	17%	98,24	1%	1%
Processos Construtivos						
Escavação (Diesel)	1.356,26	8%	13%	1.474,20	11%	12%
TOTAL PRODUÇÃO	10.807,72	62%	100%	12.072,61	88%	100%

Tabela 4.19 (Continuação) – EC para a base de dados nacional

BASE DE DADOS NACIONAL						
	CENÁRIO INDIVIDUAL			CENÁRIO COLETIVO		
OPERAÇÃO	EC TOTAL (KgCO₂eq.)	% DE IMPACTO	% RELATIVO	EC TOTAL (KgCO₂eq.)	% DE IMPACTO	% RELATIVO
Bombas	6.683,61	38%	100%	1.641,06	12%	100%
TOTAL OPERAÇÃO	6.683,61	38%	100%	1.641,06	12%	100%
TOTAL GLOBAL	17.491,34	100%	-	13.713,67	100%	-

Partindo-se dos dados apresentados pela Tabela 4.19 verifica-se que o cenário individual atinge um valor total de EC 22% maior que o cenário coletivo.

Ao realizar o comparativo entre as etapas pré-operacional e operacional dos sistemas avaliados, verificou-se que, para a produção o cenário coletivo teve uma contribuição de EC 10% maior que o individual. Isto é justificado pela contribuição do reservatório de concreto, que apresenta um valor de EE total 85% maior que os reservatórios de PEAD, uma vez que, a massa dos reservatórios de concreto é quase 48 vezes maior que a do conjunto de reservatórios inferiores de PEAD. Porém, em relação à etapa de operação dos sistemas, tem-se que o cenário individual tem 75% a mais de contribuição de EC que o cenário coletivo em decorrência do funcionamento das bombas, conforme explanado no item 4.1.2. Vale ressaltar que os dados de conversão da contribuição de EC das bombas na etapa operacional foram descritos no item 4.2.1.4.

Identificou-se ainda que para ambos os cenários, o elemento que teve a maior contribuição foram as tubulações, contribuindo para o cenário individual com 42% do EC do sistema e para o coletivo com 63%. Nos dois cenários, a contribuição ultrapassou a contribuição de EC do funcionamento das bombas durante a vida útil dos sistemas.

Os valores totais de EC provenientes da aplicação da base de dados internacional podem ser verificados na Tabela 4.20.

Tabela 4.20 – EC para a base de dados internacional

BASE DE DADOS INTERNACIONAL						
	CENÁRIO INDIVIDUAL			CENÁRIO COLETIVO		
PRODUÇÃO	EC TOTAL (KgCO _{2eq.})	% DE IMPACTO	% RELATIVO	EC TOTAL (KgCO _{2eq.})	% DE IMPACTO	% RELATIVO
Materiais						
Tubulações	4.136,80	13%	59%	4.892,83	33%	54%
Reservatórios	1.243,20	4%	18%	3.480,91	23%	39%
Bombas	1.130,72	4%	16%	61,12	0%	1%
Processos Construtivos						
Escavação (Diesel)	512,37	2%	7%	556,92	4%	6%
TOTAL PRODUÇÃO	7.023,08	23%	100%	8.991,78	60%	100%
OPERAÇÃO	EC TOTAL (KgCO _{2eq.})	% DE IMPACTO	% RELATIVO	EC TOTAL (KgCO _{2eq.})	% DE IMPACTO	% RELATIVO
Bombas	24.161,29	77%	100%	5.932,44	40%	100%
TOTAL OPERAÇÃO	24.161,29	77%	100%	5.932,44	40%	100%
TOTAL GLOBAL	31.184,37	100%	-	14.924,22	100%	-

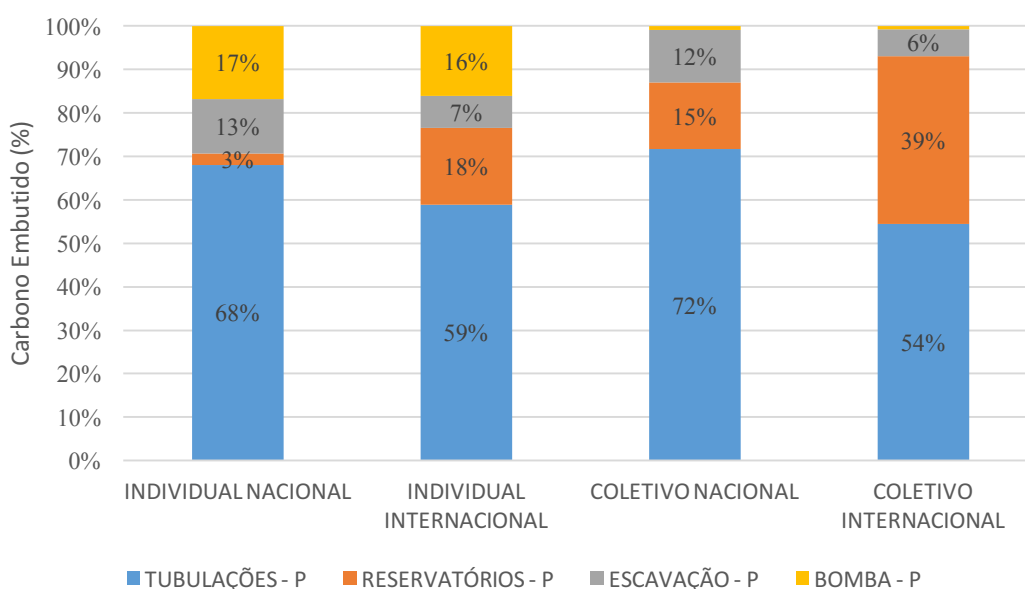
Ao interpretar-se os dados apresentados pela Tabela 4.20 verificou-se que, para os valores totais de EC, o cenário individual apresentou um valor 52% maior que o coletivo, diferença entre cenários maior que a identificada entre os cenários da base de dados nacional. Isto ocorre pois verifica-se os dados de EC para a operação, são provenientes dos dados de consumo de energia do funcionamento das bombas. No caso da base de dados internacional, a quantidade de EC na operação é 3,6 vezes maior que o banco de dados nacional.

Mesmo com esta diferença, observou-se um comportamento semelhante no que se refere a distribuição entre as etapas de produção e operação. Enquanto na etapa de produção, o cenário coletivo apresenta maiores valores de EC (22% maior que o individual), a etapa de operação o cenário individual apresenta os maiores valores (75% maior que o coletivo).

Na etapa de produção, ressalta-se, que para a base de dados internacional, as tubulações têm um impacto considerável no valor final de EC, porém não ultrapassa a contribuição da operação da bomba durante a vida útil do sistema, conforme ocorrido para a base de dados nacional. O que ocorre é que a base de dados internacional apresenta um valor EC na produção de energia elétrica quase 4 vezes maior do que a produzida no Brasil (EPE, 2017).

A Figura 4.6 apresenta a contribuição percentual dos elementos considerados nos sistemas durante a fase pré-operacional (P), para as duas bases de dados.

Figura 4.6 – EE percentual para a etapa pré-operacional



De uma forma geral, as tubulações foram as grandes responsáveis pelo EC nesta fase. Para a base de dados nacionais os valores foram próximos de 70%. Já na base de dados internacionais, estes valores foram em torno de 55%.

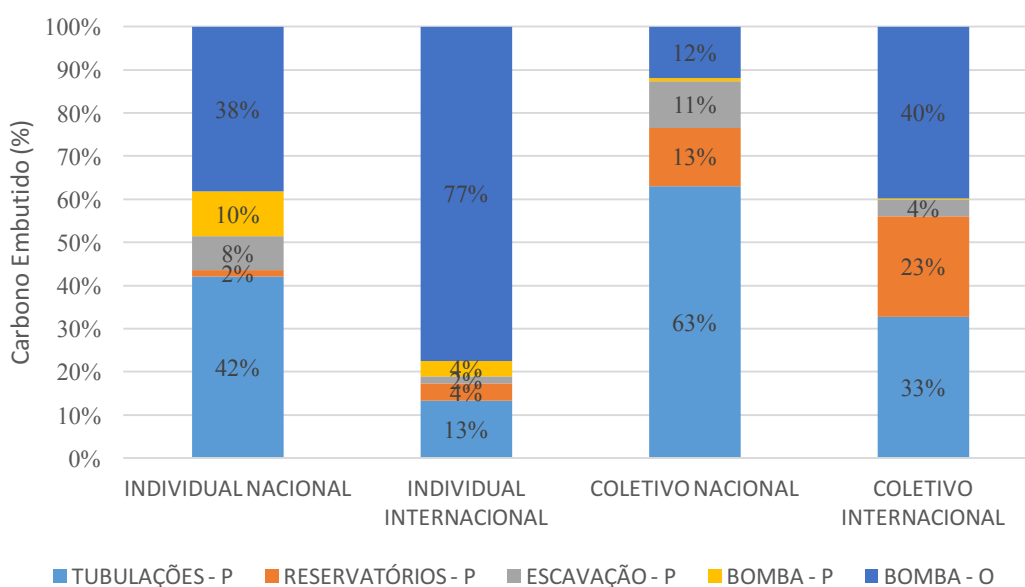
Em relação aos reservatórios, no entanto, para o EC verificou-se que os percentuais variam consideravelmente para cada cenário. Essa diferença pode ser justificada inicialmente pela diferença dos valores de EC por massa entre as bases de dados. Em geral os valores apresentados pela base de dados nacional, são maiores que os da internacional, aumentando assim o seu valor final de contribuição. No entanto, apenas para o PVC, identificou-se que o valor apresentado pela base de dados nacional é 78% menor que a internacional, diminuindo muito o seu percentual de contribuição neste caso (etapa pré-operacional). Además, a

contribuição das bombas no cenário coletivo da base de dados internacional é tão baixa, que torna-se basicamente desprezível, o que aumenta a contribuição percentual do reservatório neste cenário.

Ao analisar a operação do sistema, assim como na determinação da EC, o funcionamento da bomba é primordial para a discrepante participação, entre os sistemas, no total da EC. Enquanto no sistema individual, o percentual de contribuição desta etapa junto ao valor final é de 77%, no coletivo este valor cai para 40%

A Figura 4.7 apresenta os dados totais de EC para todos os cenários, incluindo agora a etapa operacional do sistema.

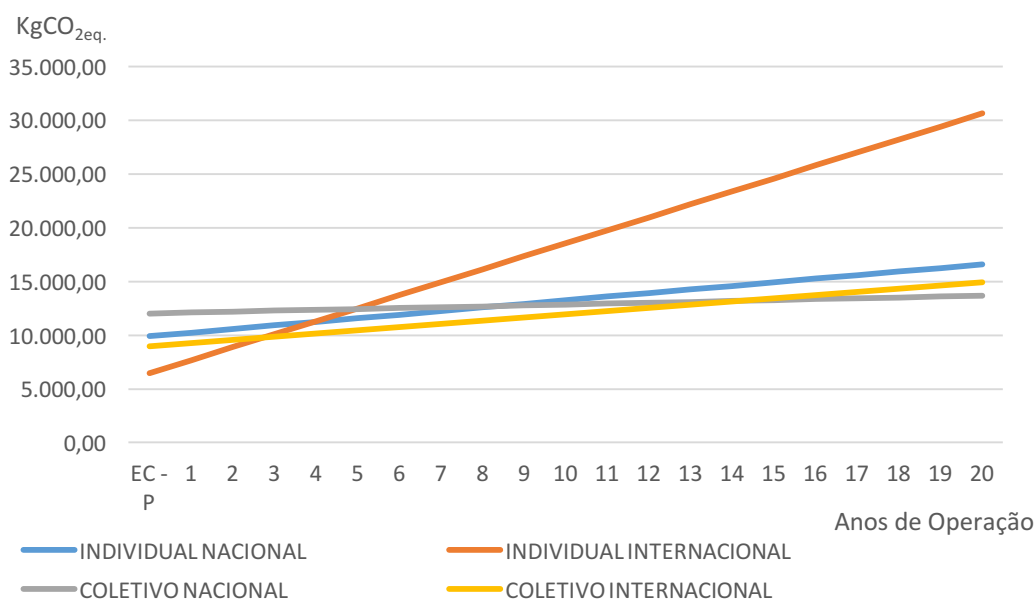
Figura 4.7 – EE Percentual para todo o sistema



Observou-se que o fato de o valor de EC para a energia, do banco de dados internacional ser quase 4 vezes maior que o apresentado pelo banco de dados nacional, influenciou drasticamente o percentual de contribuição dos sistemas. Tal aspecto é perceptível especialmente no cenário individual internacional, uma vez que os seus valores de produção são os menores dentre os 4 sistemas e seu operacional é visivelmente maior que os demais, alcançando dessa forma 77% de contribuição da operação das bombas.

Para a contribuição de EC ao longo da vida útil do sistema, traz-se a Figura 4.8 considerando o funcionamento diário das bombas de recalque.

Figura 4.8 – EE Acumulada no decorrer da vida útil dos SPAAPs



Verificou-se que o cenário coletivo nacional é o que apresenta o maior valor de EC inicial, por volta de 12 tCO_{2eq.} e que o internacional individual é que apresentou o menor valor, por volta das 6 tCO_{2eq.}, quase a metade do valor identificado no primeiro cenário citado. Aponta-se ainda que comparando os cenários de uma mesma base de dados, os cenários coletivos contribuem com uma maior massa inicial de EC, que é ultrapassada no decorrer dos anos pelos sistemas individuais. Para a base de dados nacional, essa equivalência acontece aos 8,4 anos do sistema, e para a base de dados internacional ocorre em menos de 3 anos. Este período de equivalência é 67% menor para a base de dados internacional porque sua contribuição anual é 3,6 vezes maior que a apresentada pela base de dados nacional.

Os indicadores derivados dos dados identificados na avaliação de impacto serão abordados no item seguinte: interpretação dos resultados.

4.3. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Para ACV em que comparações serão realizadas, deve haver a equivalência entre os sistemas para a interpretação dos resultados, ou seja, as definições de escopo devem ser tais que a comparação possa ser realizada e que a unidade funcional seja a mesma (CURRAN, 2006; GALDIANO, 2006).

Para tanto, a partir dos indicadores definidos na metodologia, realizou-se uma análise de multicritérios simplificada, para fundamentar a interpretação dos resultados identificados. O objetivo foi estabelecer uma priorização dentre as alternativas de modo a contribuir no processo decisório. Utilizou-se, portanto, um método de caráter ordinal e classificatório (CAMPOS, 2011; RODRIGUES, 2017).

A Tabela 4.21 apresenta os indicadores separados em grupos por EE, EC, habitação e água pluvial.

Tabela 4.21 – Indicadores de EE, EC, habitação e água pluvial

INDICADOR	UNIDADE	INDIVIDUAL NACIONAL	INDIVIDUAL INTERNACIONAL	COLETIVO NACIONAL	COLETIVO INTERNACIONAL
EEhab	MJ/hab	12.840,53	11.527,23	8.075,75	6.737,89
EEágua	MJ/m ³	19,13	17,18	10,90	9,10
EEcap	MJ/m ²	190,74	171,23	119,96	100,09
EEophab	MJ/hab	6.419,52	6.419,52	1.576,22	1.576,22
EEmassa	MJ/Kg	142,32	127,77	14,24	11,88
EEpet	MJ/Kg	176,57	158,51	113,38	94,60
Eopvap	KWh/m ³	2,66	2,66	0,59	0,59

EChab	KgCO ₂ eq./hab	472,74	842,82	370,64	403,36
ECágua	KgCO ₂ eq./m ³	0,70	1,26	0,50	0,54
ECcap	KgCO ₂ eq./m ²	7,02	12,52	5,51	5,99
ECophab	KgCO ₂ eq./hab	180,64	653,01	44,35	160,34
ECmassa	KgCO ₂ eq./Kg	5,24	9,34	0,65	0,71
ECpet	KgCO ₂ eq./Kg	6,50	11,59	5,20	5,66
ECopvap	KgCO ₂ eq./m ³	0,27	0,97	0,06	0,22

Mhab	Kg/hab	90,22	90,22	567,22	567,22
PETHab	Kg/hab	72,72	72,72	71,23	71,23
VAPhab	m ³ /hab	671,05	671,05	740,74	740,74

Tabela 4.21 (Continuação) – Indicadores de EE, EC, habitação e água pluvial

INDICADOR	UNIDADE	INDIVIDUAL NACIONAL	INDIVIDUAL INTERNACIONAL	COLETIVO NACIONAL	COLETIVO INTERNACIONAL
Mvap	Kg/m ³	0,13	0,13	0,77	0,77
% ECON.	%	13,7%	13,7%	15,1%	15,1%

Para os indicadores que envolvem energia e dióxido de carbono embutido equivalente, verificou-se que os cenários individuais apresentam em todos os casos, índices mais altos que os cenários coletivos.

Para o EEhab e o EEcap, verificou-se que na base de dados nacional, o cenário individual apresentou um valor 37% maior que o cenário coletivo. Já para a base de dados internacional, essa diferença foi de 42%. Os indicadores de EChab e ECcap a diferença entre os cenários nacionais é de 22% e 52% para o internacional. Isso ocorre pois, os denominadores são, para este estudo, iguais, mas servem de referência para comparação com outros estudos.

Em relação ao EEágua e ao ECágua os cenários individuais também apresentaram um valor maior que o coletivo. Isto ocorre pois, além de apresentarem uma maior EE e EC em todo o sistema, os sistemas individuais tem um menor volume de água pluvial aproveitada.

Ao analisar apenas a fase de operação do sistema, por meio dos indicadores EEophab e ECophab observou-se que os cenários individuais continuam com valores maiores do que os coletivos. De forma geral, os indicadores coletivos são 25% dos indicadores individuais.

Isto ocorre também no indicador Eopvap, uma vez que ele considera a energia de operação por volume de água pluvial utilizado. O volume de água pluvial utilizado pelos cenários individuais é de 24,8 mil m³ e de 27,4 mil m³ para os cenários coletivos. Enquanto que a energia de operação é de 66 MWh para o cenário individual e de 16,2 MWh para os cenários coletivos, justificando os valores apresentados pelo indicador. No trabalho de Ward, Butler e Memom (2011), o valor obtido para esse indicador foi de 0,54 KWh/m³, valor próximo ao encontrado para os cenários coletivos deste trabalho: 0,59 KWh/m³. Em contrapartida, para os cenários individuais, o valor desse índice é 2,66 KWh/m³, valor quase 4,5 vezes maior que o encontrado para os cenários coletivos. No entanto, no trabalho de Brewer, Brown e Stanfield (2001) o valor encontrado foi de 7,1 KWh/m³, justificado por questões construtivas dos SPAAPs.

Para o EC_{pvap} a diferença entre os cenários é de 78%, este indicador direciona a análise para a questão da operação das bombas, isso significa que diminuindo a necessidade de bombeamento, obtém-se valores consideravelmente menores. No estudo de Ward, Butler e Memom (2011) é apresentado o valor de 0,33 KgCO_{2eq}/m³ para a distribuição de água potável proveniente da concessionária, que comparando com os resultados obtidos neste trabalho, só não é maior que o valor encontrado para o cenário individual da base de dados internacional. Vale ressaltar que este valor apresentado pelos autores, serve apenas como uma referência, pois o ideal é tentar obter dados locais, para uma maior acurácia dos indicadores.

Quando trata-se da EEmassa e do ECmassa, a diferença entre os cenários individuais e coletivos é em torno de 90%. Isso ocorre pois além da EE e do EC dos SPAAPs individuais serem consideravelmente maiores (mais que o dobro) em comparação com os cenários coletivos, sua massa é também muito menor que a dos SPAAPs coletivos (devido a massa do reservatório de concreto ser alta).

Por fim, para o EE_{pet} e o EC_{pet}, verificou-se que as massas de materiais derivados do petróleo são muito semelhantes entre todos os cenários, no entanto, a EE e o EC dos cenários individuais são maiores que a dos coletivos, apresentando então uma diferença de 36% entre os cenários da base de dados individual e de 40% para a internacional no EE_{pet} e de 20% e 51% respectivamente para o EC_{pet}.

Foram apresentados ainda, indicadores que não relacionam a EE e nem o EC, isso para que se pudesse avaliar também os aspectos de quantidades de materiais inseridos ao sistema, relacionando-os com a quantidade de água pluvial economizada e o número de habitações.

O Mhab é um indicador que já apresenta a quantidade de massa incrementada por habitação, ele foi sugerido uma vez que quanto mais massa se coloca em um sistema, mais EE e EC são agregados. No entanto, em alguns indicadores como por exemplo o EEmassa, e o EC_{pet}, a quantidade de material pode ajudar a diminuir um pouco os índices. Dessa forma, sugeriu-se avaliar a massa sob outras perspectivas. Neste caso, como as massas dos cenários – as individuais e as coletivas – são fixas independente da base de dados, percebeu-se que o indicador Mhab é 84% maior para o cenário coletivo.

Isto ocorre também para o M_{vap}, visto que o valor dos volumes de água pluvial aproveitados em cada cenário se diferem em menos de 10%. Assim sendo, a diferença entre os valores de M_{vap} encontrados entre os cenários foi de que o índice apresentou um valor 82% maior no coletivo que no individual.

Já para o PETHab as diferenças ficaram em torno de apenas 2%, dado que a massa dos elementos derivados de petróleo é bem próxima entre os cenários propostos.

Em conclusão, o indicador de percentual de aproveitamento de água pluvial foi um pouco maior para o cenário coletivo, posto que neste cenário o reservatório possui maior volume de armazenamento. Para encontrar esse indicador, foi considerado o consumo médio diário do Brasil, segundo o SNIS (2017) como sendo 154,02 L/habitante.dia, ressaltando-se que para este trabalho, adotou-se 4 habitantes por residência. Além disso, foram considerados 105 dias no ano com irrigação de 197,11 L/residência. O volume total consumido pelas 37 residências da quadra foi de 181.718,66 m³ de água durante a vida útil do sistema. Desse valor total, o cenário individual apresentou um potencial de economia de 13,7% e o cenário coletivo de 15,1%.

Além desta análise inicial, realizou-se a classificação dos cenários para cada indicador apresentado, dando preferências aos cenários que apresentarem menores valores proporcionais de EE, de EC ou de massa, bem como apresentassem ainda os melhores dados de aproveitamento de água pluvial. A tabela 4.22 apresenta os valores classificatórios dos índices em cada um dos cenários. Vale ressaltar que para todos os indicadores apresentados, considerou-se o mesmo peso.

Tabela 4.22 – Classificação dos Cenários por Indicadores

	INDIVIDUAL NACIONAL	INDIVIDUAL INTERNACIONAL	COLETIVO NACIONAL	COLETIVO INTERNACIONAL
EEhab	4	3	2	1
EEágua	4	3	2	1
EEcap	4	3	2	1
EEophab	2	2	1	1
EEmassa	4	3	2	1
EEpet	4	3	2	1
Eopvap	2	2	1	1
EChab	3	4	1	2
ECágua	3	4	1	2
ECcap	3	4	1	2
ECophab	3	4	1	2
ECmassa	3	4	1	2
ECpet	3	4	1	2
ECopvap	3	4	1	2

Tabela 4.22 (Continuação) – Classificação dos Cenários por Indicadores

	INDIVIDUAL NACIONAL	INDIVIDUAL INTERNACIONAL	COLETIVO NACIONAL	COLETIVO INTERNACIONAL
Mhab	1	1	2	2
PETHab	2	2	1	1
VAPhab	2	2	1	1
Mvap	1	1	2	2
% ECON.	2	2	1	1
PONTUAÇÃO TOTAL	53	55	26	28

Após a aplicação da ACV simplificada, e realizando-se a avaliação multicriterial simplificada, percebeu-se que os cenários coletivos se apresentam mais viáveis ambientalmente, conforme apresentado pela Tabela 4. Além disso o cenário coletivo nacional foi o que apresentou o melhor desempenho.

Percebeu-se que quanto aos aspectos de energia, o cenário individual nacional foi o que apresentou o maior impacto ambiental. Quanto aos aspectos do carbono o cenário individual internacional atou de forma mais negativa que os demais cenários. Em relação aos índices de habitação, quando se considera a massa total do sistema, os cenários coletivos atuam como os maiores contribuintes, no entanto em relação ao volume economizado, e à massa de materiais derivados do petróleo, os cenários coletivos são os mais favoráveis. Por fim, apesar dos cenários coletivos apresentarem uma maior massa por volume de água pluvial utilizado, eles apresentam um percentual de economia de água maior que os cenários individuais.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

O presente trabalho possibilitou identificar uma série de indicadores ambientais, a partir dos dados de EE e EC de dois cenários de configurações de SPAAP considerados, como também se ter uma visão mais ampla sobre a utilização de metodologias com embasamentos na ACV. Além disso, esta pesquisa conseguiu proporcionar uma análise comparativa entre bases de dados de origens diferentes.

Estes pontos permitiram identificar os cenários mais favoráveis, dentre uma mesma base de dados, apresentando ainda quais etapas e elementos atuaram com a maior contribuição de EE ou de EC. Uma vez identificado isto, tem-se a oportunidade de se buscar soluções que possam minimizar os impactos verificados.

De um modo geral, a configuração coletiva dos SPAAP apresentou resultados mais viáveis, do ponto de vista ambiental, do que os do sistema individual. Independente da origem da base de dados, os sistemas coletivos apresentaram indicadores que apontaram para um menor impacto ambiental do que os individuais.

Em relação às bases de dados verificou-se que, em geral, os valores apresentados pela base de dados internacional são menores, o que se deve em especial pelos processos produtivos de países desenvolvidos. No entanto, para os aspectos de operação, as bases de dados nacionais apresentaram valores mais favoráveis ambientalmente. O que pode ser especialmente pelo processo de produção de energia, que no Brasil é predominantemente hídrico.

A execução do estudo comparativo entre as bases de dados, apontou que quanto mais próximos da realidade em que o trabalho analisado se encontra são os dados utilizados, mais efetiva se mostra a pesquisa. Portanto, sugere-se a utilização de dados locais, sempre que a qualidade e a disponibilidade desses dados forem acessíveis e conforme o escopo do estudo. Caso estes dados não estejam passíveis de acesso, adaptações podem ser pertinentes.

No entanto, é importante ressaltar que as escolhas de dados de bases diferentes abordem as mesmas fronteiras de ACV. Além disso, faz-se necessário verificar a qualidade da origem desses dados, uma vez que a metodologia em geral de ACV, possui ainda muitas lacunas e já

embute, portanto, uma série de considerações. Sugere-se assim, a adoção de dados que minimizem essas considerações objetivando alcançar dados mais concisos.

Os resultados obtidos também podem servir de base para alterações de projetos com o intuito de minimizar EE e o EC no sistema em geral. Uma das recomendações seria diminuir o uso de maquinários sempre que possível, priorizando as escavações manuais. No entanto, é importante ressaltar, nesses casos, a necessidade de se realizar uma avaliação prévia, verificando-se os possíveis impactos de custos e prazos, de modo a não impactar na sustentabilidade econômica da obra. Outra possibilidade que se depara seria investir em SPAAPs que não necessitassem do bombeamento da água pluvial coletada. Armazenar a água pluvial em reservatórios superiores, diminuiria consideravelmente a energia de operação do sistema, diminuindo em consequência a EE e o EC totais dos cenários. Além disso, com a diminuição do consumo de energia de operação, os cenários individuais, poderiam se tornar mais favoráveis ambientalmente que os cenários coletivos.

Para as situações em que não se consegue a eliminação do bombeamento de água pluvial, sugere-se ainda, a busca por outras fontes de energia, como a eólica ou a solar.

Este trabalho conseguiu, portanto, utilizar os elementos metodológicos de uma ACV simplificada, atingindo resultados significativos, que pudessem estabelecer duas bases de dados confiáveis que abordassem uma mesma fronteira de sistema, identificar as etapas do ciclo de vida de um produto ou processo onde possa se identificar os pontos de redução de consumo, comparar os impactos ambientais entre produtos e/ou processos que exercem a mesma função e contribuir com sugestões para a melhoria de produtos e/ou processos, conforme indicado pela EPA (2001).

Para estudos futuros, sugere-se a execução de análises que abordem as modificações sugeridas, podendo-se inclusive utilizar-se de *softwares* para a obtenção do inventário e dos resultados. Pode-se ainda estabelecer a comparação entre metodologias adotadas. Além disso, pode-se ainda realizar as considerações de tratamento da água pluvial, bem como incluir elementos que não foram considerados neste projeto ou até mesmo abranger a etapa de descarte.

Uma outra sugestão seria a apresentação dos resultados com o uso de outros impactos ambientais

Por fim, ressalta-se que a ACV é uma importante ferramenta para a averiguação ambiental das etapas de produtos e/ou serviços, que contribui intensamente com a evolução e o constante

aprimoramento dos produtos. Sendo pertinente, portanto, dar a continuidade em pesquisas sobre o tema, de modo a contribuir com esse aperfeiçoamento progressivo do mercado.

REFERÊNCIAS

- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626: Instalação Predial de Água Fria.** Rio de Janeiro, set. 1998, 41 p.
- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5648: Tubos e conexões de PVC-U com junta soldável para sistemas prediais de água fria – Requisitos.** Rio de Janeiro, jan. 2010a, 25 p.
- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5688: Tubos e conexões de PVC -U para sistemas prediais de água pluvial, esgoto sanitário e ventilação – Requisitos.** Rio de Janeiro, jun. 2010b, 26 p.
- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8220: Reservatório de poliéster, reforçado com fibra de vidro, para água potável para abastecimento de comunidades de pequeno porte – Especificação.** Rio de Janeiro, jan. 2015, 11 p.
- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8890: Versão corrigida: 2008 – Tubo de concreto de seção circular para águas pluviais e esgoto sanitários – Requisitos e métodos de ensaios.** Rio de Janeiro, jan. 2007a, 30 p.
- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844: Instalações Prediais de Águas Pluviais.** Rio de Janeiro, dez. 1989, 13 p.
- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12211: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água – Procedimento.** Rio de Janeiro, abr. 1992, 14 p.
- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura.** Curitiba, 2009a, 21p.
- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14044: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações.** Rio de Janeiro, 2009b, 51p.
- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos.** Rio de Janeiro, set. 2007b, 8p.
- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15645: Execução de obras de esgoto sanitário e drenagem de águas pluviais utilizando-se tubos e aduelas de concreto.** Rio de Janeiro, dez. 2008a, 33 p.
- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15579: Sistemas prediais – Tubos e conexões de ferro fundido com pontas e acessórios para instalações prediais de esgotos sanitários ou águas pluviais – Requisitos.** Rio de Janeiro, abr. 2008b, 34 p.

AGRITEMPO. Sistema de Monitoramento Agrometeorológico: **Precipitação e Precipitação Acumulada**. Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/index.jsp>, acesso em: ago. 2016.

AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 53-66, abr./jun. 2008.

ANAND, C.; APUL, D.S. *Economic and environmental analysis of standard, high efficiency, rainwater flushed, and composting toilets*. 2011. Disponível em: doi:10.1016/j.jenvman.2010.08.005.

ANGRILL, S.; FARRENY, R.; GASOL, C. M.; GABARRELL, X.; VIÑOLAS, B.; JOSA, A.; RIERADEVALL, J.; Environmental analysis of rainwater harvesting infrastructures in diffuse and compact urban models of Mediterranean climate. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 17, f. 1, p. 25 – 42, 2012.

ANGRILL, S.; SEGURA-CASTILLO, L.; PETIT-BOIX, A.; RIERADEVALL, J.; GABARRELL, X.; JOSA, A. *Environmental performance of rainwater harvesting strategies in Mediterranean buildings*. **International Journal of Life Cycle Management**, vol. 22, p. 398-409, 2017

ARANTES, L. O. **Avaliação comparativa do ciclo de vida de sistemas de aquecimento solar de água utilizados em habitações de interesse social**. 2008. 183p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, área de concentração Engenharia Urbana) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, ago. 2008.

BAILEY, J.; BUDGEN, D.; TURNER, M.; KITCHENHAM, B.; BRERETON, P.; LINKMAN, S. Evidence relating to Object-Oriented software design: A survey. In: FIRST INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EMPIRICAL SOFTWARE ENGINEERING AND MEASUREMENT, *Anais eletrônicos...* Computer Society, 2007. 3p. DOI: 10.1109/ESEM.2007.58

BCB: BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxa de Atratividade**. Disponível em: <http://www.bcb.gov.br/pt-br/#!/home>, acesso em: jan. 2017.

BANCO MUNDIAL. **Abastecimento de água no Brasil**. Disponível em: <http://data.worldbank.org/indicator/IE.PPI.WATR.CD?locations=BR&view=chart>, acesso em ago. 2017a.

BANCO MUNDIAL. **Trasportes no Brasil**. Disponível em: <http://data.worldbank.org/indicator/IE.PPI.TRAN.CD?locations=BR&view=chart>, acesso em ago. 2017b.

BANCO MUNDIAL. **População em favelas no Brasil**. Disponível em: <http://data.worldbank.org/indicator/EN.POP.SLUM.UR.ZS?locations=BR&view=chart>, acesso em ago. 2017c.

BREWER, D.; BROWN, R.; STANFIELD, G. **Rainwater and Greywater in Buildings: Project Report and Case Studies**. 1ª Ed. Londres: DETR and BSRIA, TN 7/2001 ISBN 0860225771, 2001.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Minha Casa Minha Vida**. Disponível em: <http://mcmv.caixa.gov.br/minha-casa-minha-vida/>, acesso em: 18/10/2015.

CAMPOS Marcel, G. **Abordagem de Ciclo de Vida na Avaliação de Impactos Ambientais no Processamento Primário Offshore**. 2012. 142 p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro

CAMPOS Marcus, A. S. **Qualidade de investimentos em sistemas prediais de aproveitamento de água pluvial: uso de *particles swarm optimization***. 2012. 90p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil na área de Concentração de Edificações) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2012.

CAMPOS, M. A. S. **Aproveitamento de Água Pluvial em Edifícios Residenciais Multifamiliares na Cidade de São Carlos**. 2004. 145p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, mai. 2004.

CAMPOS, V. R. **Modelo de Apoio à Decisão Multicritério para a Priorização de Projetos em Saneamento**. 2011. 175 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção na área de concentração em Economia, Organizações e Gestão do Conhecimento) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, nov. 2011.

CARVALHO, A.; MIMOSO, A. F.; MENDES, A. N.; MATOS, H. A. **From a literature review to a framework for environmental process impact assessment index**. *Journal of Cleaner Production*, v. 64, p. 36-62, 2014.

CARVALHO, E. C. **A Análise do Ciclo de Vida e os Custos Completos no Planejamento Energético**. 2000. 354p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

CARVALHO, M. T. M; SPOSTO, R. M.. Metodologia para avaliação da sustentabilidade de habitações de interesse social com foco no projeto. **Ambiente Construído, Porto Alegre**, v. 12, n. 1, p. 207-225, jan./mar. 2012.

CHANG, J.; LEE, W.; YOON, S. **Energy consumptions and associated greenhouse gas emissions in operation phases of urban water reuse systems in Korea**. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.131>.

COLOMBO, C. R.; SATTler, M. A.; ALMEIDA, M. J.. Bioconstrução: Construção do Passado ou do Futuro? *In: XI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Anais eletrônicos...* 2006, Florianópolis – SC. 10p.

COSTA, C. H. A.; STAUT, S. L. S.; ILHA, M. S. O. Projeto de Sistemas Prediais Hidráulicos Sanitários com Bim: Mapeamento da Literatura, *In: XV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Anais eletrônicos...* 2014, Maceió – AL 10p.

CSILLAG, D.; JOHN, V. M. Análise das Práticas para Construção Sustentável na América Latina. *In: XI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Anais eletrônicos...* 2006, Florianópolis – SC. 10p.

CURRAN, M. A. **Life Cycle Assessment: Principles and Practice**. 1ª Ed. Ohio: U.S. Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, 2006. 14 p.

DEVKOTA, J.; SCHLACHTER, H.; ANAND, C.; PHILLIPS, R.; APUL, D. *Development and application of EEAST: A life cycle based model for use of harvested rainwater and composting toilets in buildings*. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.09.015>.

DEVKOTA, J.; SCHLACHTER, H.; APUL, D. *Life cycle based evaluation of harvested rainwater use in toilets and for irrigation*, **Journal of Cleaner Production**, Elsevier Ltd., vol. 95, p. 311-321, fev. 2015.

DEVKOTA, J.; BURIAN, S. J.; TAVAKOL-DAVANI, H.; APUL, D. *Introducing demand to supply ratio as a new metric for understanding life cycle greenhouse gas (GHG) emissions from rainwater harvesting systems* **Journal of Cleaner Production**, Elsevier Ltd., vol. [s.n.], p. 1-11, 2015.

ENGSTRÖM, E.; RUNESON, P. *Software product line testing: A systematic mapping study*. **Information and Software Technology**, Journal Homepage: www.elsevier.com/locate/infsof, v. 53, p. 2-13, 2011.

EPA: UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY AND SCIENCE APPLICATIONS INTERNATIONAL CORPORATION. **LCA 101- Introduction to LCA. 2001**. Disponível em: http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/LCA101_printable.pdf

EPE: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Relatório Síntese: ano base 2016**. Rio de Janeiro, RJ. Jun. 2017. 61 p.

FERREIRA, J. V. R. **Análise de Ciclo de Vida dos Produtos**. 1 ed. Instituto Politécnico de Viseu, 2004.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit Habitacional no Brasil – Referência 2007**. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação, Brasília, jun. 2009, 129p. Disponível em: <http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/produtos-e-servicos/2742-deficit-habitacional-no-brasil-3>, acesso em 17/10/2015.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit Habitacional no Brasil – Referência 2008**. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação, Brasília, abr. 2011, 140p. Disponível em: <http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/produtos-e-servicos/2742-deficit-habitacional-no-brasil-3>, acesso em 17/10/2015.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit Habitacional no Brasil – Referência 2009**. Fundação João Pinheiro, Centro de Estatísticas e Informações, Belo Horizonte, set. 2012, 200p. Disponível em: <http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/produtos-e-servicos/2742-deficit-habitacional-no-brasil-3>, acesso em 17/10/2015.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit Habitacional no Brasil – Referência 2010**. Fundação João Pinheiro, Centro de Estatísticas e Informações, Belo Horizonte, nov. 2013, 78p. Disponível em: <http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/produtos-e-servicos/2742-deficit-habitacional-no-brasil-3>, acesso em 17/10/2015.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit Habitacional no Brasil – Relatório 2011 – 2012.** Fundação João Pinheiro, Centro de Estatísticas e Informações, Belo Horizonte, 2015, 126p. Disponível em: <http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/produtos-e-servicos/2742-deficit-habitacional-no-brasil-3>, acesso em 17/10/2015.

GALDIANO, G. P. **Inventário do ciclo de vida do papel offset produzido no Brasil.** 2006. 303 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia com área de concentração em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

GAO, H.; ZHOU, C.; LI, F.; HAN, B.; LI, X. Economic and environmental analysis of five Chinese rural toilet technologies based on the economic input-output life cycle assessment. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.089>.

GARCÍA-MONTOYA, M.; SENGUPTA, D.; NAPOLES-RIVERA, F.; PONCE-ORTEGA, J. M.; EL-HALW, M. M. Environmental and economic analysis for the optimal reuse of water in a residential complex. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.109>.

GARDELS, D. J. **Economic Input-Output Life Cycle Assessment of Water Reuse Strategies in Residential Buildings and Communities.** 2011. 171p. Thesis (Masters of Science in Civil Engineering) – Faculty of the Graduate College, University of Nebraska, Lincoln, Nebraska, United States, may, 2011.

GARDNER, T.; BEAL, C.; HOOD, B.; LANE, J.; CHRISTIANSEN, C.; MILLAR, G.; VIERITZ, A.; CHAPMAN, H. **Benchmarking Water Sensitive Urban Design.** Payne Road. ISBN 18766 1627X. 2008.

GEHARDT, T. E.; SILVEIRA D. T. **Métodos de Pesquisa.** 1ª Ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. 120 p.

GHIMIRE, R. S.; JOHNSTON, J. M.; INGWERSEN, W. W.; HAWKINS, T. R. Life Cycle Assessment of Domestic and Agricultural Rainwater. **Environmental Science and Technology**, Ohio, United States, v. 48, n. 7, p. 4069-4077, 2014. DOI: 10.1021/es500189f. Disponível em: dx.doi.org/10.1021/es500189f, 2014.

GHIMIRE, R. S.; JOHNSTON, J. M.; INGWERSEN, W. W.; SOJKA, S. Life cycle assessment of a commercial rainwater harvesting system compared with a municipal water supply system. 2017. Disponível em: DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.02.025.

GOEDKOOOP, M.; SPRIENSMA, R.; The Eco-indicator 99: A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. **Methodology Report.** Netherlands: Pre Consultants, 2001. 132p. Disponível em: <<http://www.pre.nl>>. Acesso em: agosto. 2012.

GREEN, K. E. **Embodied Energy Assessment of Rainwater Harvesting Systems in Primary School Settings on La Peninsula Valiente, Comarca Ngobe Bugle, Republic of Panama.** 2011. 73p. Thesis (Master of Science in Environmental Engineering) – Department of Civil & Environmental Engineering, College of Engineering, University of South Florida, Florida, United States, may, 2011.

HAMMOND, G.; JONES, C. **Inventory of Carbon and Energy (ICE)**. Version 1.6a. Sustainable Energy Research Team (SERT), Department of Mechanical Engineering, University of Bath, UK, 2008. 64 p. Disponível em: www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied/.

HERNANDES, A. T.; CAMPOS, M. A. S.; AMORIM, S. V. Análise de Custo da Implantação de um Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial para uma Residência Unifamiliar na Cidade de Ribeirão Preto. *In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. Anais...* São Paulo, 2004. 12p.

HSU, D. D. **Life Cycle Assessment of Gasoline and Diesel Produced via Fast Pyrolysis and Hydroprocessing**. 1ª Ed. Colorado: *Alliance of Sustainable Energy, National Renewable Energy Laboratory, Office of Energy and Renewable Energy*, 2011. 28 p.

HUNT, R. G.; FRANKLIN, W. E. *LCA: How it came about. Franklin Associates l.td, Prairie Village, United States*, v 01, p 4-7, 1996.

JEONG, H.; BROESICKE, O. A.; DREW, B.; LI, D.; CRITTENDEN, J. C. Life cycle assessment of low impact development technologies combined with conventional centralized water systems for the City of Atlanta, Georgia, 2016. DOI: 10.1007/s11783-016-0851-0.

JOHN, V. **Derivation of reliable simplification strategies for the comparative LCA of individual and "typical" newly built Swiss apartment buildings**, 2012. 389 p. Tese (Doctor of Sciences) – ETH Zurich, Suíça, 2012.

KITCHENHAM, B.; PRETORIUS, R.; BUDGEN, D.; BRERETON, O. P.; TURNER, M.; NIAZI, M.; LINKMAN, S. *Systematic literature reviews in software engineering: A tertiary study. Information and Software Technology, Journal Homepage: www.elsevier.com/locate/infsof*, v. 52, p. 792-805, 2010.

LAMBERTS, R.; TRIANA, M. A.; FOSSATI, M.; BATISTA, J. O. **Sustentabilidade nas Edificações: Contexto Internacional e algumas Referências Brasileiras na Área**. Universidade Federal de Santa Catarina: 2007. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. 21p. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/sustentabilidade-edificacoes-contexto%20internacional-referencias-brasileiras.pdf>, acesso em: 03/05/2016.

LIMA, A. M. F. **Estudo da Cadeia Produtiva do Polietileno Tereftalato (Pet) na Região Metropolitana de Salvador como Subsídio para Análise do Ciclo de Vida**. 2001. 94p. Monografia (Curso de Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria) – Rede de Tecnologias Limpas, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2001.

LIMA, A. M. F. **Avaliação do Ciclo de Vida No Brasil – Inserção e Perspectivas**. 2007. 116 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, mar. 2007.

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**. 2010. 1000 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil na área de concentração de

Ambiente Construído) – Setor de Tecnologia, Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, abr. 2010.

MALMQVIST, T.; GLAUMANN, M.; SCARPELLINI, S.; ZABALZA, I.; ARANDA, A.; LLERA, E.; DÍAZ, S. *Life cycle assessment in buildings: The ENSLIC simplified method and guidelines*. Elsevier Ltd., **Energy**, vol. 36, p. 1900-1907, 2011.

MANO, R. S. **Captação Residencial de Água de Chuva para Fins não potáveis em Porto Alegre: Aspectos Básicos da Viabilidade e Benefícios do Sistema**. 2004. 177p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, jan. 2004.

MARINOSKI, A. K. **Método para avaliação de viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial**. 2010. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, nov. 2010.

MARINOSKI, A. K.; GHISI, E. Assessment of the environmental impact and investment feasibility analysis of rainwater use in houses. **Ravage of the Planet III**, [United States], v. 148, ISSN 1743-3541, 2011. DOI:10.2495/RAV110361, 2011.

MAY, S.; PRADO, R. T. A.; Estudo da Qualidade da água de chuva para consumo não potável em edificações. *In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL e 10º ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 2004, São Paulo. **Anais...** CD Rom.

MIRANDA, A. S.; YUBA, A. N. Comparativos de Impactos Ambientais de Sistemas Construtivos de Paredes utilizando a Avaliação do Ciclo de Vida Modular. *In: XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 2016, São Paulo. **Anais: eletrônicos...** São Paulo: 21 a 23 de setembro de 2016. 15 p. Páginas 2198 a 2212.

MORALES-PINZÓN, T.; LURUEÑA, R.; GABARRELL, X.; GASOL, C. M.; RIERADEVALL, J. *Financial feasibility and environmental analysis of potential rainwater harvesting systems: A case study in Spain*. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 69, p. 130-140, 2012.

MORALES-PINZÓN, T.; LURUEÑA, R.; GABARRELL, X.; GASOL, C. M.; RIERADEVALL, J. *Financial and environmental modelling of water hardness — Implications for utilising harvested rainwater in washing machines*. **Science of the Total Environment**, vol. 470-471, p. 1257-1271, 2014.

MORALES-PINZÓN, T.; LURUEÑA, R.; GABARRELL, X.; GASOL, C. M.; RIERADEVALL, J. *Modelling for economic cost and environmental analysis of rainwater harvesting systems*. **Journal of Cleaner Production**, vol. 87, p. 613-623, 2015.

NAZER, D. W.; SIEBEL, M. A.; VAN DER ZAAG, P.; MIMI, Z.; GIJZEN, H. J. A *Financial, Environmental and Social Evaluation of Domestic Water Management Options in the West Bank, Palestine* DOI 10.1007/s11269-010-9667-z

ONU: ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Declaração Universal dos Direitos Humanos**. Paris, 1948, 17 p. Disponível em: <http://www.dudh.org.br/wp-content/uploads/2014/12/dudh.pdf>, acesso em: 16/12/2015.

PACHECO, G. C. R. **Análise de Opções Reais como Método de Avaliação Econômica de Sistemas Prediais de Aproveitamento de Água Pluvial**. 2016.133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil na área de concentração de Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Estruturas, Geotecnia e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

PRE CONSULTANTS - Product Ecology Consultants, **Introduction into LCA with SimaPRO 8**. San Francisco, California, United States, 2016.

RACOVICIANU, A. I.; KARNEY, B. W.; *Life-Cycle Perspective on Residential Water Conservation Strategies*. 2010. DOI: 10.1061/ ASCE 1076-0342 2010 16:1 40

RYGAARD, M.; GODSKESEN, B.; JØRGENSEN, C.; HOFFMANN, B. *Holistic assessment of a secondary water supply for a new development in Copenhagen, Denmark*. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.07.078>.

RODRIGUES, E. R. **Aplicação Integrada de ACV e MCDA para a tomada de decisão do sistema de tratamento do resíduo sólido orgânico dos restaurantes universitários da UNICAMP**. 354 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil na área de concentração de Saneamento e Ambiente) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, fev. 2017.

RUIZ, J. A.; GRANJA, A. D. Um Mapeamento Sistemático da Literatura Sobre a Relação entre Valor e Colaboração na Construção, In: 8º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, *Anais eletrônicos...* 2013, Salvador – BA, 14p.

SHAH, D.; PATEL, P.; KUDO, P.; STEINBERG, A.; HEROLD, W. *Feasibility of Rainwater Harvesting on Scott Laboratory: Rainwater Harvesting at OSU. IEEE 2013 Global Humanitarian Technology Conference*. DOI: 978-1-4799-2402-8/13/\$31.00

SILVA, L. P. **Análise do Ciclo de Vida Energético de Habitações de Interesse Social**. 2012. 185p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2012.

SILVA, B. V. **Construção de ferramenta para avaliação do ciclo de vida de edificações**. Dissertação (Mestrado em Energia), São Paulo, Universidade de São Paulo (Escola Politécnica / Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade / Instituto de Energia e Ambiente / Instituto de Física), São Paulo, 2013. 146 p.

SINAPI: SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTO E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Custo de Composições** – Sintético. Goiânia, 2016a, 483 p. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>, acesso em: fev. 2017.

SINAPI: SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTO E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Preços e Insumos**. Goiânia 2016b, 131 p. Disponível em:

<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>, acesso em: fev. 2017.

SNIS: SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Consumo diário médio per capita de água potável no Brasil**. Disponível em: www.snis.gov.br/, acesso em: 03 de novembro de 2016.

SOUST-VERDAGUER, B.; LLATAS, C.; GARCÍA-MARTÍNEZ, A. *Simplification in life cycle assessment of single-family houses: A review of recent developments*. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.014>.

TAVARES, S. F. **Metodologia De Análise do Ciclo de Vida Energético de Edificações Residenciais Brasileiras**. 2006. 225p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, abr. 2006.

VALDEZ, M. C.; ADLER, I.; BARRETT, M.; OCHOA, R.; PÉREZ, A. *The Water-Energy-Carbon Nexus: Optimising Rainwater Harvesting in Mexico City*. 2016. DOI: DOI 10.1007/s40710-016-0138-2.

VARGAS-PARRAA, M. V.; VILLALBAA, G.; GABARRELL, X. *Applying exergy analysis to rainwater harvesting systems to assess resource efficiency*. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 72 , p. 50–59, 2013.

VIALLE, C.; BUSSET, G.; TANFIN, L.; MONTREJAUD-VIGNOLES, M.; HUAU, M.-C.; SABLAYROLLES, C. *Environmental analysis of a domestic rainwater harvesting system: A case study in France*. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.07.024>.

VIEIRA, M. **Análise de Processos Construtivos e elaboração de composição de serviços de obra de esgotamento sanitário**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), SC, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2011. 53 p.

VINHAL, L. D. **Estudo De Indicadores Ambientais De Blocos Cerâmicos Com Base Em Avaliação Do Ciclo De Vida, Considerando O Contexto Brasileiro**. Dissertação (Mestrado – Área de concentração de sistemas construtivos), São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

WARD, S.; BUTLER, D.; MEMOM, F. A. *Benchmarking energy consumption and CO2 emissions from Rainwater-harvesting systems: na improved method by proxy*. **Water and Environment Journal**, vol. 26, p. 184 – 190.

YRUSKA, I. **Aproveitamento da Água de Chuva para Consumo não Potável em Condomínios Horizontais da Cidade De João Pessoa – PB**. 2008. 107p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, jul. 2008.

ZHI-YUN, J.; XIAO-YAN, L.; YU-JUN, M. *Water and Energy Conservation of Rainwater Harvesting System in the Loess Plateau of China*. **Journal of Integrative Agriculture**, vol. 12, p. 1389-1395, 2013.

ZHU, K.; ZHANG, L.; HART, W.; LIU, M.; CHEN, H.; Quality issues in harvested rainwater in arid and semi-arid Loess Plateau of northern China. **Journal of Arid Environments**, China, v. 57, f.4, p. 487 – 505, 2004.

APÊNDICE

Tabela A1 – Quantitativo de materiais do cenário individual da base de dados nacional

		Base de Dados Nacional								
DESCRIÇÃO	UNID.	QTDE/HAB	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	EE (MJ/kg)	EE Total (MJ/kg)	EC (KgCO2eq/kg)	EC Total (KgCO2eq/kg)	
PRÉ-OPERACIONAL										
COLETA						COLETA				
CALHA	CALHA DE BEIRAL, SEMICIRCULAR DE PVC, DIAMETRO 125 MM, INCLUINDO CABECEIRAS, EMENDAS, BOCAIS, SUPORTES E VEDAÇÕES, EXCLUINDO CONDUTORES, INC									
	METROS	16,34	604,58	0,80	483,66	80,00	38.693,12	4,718	2.281,97	
COND. VERT.	CURVA DE PVC, 90 GRAUS, SERIE R, DN 75 MM, PARA ESGOTO PREDIAL									
	UN.	4,00	148,00	0,05	7,40	80,00	592,00	4,718	34,91	
	LUA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 75 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL									
	UN.	4,00	148,00	0,05	7,40	80,00	592,00	4,718	34,91	
	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 75 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)									
	METROS	9,36	346,32	0,70	242,42	80,00	19.393,92	4,718	1.143,78	
REDUCAO EXCENTRICA PVC P/ ESG PREDIAL DN 100 X 75MM										
UN.	2,00	74,00	0,05	3,70	80,00	296,00	4,718	17,46		
CURVA DE PVC, 90 GRAUS, SERIE R, DN 100 MM, PARA ESGOTO PREDIAL										
UN.	2,00	74,00	0,05	3,70	80,00	296,00	4,718	17,46		
LUA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 100 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL										
UN.	2,00	74,00	0,05	3,70	80,00	296,00	4,718	17,46		
COND. HORIZ.	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 100 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)									
	METROS	13,99	517,63	0,75	388,22	80,00	31.057,80	4,718	1.831,66	
	REDUCAO EXCENTRICA PVC NBR 10569 P/REDE COLET ESG PB JE 150 X 100MM									
	UN.	2,00	74,00	0,05	3,70	80,00	296,00	4,718	17,46	
	JUNCAO SIMPLES, PVC LEVE, 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL									
UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,718	8,73		
LUA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 150 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL										
METROS	1,00	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,718	8,73		
TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)										
UN.	2,53	93,61	0,80	74,89	80,00	5.991,04	4,718	353,33		

Tabela A1 (Continuação) – Quantitativo de materiais do cenário individual da base de dados nacional

DESCRÇÃO	UNID.	QTDE/HAB	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	Base de Dados Nacional				
						EE (MJ/kg)	EE Total (MJ/kg)	EC (KgCO2eq/kg)	EC Total (KgCO2eq/kg)	
PRÉ-OPERACIONAL										
COLETA						COLETA				
ELEM. DESCARTE	TE, PVC, SERIE R, 150 X 100 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,718	8,73
	CAP PVC, SOLDAVEL, DN 100 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,718	8,73
	LUVA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 150 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,718	8,73
	TE, PVC, SERIE R, 150 X 100 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,718	8,73
	REDUCAO EXCENTRICA PVC NBR 10569 P/REDE COLET ESG PB JE 150 X 100MM	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,718	8,73
	JOELHO PVC LEVE, 90 GRAUS, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,718	8,73
	LUVA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 150 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	2,00	74,00	0,05	3,70	80,00	296,00	4,718	17,46
	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)	METROS	4,00	148,00	0,80	118,40	80,00	9.472,00	4,718	558,62
	CAP PVC, SOLDAVEL, DN 50 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,718	8,73
	RESERVATÓRIO INFERIOR	CURVA DE PVC, 90 GRAUS, SERIE R, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,718
LUVA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 150 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL		UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,718	8,73
CAIXA D'AGUA EM POLIETILENO 500 LITROS, COM TAMPA (FUNÇÃO CUSTO)		UN.	1,00	37,00	10,50	388,50	95,00	36.907,50	0,358	139,08

Tabela A1 (Continuação) – Quantitativo de materiais do cenário individual da base de dados nacional

		Base de Dados Nacional								
DESCRIÇÃO	UNID.	QTDE/HAB	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	EE (MJ/kg)	EE Total (MJ/kg)	EC (KgCO2 eq/kg)	EC Total (KgCO2 eq/kg)	
PRÉ-OPERACIONAL										
COLETA					COLETA					
EXTRAVASOR	ADAPTADOR PVC SOLDAREL CURTO COM BOLSA E ROSCA, 110 MM X 4", PARA AGUA FRIA	UN.	4,00	148,00	0,01	1,48	80,00	118,40	4,718	6,98
	JOELHO PVC, SOLDAREL, PB, 90 GRAUS, DN 100 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	4,00	148,00	0,05	7,40	80,00	592,00	4,718	34,91
	TE SANITARIO, PVC, DN 100 X 100 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	2,00	74,00	0,05	3,70	80,00	296,00	4,718	17,46
	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 100 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)	METROS	2,90	107,30	0,75	80,48	80,00	6.438,00	4,718	379,69
DISTRIBUIÇÃO										
BOMBA	BOMBA CENTRIFUGA MOTOR ELETRICO MONOFASICO 0,50 CV DIAMETRO DE SUCCAO X ELEVACAO 3/4" X 3/4", MONOESTAGIO, DIAMETRO DOS ROTORES 114 MM, HM/Q: 2 M / 2,99 M3/H A 24 M / 0,71 M3/H	UNID.	2,00	74,00	8,00	592,00	31,00	18.352,00	3,070	1.817,
	ADAPTADOR PVC SOLDAREL, COM FLANGES LIVRES, 25 MM X 3/4", PARA CAIXA D' AGUA	UN.	1,00	37,00	0,01	0,37	80,00	29,60	4,718	1,
	TUBO PVC, SOLDAREL, DN 25 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	1,00	37,00	0,04	1,48	80,00	118,40	4,718	6,
	JOELHO PVC, SOLDAREL, 90 GRAUS, 25 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,718	8,
ATÉ RES. SUP.	ADAPTADOR PVC SOLDAREL, COM FLANGES LIVRES, 110 MM X 4", PARA CAIXA D' AGUA	UN.	1,00	37,00	0,01	0,37	80,00	29,60	4,718	1,
	REGISTRO DE PRESSAO PVC, SOLDAREL, VOL.SIMPLES, DE 20 MM	UN.	1,00	37,00	0,10	3,70	71,60	264,92	2,957	10,
	TUBO PVC, SOLDAREL, DN 20 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	19,69	728,53	0,03	21,86	80,00	1.748,47	4,718	103,
	LUVA PVC SOLDAREL, 20 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	3,00	111,00	0,05	5,55	80,00	444,00	4,718	26,
	JOELHO, PVC SOLDAREL, 45 GRAUS, 20 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,718	8,
JOELHO PVC, SOLDAREL, 90 GRAUS, 20 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	5,00	185,00	0,05	9,25	80,00	740,00	4,718	43,	

Tabela A1 (Continuação) – Quantitativo de materiais do cenário individual da base de dados nacional

		Base de Dados Nacional								
DESCRIÇÃO	UNID.	QTDE/ HAB	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	EE (MJ/kg)	EE Total (MJ/kg)	EC (KgCO2eq/kg)	EC Total (KgCO2eq/kg)	
PRÉ-OPERACIONAL										
DISTRIBUIÇÃO										
RESERVATÓRIO SUPERIOR	CAIXA D'AGUA EM POLIETILENO 500 LITROS, COM TAMPA	UN.	1,00	37,00	10,50	388,50	95,00	36.907,50	0,358	139,08
	VÁLVULA SOLENÓIDE	UN.	1,00	37,00	1,50	55,50	95,00	5.272,50	0,238	13,21
	TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 20 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	1,00	37,00	0,03	1,11	80,00	88,80	4,718	5,24
	ADAPTADOR PVC SOLDAVEL, COM FLANGE E ANEL DE VEDACAO, 20 MM X 1/2", PARA CAIXA UN 9,80 D'AGUA	UN.	2,00	74,00	0,01	0,74	80,00	59,20	4,718	3,49
EXTRAVASOR	REGISTRO DE ESFERA, PVC, COM VOLANTE, VS, SOLDAVEL, DN 20 MM, COM CORPO DIVIDIDO	UN.	2,00	74,00	0,10	7,40	71,60	529,84	2,957	21,88
	ADAPTADOR PVC SOLDAVEL, COM FLANGE E ANEL DE VEDACAO, 50 MM X 1 1/2", PARA CAIXA D'AGUA	UN.	2,00	74,00	0,01	0,74	80,00	59,20	4,718	3,49
	JOELHO PVC, SOLDAVEL, 90 GRAUS, 50 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	2,00	74,00	0,05	3,70	80,00	296,00	4,718	17,46
	TE SOLDAVEL, PVC, 90 GRAUS, 50 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL (NBR 5648)	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,718	8,73
INTERIOR CASA	TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 50 MM, PARA AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	1,63	60,31	0,05	3,02	80,00	241,24	4,718	14,23
	ADAPTADOR PVC SOLDAVEL, COM FLANGE E ANEL DE VEDACAO, 40 MM X 1 1/4", PARA CAIXA D'AGUA	UN.	1,00	37,00	0,01	0,37	80,00	29,60	4,718	1,75
	REGISTRO DE ESFERA, PVC, COM VOLANTE, VS, SOLDAVEL, DN 40 MM, COM CORPO DIVIDIDO	UN.	1,00	37,00	0,10	3,70	71,60	264,92	2,957	10,94
	TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 40 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	0,40	14,80	0,04	0,59	80,00	47,36	4,718	2,79
	TE DE REDUCAO, PVC, SOLDAVEL, 90 GRAUS, 40 MM X 32 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,718	8,73
	BUCHA DE REDUCAO DE PVC, SOLDAVEL, LONGA, COM 40 X 25 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,718	8,73
TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 32 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	3,97	146,89	0,04	5,88	80,00	470,05	4,718	27,72	

Tabela A1 (Continuação) – Quantitativo de materiais do cenário individual da base de dados nacional

DESCRIÇÃO	UNID.	QTDE/HAB	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	Base de Dados Nacional				
						EE (MJ/kg)	EE Total (MJ/kg)	EC (KgCO2eq/kg)	EC Total (KgCO2eq/kg)	
PRÉ-OPERACIONAL										
DISTRIBUIÇÃO										
INTERIOR CASA	JOELHO PVC, SOLDAVEL, 90 GRAUS, 32 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	3,00	111,00	0,05	5,55	80,00	444,00	4,718	26,19
	JOELHO PVC, SOLDAVEL, COM BUCHA DE LATAO, 90 GRAUS, 32 MM X 3/4", PARA AGUA FRIA	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,718	8,73
	TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 25 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	9,21	340,77	0,04	13,63	80,00	1.090,46	4,718	64,31
	JOELHO PVC, SOLDAVEL, 90 GRAUS, 25 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	2,00	74,00	0,05	3,70	80,00	296,00	4,718	17,46
	TE PVC, SOLDAVEL, COM BUCHA DE LATAO NA BOLSA CENTRAL, 90 GRAUS, 25 MM X 1/2", PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,718	8,73
	JOELHO PVC, SOLDAVEL, COM BUCHA DE LATAO, 90 GRAUS, 25 MM X 1/2", PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,718	8,73
	ESCAVAÇÃO TOTAL ¹	L		414,00			37,00	15.318,00	3,276	1356,26
OPERACIONAL										
BOMBAS								237.522,24		24.061,00
TOTAL INDIVIDUAL								475.099,68		34.868,73

Tabela A2 – Quantitativo de materiais do cenário coletivo da base de dados nacional

Banco de Dados Nacional									
DESCRIÇÃO		UNID.	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	EE (MJ/kg)	EE Total (MJ/kg)	EC (KgCO2/Kg)	ECTotal (KgCO2/Kg)
PRÉ-OPERACIONAL					PRÉ-OPERACIONAL				
COLETA					COLETA				
CALHA	CALHA DE BEIRAL, SEMICIRCULAR DE PVC, DIAMETRO 125 MM, INCLUINDO CABECEIRAS, EMENDAS, BOCAIS, SUPORTES E VEDAÇÕES, EXCLUINDO CONDUTORES, INC	METROS	604,58	0,80	483,66	80,00	38.693,12	4,72	2.281,97
	CURVA DE PVC, 90 GRAUS, SERIE R, DN 75 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	148,00	0,05	7,40	80,00	592,00	4,72	34,91
COND. VERT.	LUVA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 75 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	148,00	0,05	7,40	80,00	592,00	4,72	34,91
	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 75 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)	METROS	346,32	0,70	242,42	80,00	19.393,92	4,72	1.143,78
	REDUCAO EXCENTRICA PVC P/ ESG PREDIAL DN 100 X 75MM	UN.	74,00	0,05	3,70	80,00	296,00	4,72	17,46
	CURVA DE PVC, 90 GRAUS, SERIE R, DN 100 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	74,00	0,05	3,70	80,00	296,00	4,72	17,46
	LUVA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 100 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	74,00	0,05	3,70	80,00	296,00	4,72	17,46
	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 100 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)	METROS	517,63	0,75	388,22	80,00	31.057,80	4,72	1.831,66
COND. HORIZ.	REDUCAO EXCENTRICA PVC NBR 10569 P/REDE COLET ESG PB JE 150 X 100MM	UN.	74,00	0,05	3,70	80,00	296,00	4,72	17,46
	JUNCAO SIMPLES, PVC LEVE, 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,72	8,73
	LUVA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 150 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	METROS	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,72	8,73
	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)	UN.	59,20	0,80	47,36	80,00	3.788,80	4,72	223,45

Tabela A2 (Continuação) – Quantitativo de materiais do cenário coletivo da base de dados nacional

Banco de Dados Nacional									
DESCRIÇÃO	UNID.	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	EE (MJ/kg)	EE Total (MJ/kg)	EC (KgCO2/Kg)	ECTotal (KgCO2/Kg)	
PRÉ-OPERACIONAL					PRÉ-OPERACIONAL				
COLETA					COLETA				
ELEM. DESCARTE	TE, PVC, SERIE R, 150 X 100 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,72	8,73
	REDUCAO EXCENTRICA PVC NBR 10569 P/REDE COLET ESG PB JE 150 X 100MM	UN.	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,72	8,73
	JOELHO PVC LEVE, 90 GRAUS, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,72	8,73
	LUVA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 150 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	74,00	0,05	3,70	80,00	296,00	4,72	17,46
	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)	METROS	148,00	0,80	118,40	80,00	9.472,00	4,72	558,62
	CAP PVC, SOLDAVEL, DN 50 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,72	8,73
DN 150	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)	UN.	279,66	0,80	223,73	80,00	17.898,24	4,72	1.055,57
	CURVA DE PVC, 45 GRAUS, SERIE R, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	39,00	0,05	1,95	80,00	156,00	4,80	9,36
	LUVA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 150 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	88,00	0,05	4,40	80,00	352,00	4,72	20,76
DN 200	JUNCAO SIMPLES, PVC LEVE, 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	3,00	0,05	0,15	80,00	12,00	4,72	0,71
	REDUCAO EXCENTRICA PVC LEVE DN 200 X 150MM	UN.	34,00	0,05	1,70	80,00	136,00	4,72	8,02
	JUNCAO, PVC, 45 GRAUS, JE, BBB, DN 200 MM, PARA REDE COLETORA DE ESGOTO (NBR 10569)	UN.	1,00	0,06	0,06	80,00	4,80	4,72	0,28

Tabela A2 (Continuação) – Quantitativo de materiais do cenário coletivo da base de dados nacional

Banco de Dados Nacional									
DESCRIÇÃO	UNID.	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	EE (MJ/kg)	EE Total (MJ/kg)	EC (KgCO2/Kg)	ECTotal (KgCO2/Kg)	
PRÉ-OPERACIONAL					PRÉ-OPERACIONAL				
COLETA					COLETA				
DN 200	TUBO DE PVC PARA REDE COLETORA DE ESGOTO DE PAREDE MACIÇA, DN 200 MM, JUNTA ELÁSTICA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL BAIXO DE INTERFERÊNCIAS -FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO.	METROS	9,66	0,85	8,21	80,00	656,88	4,44	36,46
	LUVA DUPLA, PVC LEVE, DN 200 MM	UN.	2,00	0,06	0,12	80,00	9,60	4,72	0,57
	TE, PVC LEVE, CURTO, 90 GRAUS, 200 MM, PARA ESGOTO	UN.	1,00	0,06	0,06	80,00	4,80	4,72	0,28
	LUVA DE CORRER PVC, JE, DN 200 MM, PARA REDE COLETORA DE ESGOTO (NBR 10569)	UN.	1,00	0,03	0,03	80,00	2,40	4,72	0,14
DN 250	REDUCAO EXCENTRICA PVC NBR 10569 P/REDE COLET ESG PB JE 250 X 200MM	UN.	32,00	0,05	1,60	80,00	128,00	4,72	7,55
	JUNCAO, PVC, 45 GRAUS, JE, BBB, DN 250 MM, PARA REDE COLETORA DE ESGOTO (NBR10569)	UN.	4,00	0,06	0,24	80,00	19,20	4,72	1,13
	TUBO DE PVC PARA REDE COLETORA DE ESGOTO DE PAREDE MACIÇA, DN 250 MM,	METROS	20,00	0,90	18,00	80,00	1.440,00	4,19	75,49
	LUVA DE CORRER PVC, JE, DN 250 MM, DE ESGOTO (NBR 10569)	UN.	7,00	0,03	0,21	80,00	16,80	4,72	0,99
DN 300	REDUCAO EXCENTRICA PVC NBR 10569 P/REDE COLET ESG PB JE 300 X 250MM	UN.	28,00	0,05	1,40	80,00	112,00	4,72	6,61
	JUNCAO, PVC, 45 GRAUS, JE, BBB, DN 300 MM, PARA REDE COLETORA DE ESGOTO (NBR10569)	UN.	25,00	0,06	1,50	80,00	120,00	4,72	7,08
	TUBO DE PVC ESGOTO DE PAREDE MACIÇA, DN 300 MM, JUNTA ELÁSTICA,.	METROS	133,34	0,95	126,67	80,00	10.133,84	3,97	503,29
	LUVA DE CORRER PVC, JE, DN 300 MM, PARA REDE COLETORA DE ESGOTO (NBR 10569)	UN.	51,00	0,03	1,53	80,00	122,40	4,72	7,22
	CURVA PVC, PB, JE, 45 GRAUS, DN 300 MM, PARA REDE COLETORA ESGOTO (NBR 10569)	UN.	2,00	0,05	0,10	80,00	8,00	4,72	0,47
TE, PVC, 90 GRAUS, BBB, JE, DN 300 MM, PARA REDE COLETORA ESGOTO (NBR 10569)	UN.	2,00	0,06	0,12	80,00	9,60	4,72	0,57	

Tabela A2 (Continuação) – Quantitativo de materiais do cenário coletivo da base de dados nacional

Banco de Dados Nacional									
DESCRIÇÃO		UNID.	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	EE (MJ/kg)	EE Total (MJ/kg)	EC (KgCO2/Kg)	ECTotal (KgCO2/Kg)
PRÉ-OPERACIONAL					PRÉ-OPERACIONAL				
COLETA					COLETA				
RESERVATÓRIO INFERIOR	RESERVATÓRIO INFERIOR 27 m ³	UN.	1,00	18.646,84	18.646,84	1,70	31.639,75	0,09	1.710,18
	CURVA PVC, PB, JE, 90 GRAUS, DN 300 MM, PARA REDE COLETORA ESGOTO (NBR 10569)	UN.	1,00	0,05	0,05	80,00	4,00	4,72	0,24
	LUVA DE CORRER PVC, JE, DN 300 MM, PARA REDE COLETORA DE ESGOTO (NBR 10569)	UN.	1,00	0,03	0,03	80,00	2,40	4,72	0,14
EXTRAVASOR	ADAPTADOR PVC SOLDABEL CURTO COM BOLSA E ROSCA, 110 MM X 4", PARA AGUA FRIA	UN.	2,00	0,01	0,02	80,00	1,60	4,72	0,09
	JOELHO PVC, SOLDABEL, PB, 90 GRAUS, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	2,00	0,05	0,10	80,00	8,00	4,72	0,47
	TE, PVC LEVE, CURTO, 90 GRAUS, 150 MM, PARA ESGOTO	UN.	1,00	0,06	0,06	80,00	4,80	4,72	0,28
	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)	METROS	3,00	0,80	2,40	80,00	192,00	4,72	11,32
	ADAPTADOR PVC SOLDABEL CURTO COM BOLSA E ROSCA, 110 MM X 4", PARA AGUA FRIA	UN.	2,00	0,01	0,02	80,00	1,60	4,72	0,09
	JOELHO PVC LEVE, 90 GRAUS, DN 200 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	2,00	0,05	0,10	80,00	8,00	4,72	0,47
	TE, PVC LEVE, CURTO, 90 GRAUS, 200 MM, PARA ESGOTO	UN.	1,00	0,06	0,06	80,00	4,80	4,72	0,28
	TUBO DE PVC PARA REDE COLETORA DE ESGOTO DE PAREDE MACIÇA, DN 200 MM, JUNTA ELÁSTICA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL BAIXO DE INTERFERÊNCIAS -FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO.	METROS	3,00	0,90	2,70	80,00	216,00	4,19	11,32

Tabela A2 (Continuação) – Quantitativo de materiais do cenário coletivo da base de dados nacional

		Banco de Dados Nacional							
DESCRIÇÃO	UNID.	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	EE (MJ/kg)	EE Total (MJ/kg)	EC (KgCO2/Kg)	ECTotal (KgCO2/Kg)	
PRÉ-OPERACIONAL				PRÉ-OPERACIONAL					
DISTRIBUIÇÃO				DISTRIBUIÇÃO					
BOMBA	BOMBA CENTRIFUGA MOTOR ELETRICO TRIFASICO 14,8 HP, DIAMETRO DE SUCCAO X UN 5.030,01 ELEVACAO 2 1/2" X 2", DIAMETRO DO ROTOR 195 MM, HM/Q: 62 M / 55,5 M3/H A 80 M / 31,50 M3/H	UN.	2,00	16,00	32,00	31,00	992,00	3,07	98,24
	ADAPTADOR PVC SOLDAVEL CURTO COM BOLSA E ROSCA, 75 MM X 2 1/2", PARA AGUA FRIA	UN.	1,00	0,01	0,01	80,00	0,80	4,72	0,05
	TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 75 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	1,00	0,07	0,07	80,00	5,20	4,72	0,31
	JOELHO, PVC SOLDAVEL, 90 GRAUS, 75 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	1,00	0,05	0,05	80,00	4,00	4,72	0,24
ABASTECIMENTO RES. INFERIOR COLETIVO AO SUPERIOR DE CADA CASA	TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 60 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	1,00	0,06	0,06	80,00	4,80	4,72	0,28
	JOELHO PVC, SOLDAVEL, 90 GRAUS, 60 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	1,00	0,05	0,05	80,00	4,00	4,72	0,24
	REGISTRO DE ESFERA, PVC, COM DIVIDIDOVOLANTE, VS, SOLDAVEL, DN 60 MM, COM CORPO	UN.	1,00	0,10	0,10	71,60	7,16	2,96	0,30
	TE PVC, ROSCAVEL, 90 GRAUS, 2", AGUA FRIA PREDIAL	UN.	1,00	0,05	0,05	80,00	4,00	4,72	0,24
	LUVA DE REDUCAO SOLDAVEL, PVC, 60 MM X 50 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	2,00	0,05	0,10	80,00	8,00	4,72	0,47
	TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 50 MM, PARA AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	977,14	0,05	48,86	80,00	3.908,56	4,72	230,51
	TE PVC, ROSCAVEL, 90 GRAUS, 1 1/2", AGUA FRIA PREDIAL	UN.	35,00	0,05	1,75	80,00	140,00	4,72	8,26
ADAPTADOR PVC, ROSCAVEL, COM D'AGUA FLANGES E ANEL DE VEDACAO, 1 1/2", PARA CAIXA	UN.	37,00	0,01	0,37	80,00	29,60	4,72	1,75	

Tabela A2 (Continuação) – Quantitativo de materiais do cenário coletivo da base de dados nacional

Banco de Dados Nacional									
DESCRIÇÃO	UNID.	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	EE (MJ/kg)	EE Total (MJ/kg)	EC (KgCO2/Kg)	ECTotal (KgCO2/Kg)	
PRÉ-OPERACIONAL					PRÉ-OPERACIONAL				
DISTRIBUIÇÃO					DISTRIBUIÇÃO				
ABASTECIMENTO RES. INFERIOR COLETIVO AO SUPERIOR DE CADA CASA	REGISTRO DE ESFERA, PVC, COM DIVIDIDOVOLANTE, VS, SOLDAVEL, DN 50 MM, COM CORPO	UN.	37,00	0,10	3,70	71,60	264,92	2,96	10,94
	CAIXA D'AGUA EM POLIETILENO 500 LITROS, COM TAMPA	UN.	37,00	10,50	388,50	95,00	36.907,50	0,36	139,08
	TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 20 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	37,00	0,03	1,11	80,00	88,80	4,72	5,24
	JOELHO PVC, SOLDAVEL, 90 GRAUS, 50 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	190,00	0,05	9,50	80,00	760,00	4,72	44,82
	ADAPTADOR PVC SOLDAVEL, COM FLANGE E ANEL DE VEDACAO, 20 MM X 1/2", PARA CAIXA D'AGUA	UN.	74,00	0,01	0,74	80,00	59,20	4,72	3,49
	REGISTRO DE ESFERA, PVC, COM VOLANTE, VS, ROSCAVEL, DN 1/2", COM CORPO DIVIDIDO	UN.	74,00	0,10	7,40	71,60	529,84	2,96	21,88
VALVULA SOLENOIDE	VB	37,00	1,50	55,50	95,00	5.272,50	0,238	13,21	
EXTRAVASOR	ADAPTADOR PVC SOLDAVEL, COM FLANGE E ANEL DE VEDACAO, 50 MM X 1 1/2", PARA CAIXA D'AGUA	UN.	74,00	0,01	0,74	80,00	59,20	4,72	3,49
	JOELHO PVC, SOLDAVEL, 90 GRAUS, 50 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	74,00	0,05	3,70	80,00	296,00	4,72	17,46
	TE SOLDAVEL, PVC, 90 GRAUS, 50 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL (NBR 5648)	UN.	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,72	8,73
	TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 50 MM, PARA AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	60,31	0,05	3,02	80,00	241,24	4,72	14,23

Tabela A2 (Continuação) – Quantitativo de materiais do cenário coletivo da base de dados nacional

Banco de Dados Nacional									
DESCRIÇÃO	UNID.	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	EE (MJ/kg)	EE Total (MJ/kg)	EC (KgCO2/Kg)	ECTotal (KgCO2/Kg)	
PRÉ-OPERACIONAL				PRÉ-OPERACIONAL					
DISTRIBUIÇÃO				DISTRIBUIÇÃO					
INTERIOR CASA	ADAPTADOR PVC SOLDABEL, COM FLANGE E ANEL DE VEDACAO, 40 MM X 1 1/4", PARA CAIXA D'AGUA	UN.	37,00	0,01	0,37	80,00	29,60	4,72	1,75
	REGISTRO DE ESFERA, PVC, COM VOLANTE, VS, SOLDABEL, DN 40 MM, COM CORPO DIVIDIDO	UN.	37,00	0,10	3,70	71,60	264,92	2,96	10,94
	TUBO PVC, SOLDABEL, DN 40 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	14,80	0,04	0,59	80,00	47,36	4,72	2,79
	TE DE REDUCAO, PVC, SOLDABEL, 90 GRAUS, 40 MM X 32 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,72	8,73
	BUCHA DE REDUCAO DE PVC, SOLDABEL, LONGA, COM 40 X 25 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	37,00	0,50	18,50	80,00	1.480,00	3,38	62,52
	TUBO PVC, SOLDABEL, DN 32 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	146,89	0,04	5,88	80,00	470,05	4,72	27,72
	JOELHO PVC, SOLDABEL, 90 GRAUS, 32 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	111,00	0,05	5,55	80,00	444,00	4,72	26,19
	JOELHO PVC, SOLDABEL, COM BUCHA DE LATAO, 90 GRAUS, 32 MM X 3/4", PARA AGUA FRIA	UN.	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,72	8,73
	TUBO PVC, SOLDABEL, DN 25 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	340,77	0,04	13,63	80,00	1.090,46	4,72	64,31
	JOELHO PVC, SOLDABEL, 90 GRAUS, 25 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	74,00	0,05	3,70	80,00	296,00	4,72	17,46
	TE PVC, SOLDABEL, COM BUCHA DE LATAO NA BOLSA CENTRAL, 90 GRAUS, 25 MM X 1/2", PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,72	8,73
	JOELHO PVC, SOLDABEL, COM BUCHA DE LATAO, 90 GRAUS, 25 MM X 1/2", PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	37,00	0,05	1,85	80,00	148,00	4,72	8,73
	ESCAVAÇÃO TOTAL		450,00			37,00	16.650,00	3,276000	1.474,20
	OPERACIONAL				OPERACIONAL				
BOMBAS						58.320,00		1.641,06	
TOTAL				20987,17		298.802,86		13.833,67	

Tabela A3 – Quantitativo de materiais do cenário individual da base de dados internacional

		Base de Dados Internacional									
DESCRIÇÃO		UNID.	QTDE /HAB	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	EE (MJ/kg)	EE Total (MJ/kg)	EC (KgCO2eq/kg)	EC Total (KgCO2eq/kg)	
		PRÉ-OPERACIONAL					PRÉ-OPERACIONAL				
		COLETA					COLETA				
CALHA	CALHA DE BEIRAL, SEMICIRCULAR DE PVC, DIAMETRO 125 MM, INCLUINDO CABECEIRAS, EMENDAS, BOCAIS, SUPORTES E VEDAÇÕES, EXCLUINDO CONDUTORES, INC	METROS	16,34	604,58	0,80	483,66	67,50	32.647,32	2,500	1.209,16	
	CURVA DE PVC, 90 GRAUS, SERIE R, DN 75 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	4,00	148,00	0,05	7,40	77,20	571,28	2,410	17,83	
COND. VERT.	LUVA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 75 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	4,00	148,00	0,05	7,40	77,20	571,28	2,410	17,83	
	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 75 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)	METROS	9,36	346,32	0,70	242,42	67,50	16.363,62	2,500	606,06	
	REDUCAO EXCENTRICA PVC P/ ESG PREDIAL DN 100 X 75MM	UN.	2,00	74,00	0,05	3,70	77,20	285,64	2,410	8,92	
	CURVA DE PVC, 90 GRAUS, SERIE R, DN 100 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	2,00	74,00	0,05	3,70	77,20	285,64	2,410	8,92	
	LUVA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 100 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	2,00	74,00	0,05	3,70	77,20	285,64	2,410	8,92	
	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 100 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)	METROS	13,99	517,63	0,75	388,22	67,50	26.205,02	2,500	970,56	
COND. HORIZ.	REDUCAO EXCENTRICA PVC NBR 10569 P/REDE COLET ESG PB JE 150 X 100MM	UN.	2,00	74,00	0,05	3,70	77,20	285,64	2,410	8,92	
	JUNCAO SIMPLES, PVC LEVE, 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,410	4,46	
	LUVA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 150 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	METROS	1,00	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,410	4,46	
	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)	UN.	2,53	93,61	0,80	74,89	67,50	5.054,94	2,500	187,22	

Tabela A3 (Continuação) – Quantitativo de materiais do cenário individual da base de dados internacional

		Base de Dados Internacional								
DESCRIÇÃO		UNID.	QTDE /HAB	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	EE (MJ/kg)	EE Total (MJ/kg)	EC (KgCO2eq/kg)	EC Total (KgCO2eq/kg)
PRÉ-OPERACIONAL		PRÉ-OPERACIONAL								
COLETA		COLETA								
ELEM. DESCARTE	TE, PVC, SERIE R, 150 X 100 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,410	4,46
	CAP PVC, SOLDAVEL, DN 100 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,410	4,46
	LUVA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 150 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,410	4,46
	TE, PVC, SERIE R, 150 X 100 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,410	4,46
	REDUCAO EXCENTRICA PVC NBR 10569 P/REDE COLET ESG PB JE 150 X 100MM	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,410	4,46
	JOELHO PVC LEVE, 90 GRAUS, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,410	4,46
	LUVA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 150 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	2,00	74,00	0,05	3,70	77,20	285,64	2,410	8,92
	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 150 MM, ESG PREDIAL (NBR 5688)	METROS	4,00	148,00	0,80	118,40	67,50	7.992,00	2,500	296,00
	CAP PVC, SOLDAVEL, DN 50 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,410	4,46
RESERVATÓRIO INFERIOR	CURVA DE PVC, 90 GRAUS, SERIE R, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,410	4,46
	LUVA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 150 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,410	4,46
	CAIXA D'AGUA EM POLIETILENO 500 LITROS, COM TAMPA (FUNÇÃO CUSTO)	UN.	1,00	37,00	10,50	388,50	76,70	29.797,95	1,600	621,60
EXTRAVASOR	ADAPTADOR PVC SOLDAVEL CURTO COM BOLSA E ROSCA, 110 MM X 4", PARA AGUA FRIA	UN.	4,00	148,00	0,01	1,48	77,20	114,26	2,410	3,57
	JOELHO PVC, SOLDAVEL, PB, 90 GRAUS, DN 100 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	4,00	148,00	0,05	7,40	77,20	571,28	2,410	17,83
	TE SANITARIO, PVC, DN 100 X 100 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	2,00	74,00	0,05	3,70	77,20	285,64	2,410	8,92
	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 100 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)	METROS	2,90	107,30	0,75	80,48	67,50	5.432,06	2,500	201,19

Tabela A3 (Continuação) – Quantitativo de materiais do cenário individual da base de dados internacional

		Base de Dados Internacional								
DESCRIÇÃO	UNID.	QTDE /HAB	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	EE (MJ/kg)	EE Total (MJ/kg)	EC (KgCO2eq/kg)	EC Total (KgCO2eq/kg)	
PRÉ-OPERACIONAL					PRÉ-OPERACIONAL					
DISTRIBUIÇÃO					DISTRIBUIÇÃO					
BOMBA	BOMBA CENTRIFUGA MOTOR ELETRICO MONOFASICO 0,50 CV DIAMETRO DE SUCCAO X ELEVACAO 3/4" X 3/4", MONOESTAGIO, DIAMETRO DOS ROTORES 114 MM, HM/Q: 2 M / 2,99 M3/H A 24 M / 0,71 M3/H	UNID.	2,00	74,00	8,00	592,00	25,00	14.800,00	1,910	1.130,72
	ADAPTADOR PVC SOLDAVEL, COM FLANGES LIVRES, 25 MM X 3/4", PARA CAIXA D' AGUA	UN.	1,00	37,00	0,01	0,37	77,20	28,56	2,410	0,89
	TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 25 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	1,00	37,00	0,04	1,48	67,50	99,90	2,500	3,70
	JOELHO PVC, SOLDAVEL, 90 GRAUS, 25 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,410	4,46
ATÉ RES. SUP.	ADAPTADOR PVC SOLDAVEL, COM FLANGES LIVRES, 110 MM X 4", PARA CAIXA D' AGUA	UN.	1,00	37,00	0,01	0,37	77,20	28,56	2,410	0,89
	REGISTRO DE PRESSAO PVC, SOLDAVEL, VOLANTE SIMPLES, DE 20 MM	UN.	1,00	37,00	0,10	3,70	77,20	285,64	2,410	8,92
	TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 20 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	19,69	728,53	0,03	21,86	67,50	1.475,27	2,500	54,64
	LUVA PVC SOLDAVEL, 20 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	3,00	111,00	0,05	5,55	77,20	428,46	2,410	13,38
	JOELHO, PVC SOLDAVEL, 45 GRAUS, 20 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,410	4,46
	JOELHO PVC, SOLDAVEL, 90 GRAUS, 20 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	5,00	185,00	0,05	9,25	77,20	714,10	2,410	22,29
RESERVATÓRIO SUPERIOR	CAIXA D'AGUA EM POLIETILENO 500 LITROS, COM TAMPA	UN.	1,00	37,00	10,50	388,50	76,70	29.797,95	1,600	621,60
	VÁLVULA SOLENÓIDE	UN.	1,00	37,00	1,50	55,50	80,00	4.440,00	4,390	243,65
	TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 20 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	1,00	37,00	0,03	1,11	67,50	74,93	2,500	2,78
	ADAPTADOR PVC SOLDAVEL, COM FLANGE E ANEL DE VEDACAO, 20 MM X 1/2", PARA CAIXA UN 9,80 D'AGUA	UN.	2,00	74,00	0,01	0,74	77,20	57,13	2,410	1,78
REGISTRO DE ESFERA, PVC, COM VOLANTE, VS, SOLDAVEL, DN 20 MM, COM CORPO DIVIDIDO	UN.	2,00	74,00	0,10	7,40	77,20	571,28	2,410	17,83	

Tabela A3 (Continuação) – Quantitativo de materiais do cenário individual da base de dados internacional

DESCRIÇÃO	UNID.	QTDE /HAB	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	Base de Dados Internacional				
						EE (MJ/kg)	EE Total (MJ/kg)	EC (KgCO2eq/kg)	EC Total (KgCO2eq/kg)	
PRÉ-OPERACIONAL						PRÉ-OPERACIONAL				
DISTRIBUIÇÃO						DISTRIBUIÇÃO				
EXTRAVASOR	ADAPTADOR PVC SOLDABEL, COM FLANGE E ANEL DE VEDACAO, 50 MM X 1 1/2", PARA CAIXA D'AGUA	UN.	2,00	74,00	0,01	0,74	77,20	57,13	2,410	1,78
	JOELHO PVC, SOLDABEL, 90 GRAUS, 50 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	2,00	74,00	0,05	3,70	77,20	285,64	2,410	8,92
	TE SOLDABEL, PVC, 90 GRAUS, 50 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL (NBR 5648)	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,410	4,46
	TUBO PVC, SOLDABEL, DN 50 MM, PARA AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	1,63	60,31	0,05	3,02	67,50	203,55	2,500	7,54
INTERIOR CASA	ADAPTADOR PVC SOLDABEL, COM FLANGE E ANEL DE VEDACAO, 40 MM X 1 1/4", PARA CAIXA D'AGUA	UN.	1,00	37,00	0,01	0,37	77,20	28,56	2,410	0,89
	REGISTRO DE ESFERA, PVC, COM VOLANTE, VS, SOLDABEL, DN 40 MM, COM CORPO DIVIDIDO	UN.	1,00	37,00	0,10	3,70	77,20	285,64	2,410	8,92
	TUBO PVC, SOLDABEL, DN 40 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	0,40	14,80	0,04	0,59	67,50	39,96	2,500	1,48
	TE DE REDUCAO, PVC, SOLDABEL, 90 GRAUS, 40 MM X 32 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,410	4,46
	BUCHA DE REDUCAO DE PVC, SOLDABEL, LONGA, COM 40 X 25 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,410	4,46
TUBO PVC, SOLDABEL, DN 32 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	3,97	146,89	0,04	5,88	67,50	396,60	2,500	14,69	

Tabela A3 (Continuação) – Quantitativo de materiais do cenário individual da base de dados internacional

		Base de Dados Internacional								
DESCRIÇÃO		UNID.	QTDE /HAB	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	EE (MJ/kg)	EE Total (MJ/kg)	EC (KgCO2eq/kg)	EC Total (KgCO2eq/kg)
PRÉ-OPERACIONAL						PRÉ-OPERACIONAL				
DISTRIBUIÇÃO						DISTRIBUIÇÃO				
INTERIOR CASA	JOELHO PVC, SOLDAVEL, 90 GRAUS, 32 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	3,00	111,00	0,05	5,55	77,20	428,46	2,410	13,38
	JOELHO PVC, SOLDAVEL, COM BUCHA DE LATAO, 90 GRAUS, 32 MM X 3/4", PARA AGUA FRIA	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,410	4,46
	TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 25 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	9,21	340,77	0,04	13,63	67,50	920,08	2,500	34,08
	JOELHO PVC, SOLDAVEL, 90 GRAUS, 25 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	2,00	74,00	0,05	3,70	77,20	285,64	2,410	8,92
	TE PVC, SOLDAVEL, COM BUCHA DE LATAO NA BOLSA CENTRAL, 90 GRAUS, 25 MM X 1/2", PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,410	4,46
	JOELHO PVC, SOLDAVEL, COM BUCHA DE LATAO, 90 GRAUS, 25 MM X 1/2", PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	1,00	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,410	4,46
	ESCAVAÇÃO TOTAL ¹	L		414,00			8,46	3.503,68	1,238	512,37
OPERACIONAL						OPERACIONAL				
BOMBAS								237.522,24		86.980,64
TOTAL INDIVIDUAL								426.507,39		94.003,73

Tabela A4 – Quantitativo de materiais do cenário coletivo da base de dados internacional

Banco de Dados Internacional									
DESCRIÇÃO		UNID.	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	EE (MJ/kg)	EE Total (MJ/Kg)	EC (KgCO2/Kg)	ECTotal (KgCO2/Kg)
PRÉ-OPERACIONAL					PRÉ-OPERACIONAL				
COLETA					COLETA				
CALHA	CALHA DE BEIRAL, SEMICIRCULAR DE PVC, DIAMETRO 125 MM, INCLUINDO CABECEIRAS, EMENDAS, BOCAIS, SUPORTES E VEDAÇÕES, EXCLUINDO CONDUTORES, INC	METROS	604,58	0,80	483,66	67,50	32.647,32	2,50	1.209,16
	CURVA DE PVC, 90 GRAUS, SERIE R, DN 75 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	148,00	0,05	7,40	77,20	571,28	2,41	17,83
	LUVA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 75 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	148,00	0,05	7,40	77,20	571,28	2,41	17,83
COND. VERT.	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 75 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)	METROS	346,32	0,70	242,42	67,50	16.363,62	2,50	606,06
	REDUCAO EXCENTRICA PVC P/ ESG PREDIAL DN 100 X 75MM	UN.	74,00	0,05	3,70	77,20	285,64	2,41	8,92
	CURVA DE PVC, 90 GRAUS, SERIE R, DN 100 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	74,00	0,05	3,70	77,20	285,64	2,41	8,92
	LUVA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 100 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	74,00	0,05	3,70	77,20	285,64	2,41	8,92
	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 100 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)	METROS	517,63	0,75	388,22	67,50	26.205,02	2,50	970,56
COND. HORIZ.	REDUCAO EXCENTRICA PVC NBR 10569 P/REDE COLET ESG PB JE 150 X 100MM	UN.	74,00	0,05	3,70	77,20	285,64	2,41	8,92
	JUNCAO SIMPLES, PVC LEVE, 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,41	4,46
	LUVA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 150 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	METROS	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,41	4,46
	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)	UN.	59,20	0,80	47,36	67,50	3.196,80	2,50	118,40

Tabela A4 (Continuação) – Quantitativo de materiais do cenário coletivo da base de dados internacional

Banco de Dados Internacional									
DESCRIÇÃO	UNID.	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	EE MJ/kg	EE Total	EC (KgCO2/Kg)	ECTotal	
PRÉ-OPERACIONAL					PRÉ-OPERACIONAL				
COLETA					COLETA				
ELEM. DESCARTE	TE, PVC, SERIE R, 150 X 100 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,41	4,46
	REDUCAO EXCENTRICA PVC NBR 10569 P/REDE COLET ESG PB JE 150 X 100MM	UN.	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,41	4,46
	JOELHO PVC LEVE, 90 GRAUS, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,41	4,46
	LUVA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 150 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	74,00	0,05	3,70	77,20	285,64	2,41	8,92
	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)	METROS	148,00	0,80	118,40	67,50	7.992,00	2,50	296,00
	CAP PVC, SOLDAVEL, DN 50 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,41	4,46
DN 150	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)	UN.	279,66	0,80	223,73	67,50	15.101,64	2,50	559,32
	CURVA DE PVC, 45 GRAUS, SERIE R, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	39,00	0,05	1,95	77,20	150,54	2,41	4,70
	LUVA SIMPLES, PVC, SOLDAVEL, DN 150 MM, SERIE NORMAL, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	88,00	0,05	4,40	77,20	339,68	2,41	10,60
DN 200	JUNCAO SIMPLES, PVC LEVE, 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	3,00	0,05	0,15	77,20	11,58	2,41	0,36
	REDUCAO EXCENTRICA PVC LEVE DN 200 X 150MM	UN.	34,00	0,05	1,70	77,20	131,24	2,41	4,10
	JUNCAO, PVC, 45 GRAUS, JE, BBB, DN 200 MM, PARA REDE COLETORA DE ESGOTO (NBR 10569)	UN.	1,00	0,06	0,06	67,50	4,05	2,50	0,15

Tabela A4 (Continuação) – Quantitativo de materiais do cenário coletivo da base de dados internacional

Banco de Dados Internacional									
DESCRIÇÃO		UNID.	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	EE MJ/kg	EE Total	EC (KgCO2/Kg)	ECTotal
PRÉ-OPERACIONAL					PRÉ-OPERACIONAL				
COLETA					COLETA				
DN 200	TUBO DE PVC PARA REDE COLETORA DE ESGOTO DE PAREDE MACIÇA, DN 200 MM,	METROS	9,66	0,85	8,21	67,50	554,24	2,50	20,53
	LUVA DUPLA, PVC LEVE, DN 200 MM	UN.	2,00	0,06	0,12	77,20	9,26	2,41	0,29
	TE, PVC LEVE, CURTO, 90 GRAUS, 200 MM, PARA ESGOTO	UN.	1,00	0,06	0,06	77,20	4,63	2,41	0,14
	LUVA DE CORRER PVC, JE, DN 200 MM, PARA REDE COLETORA DE ESGOTO (NBR 10569)	UN.	1,00	0,03	0,03	77,20	2,32	2,41	0,07
DN 250	REDUCAO EXCENTRICA PVC NBR 10569 P/REDE COLET ESG PB JE 250 X 200MM	UN.	32,00	0,05	1,60	77,20	123,52	2,41	3,86
	JUNCAO, PVC, 45 GRAUS, JE, BBB, DN 250 MM, PARA REDE COLETORA DE ESGOTO (NBR10569)	UN.	4,00	0,06	0,24	77,20	18,53	2,41	0,58
	TUBO DE PVC PARA REDE COLETORA DE ESGOTO DE PAREDE MACIÇA, DN 250 MM,	METROS	20,00	0,90	18,00	67,50	1.215,00	2,50	45,00
	LUVA DE CORRER PVC, JE, DN 250 MM, PARA REDE COLETORA DE ESGOTO (NBR 10569)	UN.	7,00	0,03	0,21	77,20	16,21	2,41	0,51
DN 300	REDUCAO EXCENTRICA PVC NBR 10569 P/REDE COLET ESG PB JE 300 X 250MM	UN.	28,00	0,05	1,40	77,20	108,08	2,41	3,37
	JUNCAO, PVC, 45 GRAUS, JE, BBB, DN 300 MM, PARA REDE COLETORA DE ESGOTO (NBR10569)	UN.	25,00	0,06	1,50	77,20	115,80	2,41	3,62
	TUBO DE PVC PARA REDE COLETORA DE ESGOTO DE PAREDE MACIÇA, DN 300 MM,	METROS	133,34	0,95	126,67	67,50	8.550,43	2,50	316,68
	LUVA DE CORRER PVC, JE, DN 300 MM, PARA REDE COLETORA DE ESGOTO (NBR 10569)	UN.	51,00	0,03	1,53	77,20	118,12	2,41	3,69
	CURVA PVC, PB, JE, 45 GRAUS, DN 300 MM, PARA REDE COLETORA ESGOTO (NBR 10569)	UN.	2,00	0,05	0,10	77,20	7,72	2,41	0,24
	TE, PVC, 90 GRAUS, BBB, JE, DN 300 MM, PARA REDE COLETORA ESGOTO (NBR 10569)	UN.	2,00	0,06	0,12	77,20	9,26	2,41	0,29

Tabela A4 (Continuação) – Quantitativo de materiais do cenário coletivo da base de dados internacional

Banco de Dados Internacional									
DESCRIÇÃO		UNID.	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	EE MJ/kg	EE Total	EC (KgCO2/Kg)	ECTotal
PRÉ-OPERACIONAL					PRÉ-OPERACIONAL				
COLETA					COLETA				
RESERVATÓRIO INFERIOR	RESERVATÓRIO INFERIOR 27 m ³	UN.	1,00	18.646,84	18.646,84	1,34	25.039,32	0,15	2.859,31
	CURVA PVC, PB, JE, 90 GRAUS, DN 300 MM, PARA REDE COLETORA ESGOTO (NBR 10569)	UN.	1,00	0,05	0,05	77,20	3,86	2,41	0,12
	LUVA DE CORRER PVC, JE, DN 300 MM, PARA REDE COLETORA DE ESGOTO (NBR 10569)	UN.	1,00	0,03	0,03	77,20	2,32	2,41	0,07
	ADAPTADOR PVC SOLDABEL CURTO COM BOLSA E ROSCA, 110 MM X 4", PARA AGUA FRIA	UN.	2,00	0,01	0,02	77,20	1,54	2,41	0,05
	JOELHO PVC, SOLDABEL, PB, 90 GRAUS, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	2,00	0,05	0,10	77,20	7,72	2,41	0,24
EXTRAVASOR	TE, PVC LEVE, CURTO, 90 GRAUS, 150 MM, PARA ESGOTO	UN.	1,00	0,06	0,06	77,20	4,63	2,41	0,14
	TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)	METROS	3,00	0,80	2,40	67,50	162,00	2,50	6,00
	ADAPTADOR PVC SOLDABEL CURTO COM BOLSA E ROSCA, 110 MM X 4", PARA AGUA FRIA	UN.	2,00	0,01	0,02	77,20	1,54	2,41	0,05
	JOELHO PVC LEVE, 90 GRAUS, DN 200 MM, PARA ESGOTO PREDIAL	UN.	2,00	0,05	0,10	77,20	7,72	2,41	0,24
	TE, PVC LEVE, CURTO, 90 GRAUS, 200 MM, PARA ESGOTO	UN.	1,00	0,06	0,06	77,20	4,63	2,41	0,14
TUBO DE PVC PARA REDE COLETORA DE ESGOTO DE PAREDE MACIÇA, DN 200 MM, JUNTA ELÁSTICA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL BAIXO DE INTERFERÊNCIAS -FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO.	METROS	3,00	0,90	2,70	67,50	182,25	2,50	6,75	

Tabela A4 (Continuação) – Quantitativo de materiais do cenário coletivo da base de dados internacional

Banco de Dados Internacional									
DESCRIÇÃO	UNID.	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	EE MJ/kg	EE Total	EC (KgCO2/Kg)	ECTotal	
PRÉ-OPERACIONAL					PRÉ-OPERACIONAL				
DISTRIBUIÇÃO					DISTRIBUIÇÃO				
BOMBA	BOMBA CENTRIFUGA MOTOR ELETRICO TRIFASICO 14,8 HP, DIAMETRO DE SUCCAO X UN 5.030,01 ELEVACAO 2 1/2" X 2", DIAMETRO DO ROTOR 195 MM, HM/Q: 62 M / 55,5 M3/H A 80 M / 31,50 M3/H	UN.	2,00	16,00	32,00	25,00	800,00	1,91	61,12
	ADAPTADOR PVC SOLDABEL CURTO COM BOLSA E ROSCA, 75 MM X 2 1/2", PARA AGUA FRIA	UN.	1,00	0,01	0,01	77,20	0,77	2,41	0,02
	TUBO PVC, SOLDABEL, DN 75 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	1,00	0,07	0,07	67,50	4,39	2,50	0,16
	JOELHO, PVC SOLDABEL, 90 GRAUS, 75 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	1,00	0,05	0,05	77,20	3,86	2,41	0,12
ABASTECIMENTO RES. INFERIOR COLETIVO AO SUPERIOR DE CADA CASA	TUBO PVC, SOLDABEL, DN 60 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	1,00	0,06	0,06	67,50	4,05	2,50	0,15
	JOELHO PVC, SOLDABEL, 90 GRAUS, 60 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	1,00	0,05	0,05	77,20	3,86	2,41	0,12
	REGISTRO DE ESFERA, PVC, COM DIVIDIDOVOLANTE, VS, SOLDABEL, DN 60 MM, COM CORPO	UN.	1,00	0,10	0,10	77,20	7,72	2,41	0,24
	TE PVC, ROSCAVEL, 90 GRAUS, 2", AGUA FRIA PREDIAL	UN.	1,00	0,05	0,05	77,20	3,86	2,41	0,12
	LUVA DE REDUCAO SOLDABEL, PVC, 60 MM X 50 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	2,00	0,05	0,10	77,20	7,72	2,41	0,24
	TUBO PVC, SOLDABEL, DN 50 MM, PARA AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	977,14	0,05	48,86	67,50	3.297,85	2,50	122,14
	TE PVC, ROSCAVEL, 90 GRAUS, 1 1/2", AGUA FRIA PREDIAL	UN.	35,00	0,05	1,75	77,20	135,10	2,41	4,22
ADAPTADOR PVC, ROSCAVEL, COM D'AGUA FLANGES E ANEL DE VEDACAO, 1 1/2", PARA CAIXA	UN.	37,00	0,01	0,37	77,20	28,56	2,41	0,89	

Tabela A4 (Continuação) – Quantitativo de materiais do cenário coletivo da base de dados internacional

Banco de Dados Internacional									
DESCRIÇÃO	UNID.	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	EE MJ/kg	EE Total	EC (KgCO2/Kg)	ECTotal	
PRÉ-OPERACIONAL					PRÉ-OPERACIONAL				
DISTRIBUIÇÃO					DISTRIBUIÇÃO				
ABASTECIMENTO RES. INFERIOR COLETIVO AC SUPERIOR DE CADA	REGISTRO DE ESFERA, PVC, COM DIVIDIDOVOLANTE, VS, SOLDAVEL, DN 50 MM, COM CORPO	UN.	37,00	0,10	3,70	77,20	285,64	2,41	8,92
	CAIXA D'AGUA EM POLIETILENO 500 LITROS, COM TAMPA	UN.	37,00	10,50	388,50	76,70	29.797,95	1,60	621,60
	TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 20 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	37,00	0,03	1,11	67,50	74,93	2,50	2,78
	JOELHO PVC, SOLDAVEL, 90 GRAUS, 50 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	190,00	0,05	9,50	77,20	733,40	2,41	22,90
	ADAPTADOR PVC SOLDAVEL, COM FLANGE E ANEL DE VEDACAO, 20 MM X 1/2", PARA CAIXA D'AGUA	UN.	74,00	0,01	0,74	77,20	57,13	2,41	1,78
	REGISTRO DE ESFERA, PVC, COM VOLANTE, VS, ROSCAVEL, DN 1/2", COM CORPO DIVIDIDO	UN.	74,00	0,10	7,40	77,20	571,28	2,41	17,83
EXTRAVASOR	VALVULA SOLENOIDE	VB	37,00	1,50	55,50	80,00	4.440,00	4,39	243,65
	ADAPTADOR PVC SOLDAVEL, COM FLANGE E ANEL DE VEDACAO, 50 MM X 1 1/2", PARA CAIXA D'AGUA	UN.	74,00	0,01	0,74	77,20	57,13	2,41	1,78
	JOELHO PVC, SOLDAVEL, 90 GRAUS, 50 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	74,00	0,05	3,70	77,20	285,64	2,41	8,92
	TE SOLDAVEL, PVC, 90 GRAUS, 50 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL (NBR 5648)	UN.	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,41	4,46
	TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 50 MM, PARA AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	60,31	0,05	3,02	67,50	203,55	2,50	7,54

Tabela A4 (Continuação) – Quantitativo de materiais do cenário coletivo da base de dados internacional

Banco de Dados Internacional									
DESCRIÇÃO	UNID.	QTDE (TOTAL)	Massa (Kg)	Massa total (kg)	EE MJ/kg	EE Total	EC (KgCO2/Kg)	ECTotal	
PRÉ-OPERACIONAL					PRÉ-OPERACIONAL				
DISTRIBUIÇÃO					DISTRIBUIÇÃO				
INTERIOR CASA	ADAPTADOR PVC SOLDAREL, COM FLANGE E ANEL DE VEDACAO, 40 MM X 1 1/4", PARA CAIXA D'AGUA	UN.	37,00	0,01	0,37	77,20	28,56	2,41	0,89
	REGISTRO DE ESFERA, PVC, COM VOLANTE, VS, SOLDAREL, DN 40 MM, COM CORPO DIVIDIDO	UN.	37,00	0,10	3,70	77,20	285,64	2,41	8,92
	TUBO PVC, SOLDAREL, DN 40 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	14,80	0,04	0,59	67,50	39,96	2,50	1,48
	TE DE REDUCAO, PVC, SOLDAREL, 90 GRAUS, 40 MM X 32 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,41	4,46
	BUCHA DE REDUCAO DE PVC, SOLDAREL, LONGA, COM 40 X 25 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	37,00	0,50	18,50	77,20	1.428,20	2,41	44,59
	TUBO PVC, SOLDAREL, DN 32 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	146,89	0,04	5,88	67,50	396,60	2,50	14,69
	JOELHO PVC, SOLDAREL, 90 GRAUS, 32 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	111,00	0,05	5,55	77,20	428,46	2,41	13,38
	JOELHO PVC, SOLDAREL, COM BUCHA DE LATAO, 90 GRAUS, 32 MM X 3/4", PARA AGUA FRIA	UN.	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,41	4,46
	TUBO PVC, SOLDAREL, DN 25 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	METROS	340,77	0,04	13,63	67,50	920,08	2,50	34,08
	JOELHO PVC, SOLDAREL, 90 GRAUS, 25 MM, PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	74,00	0,05	3,70	77,20	285,64	2,41	8,92
	TE PVC, SOLDAREL, COM BUCHA DE LATAO NA BOLSA CENTRAL, 90 GRAUS, 25 MM X 1/2", PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,41	4,46
	JOELHO PVC, SOLDAREL, COM BUCHA DE LATAO, 90 GRAUS, 25 MM X 1/2", PARA AGUA FRIA PREDIAL	UN.	37,00	0,05	1,85	77,20	142,82	2,41	4,46
	ESCAVAÇÃO TOTAL		450,00			8,46	3.808,35	1,24	556,92
OPERACIONAL					OPERACIONAL				
BOMBAS						58.320,00		5.932,44	
TOTAL				20987,17		249.301,80		14.924,22	

Tabela A5 – Resumo MSL

AUTORES	PAÍS	TIPOLOGIA DA EDIFICAÇÃO	OUTRAS ESTRATÉGIAS	USOS PREVISTOS (SPAAP)	BASE DE DADOS	MÉT. ACV	SOFT.	ACV	CENÁRIOS	VIDA ÚTIL	INDICADORES	RESERVATÓRIO	UNIDADE FUNCIONAL
NAZER et al., 2010	Palestina	Residencial	Uso de águas cinzas; Descarga dual; Banheiros secos; Duchas econômicas; Torneiras aeradas	Fins potáveis	Eco-indicator 99	EE	,	P. O.	2	50 ANOS	consumo/pessoa; kwh/ano total; kwh/ano operacional	80 m ³ concreto armado	Redução Anual do Impacto Ambiental
VARGAS-PARRA; VILLALBA; GABARRELL, 2013	Espanha	Residencial	Não	Lavanderia	Bibliografia	Exergy	,	P. O. D.	12	50 ANOS	exergy	MJ/kg	Energia e material requerido para produzir 1m ³ de água pluvial por ano
MARINOSKI; GHISI, 2011	Brasil	Residencial, unifamiliar, um piso, HIS.	Não	Bacia Sanitária	Tavares (2006) e fabricantes	EE e EC	,	P. O.	4	20 anos	MJ/m ³	4m ³ -11m ³ plástico reforçado com fibra de vidro; concreto e PEAD	Vol. de água potável consumido durante o ciclo de vida do SPAAP

Para a Tabela A5 tem-se que a coluna ACV identifica as fases da ACV que o artigo aborda, sendo P: produção (ou uso), O: operação e D: descarte ou disposição final.

Tabela A5 (Continuação) – Resumo MSL

AUTORES	PAÍS	TIPOLOGIA DA EDIFICAÇÃO	OUTRAS ESTRATÉGIAS	USOS PREVISTOS (SPAAP)	BASE DE DADOS	MÉTODO ACV	SOFT.	ACV	CENÁRIOS	VIDA ÚTIL	INDICADORES	RESERVATÓRIO	UNIDADE FUNCIONAL
WARD; BUTLER; MEMON, 2011	Reino Unido	Escritório	Não	Bacia Sanitária	Bibliografia	EE e EC	,	O.	1	,	kwh/m ³ e KgCO ₂ eq/m ³ operacional	25m ³ plástico reforçado com fibra de vidro	EE e EC por m ³ de água pluvial bombeada.
DEVKOTA et al., 2013	Estados Unidos	Escritório	Banheiro Seco, sendo os banheiros com uso de água para descarga de alta eficiência.	Bacia Sanitária; Irrigação	Bibliografia	EEAST Model (EIO-LCA)	,	P. O.	5	75 anos	EE/E anual que sai do sistema, EC de produção/EC operação, EE/\$, EC/\$	4-19 gal em aço	-
GAO et al., 2016	China	Residencial	Banheiro Seco	Bacia Sanitária	EIO-LCA	EIO-LCA	,	P. O.	5	25 anos	-	1.02-13.14m ³ de concreto e aço	Prover serviços sanitários para 600 pessoas.

Tabela A5 (Continuação) – Resumo MSL

AUTORES	PAÍS	TIPOLOGIA DA EDIFICAÇÃO	OUTRAS ESTRATÉGIAS	USOS PREVISTOS (SPAAP)	BASE DE DADOS	MÉT. ACV	SOFT.	ACV	CENÁRIOS	VIDA ÚTIL	INDICADORES	RESERVATÓRIO	UNIDADE FUNCIONAL
ANAND; APUL, 2011	Estados Unidos	Escolar (universid.)	Aparelhos economizado resbanheiros secos.	Bacia Sanitária	Bibliografia	EIO-LCA	.	P. O.	5	50 anos	EC/m2 de habitação para aquecimento	257-384m3	Promover serviços de saneamento para 2200 pessoas que utilizas as dependênciasavaliadas na edificação analisada
CHANG; LEE; YOON, 2017	Coreia do Sul	Variadas: Indústria, comercial	Distribuição centralizada, descentralizada (poços) e uso de águas cinzas.	Bacia Sanitária; Irrigação	Ecoivent 2.0	EE e EC	.	O.	8	"operação anual"	GWh/ano; KWh/m3, kgco2/m3	132m3 e 12000m3	EE e EC por m3 de água pluvial.
VIALLE et al., 2015	França	Residencial	Não	Bacia Sanitária	Ecoivent, concessio nária e fabricantes	Impacts 2002+, ReCiPe, water footprint	SimaPro	P. O.	6	50 anos	-	5m3 e 30m3	Suprimento de 30 litros de água por dia por pessoa para bacia sanitária.

Tabela A5 (Continuação) – Resumo MSL

AUTORES	PAÍS	TIPOLOGIA DA EDIFICAÇÃO	OUTRAS ESTRATÉGIAS	USOS PREVISTOS (SPAAP)	BASE DE DADOS	MÉT. ACV	SOFT.	ACV	CENÁRIOS	VIDA ÚTIL	INDICADORES	RESERVATÓRIO	UNIDADE FUNCIONAL
ANGRILL et al. 2012	Espanha	Residência Individual	Uso de águas cinzas	Lavanderia	MetaBase ITeC, Ecoinvent, EcoConcret	CML	SimPro	P. O. D.	8	25 anos e bombas 15 anos	comparação percentual das etapas de distribuição e abastecimento	5-209m ³	coleta armazenamento e suprimento de 1m ³ de água pluvial por pessoa por ano para ser usada com fins não potáveis para uma demanda constante da lavanderia (MLR)
GARCÍA-MONTOYA et al.; 2016	México	Residência Individual	Reuso	Fins potáveis; irrigação	Bibliografia	IMPACT 2002+	-	O.	5	-	-	-	pessoa/ano
ANGRILL et al., 2017	Espanha	Residência Multifamiliar	Não	Lavanderia	metaBase ITeC, Ecoinvent	CML	SimPro	P. O. D.	24	50 anos reservatório, 25 sistema e 15 bombas	-	25 m ³	coleta armazenamento e suprimento de 1m ³ de água pluvial por edificação por ano para ser usada com fins não potáveis para uma demanda constante da lavanderia (MLR) conforme comportamento do usuário

Tabela A5 (Continuação) – Resumo MSL

AUTORES	PAÍS	TIPOLOGIA DA EDIFICAÇÃO	OUTRAS ESTRATÉGIAS	USOS PREVISTOS (SPAAP)	BASE DE DADOS	MÉTODO ACV	SOFT.	ACV	CENÁRIOS	VIDA ÚTIL	INDICADORES	RESERVATÓRIO	UNIDADE FUNCIONAL
SHAH et al., 2013	Estados Unidos	Escolar (universidade - laboratório)	Não	Necessidades do Laboratório	SBOM	-	Sustainable e Minds	P. e O.	8	50 ANOS	EC	2500 gal e 5000 gal PEAD e aço	CO2 produzido e CO2 mitigado
MORALES-PINZÓN et al., 2014	Espanha	Residencial Uni e Multifamiliar	Não	Lavanderia	Ecoinvent	CML Baseline	Simapro	P. O.	25	50 ANOS	-	15 e 20 m3 concreto, aço e plástico reforçado com fibra de vidro	coleta armazenamento e suprimento de 1m3 de água pluvial para ser usada com fins não potáveis para uma demanda constante de 56l/ciclo da máquina de lavar roupa
MORALES-PINZÓN et al., 2012	Espanha	Residencial Uni e Multifamiliar	Não	Lavanderia	Ecoinvent	CML Baseline	Simapro	P. O.	87	50 anos para os reservatórios, 25 para o sistema e 15 para as bombas	-	5-50m3	coleta armazenamento e suprimento de 1m3 de água pluvial para ser usada com fins não potáveis para uma demanda constante de 56l/ciclo da máquina de lavar roupa

Tabela A5 (Continuação) – Resumo MSL

AUTORES	PAÍS	TIPOLOGIA DA EDIFICAÇÃO	OUTRAS ESTRATÉGIAS	USOS PREVISTOS (SPAAP)	BASE DE DADOS	MÉT. ACV	SOFT.	ACV	CENÁRIOS	VIDA ÚTIL	INDICADORES	RESERVATÓRIO	UNIDADE FUNCIONAL
RYGAARD et al., 2014	Dinamarca	comercial	Uso de água não potável, dessalinização, uso de águas cinzas.	Bacia Sanitária; Lavanderia	GaBi	PE LCIA Survey 2012	Gabi	O.	4	50 ANOS	impacto por pessoa	-	1m ³ de água distribuída no estudo de caso
DEVKOTA et al., 2015	Estados Unidos	Escritório	Não	Bacia Sanitária	GaBi e Ecoinvent	EEST model e TRACI	-	P. O. D.	2	75 ANOS	demand a/oferta	concreto	Prover serviços sanitários durante a vida útil da edificação
GHIMIRE et al., 2017	Estados Unidos	Comercial	Não	Bacia Sanitária; Urinol	Ecoinvent, BEES e Bibliografia	TRACI, ReCiPe's, Water Footprint's e Ecoinvent	OpenLCA e open source LCA software	P. O.	2	50 anos para o reservatórios e 15 anos para as bombas	-	PEAD e Fibra de Vidro	1m ³ de água pluvial e potável para uso em bacia sanitária e urinol em uma edificação comercial pra 1000 funcionários
GHIMIRE et al., 2014	Estados Unidos	Residencial Unifamiliar	Não	Bacia Sanitária; Irrigação Rural	Ecoinvent	TRACI, ReCiPe, USETox	OpenLCA e SimaPro	P. O. D.	4	50 anos para o reservatórios e 15 anos para as bombas	-	6,2m ³ Concreto e PEAD	1m ³ de água para fins não potáveis de usos domésticos e irrigação rural

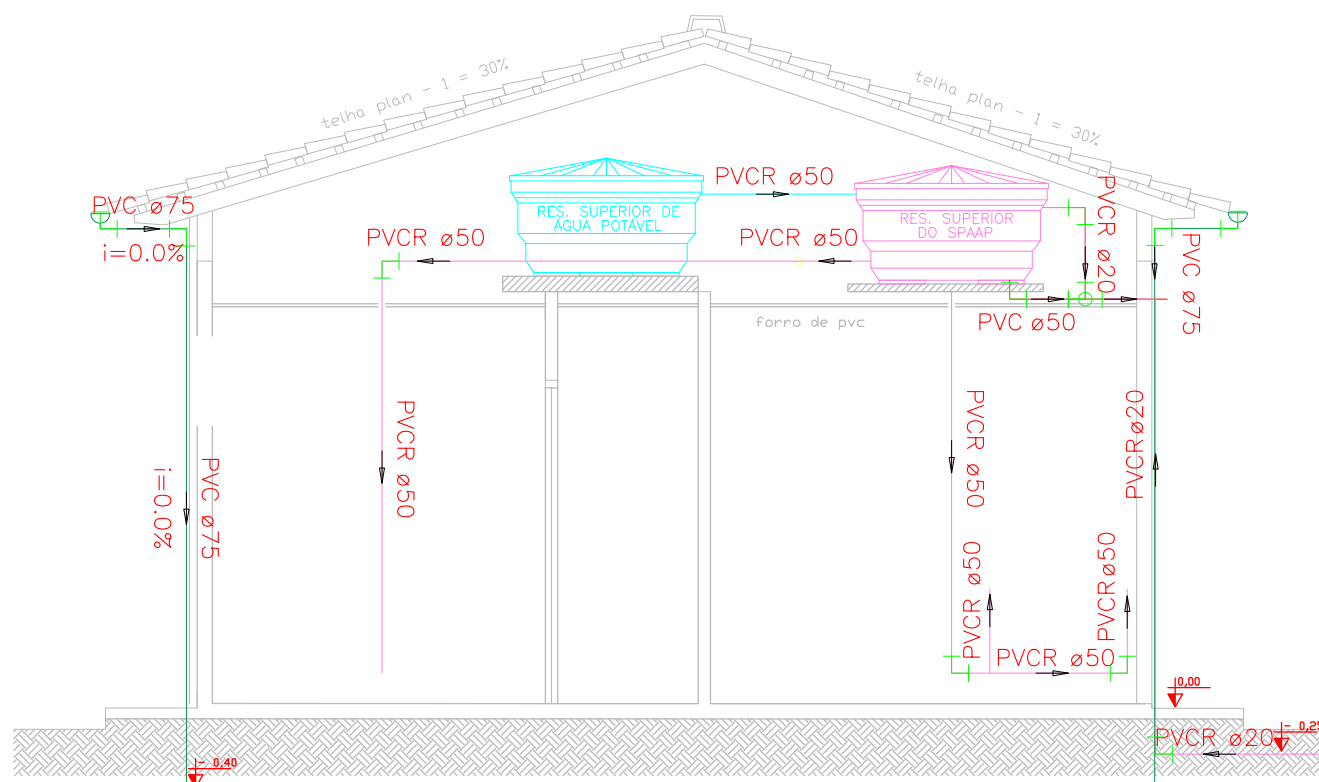
Tabela A5 (Continuação) – Resumo MSL

AUTORES	PAÍ S	TIPOLOGIA DA EDIFICAÇÃO	OUTRAS ESTRATÉGIAS	USOS PREVISTOS (SPAAP)	BASE DE DADOS	MET. ACV	SOFT .	AC V	CENÁRIOS	VID A ÚTIL	INDICADORES	RESERVATÓRIO	UNIDADE FUNCIONAL
JEONG et al., 2016	Estados Unidos	Residencial Uni e Multifamiliar	Áreas de Bioretenção e Xeriscaping	Bacia Sanitária; Irrigação	Ecoinvent e Bibliografia Regional	TRACI 2.1	SimPro	O.	6	50 ANOS	-	PEAD	1m3 de água pluvial utilizada
DEVKOTA; SCHLACHTER ; APUL, 2015	Estados Unidos	Dormitório	Não	Bacia Sanitária; Irrigação	Bibliografia e GaBi	EE e EC (EIO-LCA)	.	P. O.	5	75 ANOS	Kwh/pessoa e KgCO2eq/pessoa durante a vida útil do sistema	Aço, Plástico e concreto	Promover serviços de saneamento e irrigação por ocupante durante a vida útil do sistema
MORALES-PINZÓN et al., 2015	Espanha	Residencial Unifamiliar e Multifamiliar	Uso de águas cinzas.	Bacia Sanitária; Lavanderia	Ecoinvent	Plugrisost (baseado em CML).	SimPro	O.	1	50 anos para o reservatório, 25 anos	Potencial de Aquecimento Global e EE	-	Produção de água para a torneira

Tabela A5 (Continuação) – Resumo MSL

AUTORES	PAÍS	TIPOLOGIA DA EDIFICAÇÃO	OUTRAS ESTRATÉGIAS	USOS PREVISTOS (SPAAP)	BASE DE DADOS	MÉT. ACV	SOFT.	ACV	CENÁRIOS	VIDA ÚTIL	INDICADORES	RESERVATÓRIO	UNIDADE FUNCIONAL
VALDEZ et al., 2016	México	Residencial Multifamiliar	Não	Fins potáveis	Ecoinvent, Industry Data 2.0, ELCD 2.0 e Bibliografia	EE e EC (ISO 14040 E ISO 14044)	RHO_mx	P. O.	5	40 ANOS	Demanda cumulativa (KWh/m3; KWh/ano), Potencial de aquecimento global (KgCO2eq./m3; KgCO2eq./ano) e valor presente líquido	6,6m3 - 22,6m3	m3 de água consumida pelo edifício
ZHI-YUN; XIAO-YAN; YU-JUN, 2013	China	Unifamiliar rural	Não	Irrigação rural	Bibliografia	EE (ISO 14040)	,	O.	1	20 anos para o sistema de	Kg de produção/m3 de água pluvial utilizada	25m3 de concreto	EE/m3 de água pluvial
RACOVICENU; KARNEY, 2010	Canadá	Residencial Unifamiliar	Dispositivos economizados	Bacia Sanitária; Irrigação	Bibliografia regional	EE e EC (EIO-LCA)	,	O.	3	20 anos bacias e reservatórios, 12 anos	TJ/ano e KTCO2eq./ano	10m3 de concreto e 500L de PEAD para cada residência	EE e EC pelo volume anual de água potável distribuída para os residentes da cidade (200GL)

Figura A1 – Corte A-A habitação padrão (vista frontal)



CORTE A-A
 ESC.: 1/50

Figura A2 – Corte B-B habitação padrão (lateral esquerda)

