

ANO
2018



UDESC

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Este estudo analisa, por meio da Avaliação do Ciclo de Vida, três cenários com diferentes soluções para a disponibilização de água em bacias sanitárias de um bloco de salas de aula de uma Universidade no Sul do Brasil.

Orientador: Andreza Kalbusch

Coorientador: Elisa Henning

Joinville, 2018

ELOISE LEONORA GNOATTO | AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NO CICLO
DE VIDA DOS ACABAMENTOS DAS VÁLVULAS DE DESCARGA E NO REÚSO DAS
ÁGUAS CINZAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS
AMBIENTAIS NO CICLO DE VIDA
DOS ACABAMENTOS DAS
VÁLVULAS DE DESCARGA E NO
REÚSO DAS ÁGUAS CINZAS**

ELOISE LEONORA GNOATTO

JOINVILLE, 2018

ELOISE LEONORA GNOATTO

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NO CICLO DE VIDA DOS
ACABAMENTOS DAS VÁLVULAS DE DESCARGA E NO REÚSO DAS ÁGUAS
CINZAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Andreza Kalbusch
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Elisa Henning

**JOINVILLE
2018**

Gnoatto, Eloise Leonora

Avaliação dos Impactos Ambientais no Ciclo de Vida dos Acabamentos das Válvulas de Descarga e no Reúso das Águas Cinzas / Eloise Leonora Gnoatto. - Joinville , 2018.

129 p.

Orientadora: Andreza Kalbusch

Co-orientadora: Elisa Henning

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Joinville, 2018.

1. Avaliação do Ciclo de Vida. 2. Acabamentos de válvulas de descarga. 3. Sistemas economizadores de água. 4. Reúso de águas cinzas. I. Kalbusch, Andreza. II. Henning, Elisa. , .III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

**Avaliação dos Impactos Ambientais no Ciclo de Vida dos Acabamentos das
Válvulas de Descarga e no Reúso das Águas Cinzas**

por

Eloise Leonora Gnoatto

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de

MESTRA EM ENGENHARIA CIVIL

Área de concentração em "Engenharia Urbana e da Construção Civil"
e aprovada em sua forma final pelo

**CURSO DE MESTRADO ACADÊMICO EM ENGENHARIA CIVIL
DO CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS DA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA.**

Banca Examinadora:



Prof. Dra. Andréa Kalbusch
CCT/UDESC (Orientadora/Presidente)



Prof. Dr. Luiz Veriano Oliveira Dalla
Valentina - CCT/UDESC



Prof. Dra. Ana Kelly Marinoski Ribeiro

Joinville, SC, 24 de abril de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me guiar, iluminar e me dar tranquilidade para seguir em frente com os meus objetivos e não desanimar com as dificuldades.

Aos meus pais Claudino e Iracema pelo amor incondicional, por serem meu porto seguro e me apoiarem em todos os momentos. Aos meus irmãos Claudio Lucas e Claudio Mateus por todo apoio, paciência e confiança.

Ao meu namorado Victor Hugo pela amor, companheirismo e presença em minha vida.

A Professora Andreza Kalbusch, pela orientação e ensinamentos, por ter acreditado e por sua amizade.

A Professora Elisa Henning pela orientação e por sua disposição em ajudar sempre.

Aos Professores Ana Kelly Marinoski Ribeiro e Luiz Veriano Oliveira Dalla Valentina pelas contribuições para esse trabalho.

A minha companheira de medição de consumo de água do Bloco K do CCT-UDESC, a Engenheira Ellen Akemi Kita.

A empresa Docol Metais Sanitários, pelas doações dos acabamentos das válvulas de descarga e concessão de dados fundamentais para a realização este estudo.

Ao Engenheiro Henrique, do CICLOG (Grupo de Pesquisa em Avaliação do Ciclo de Vida) da UFSC, pelo suporte na utilização do *software* SimaPro.

Ao Alexandre, da Pague Verde Brasil, pelo auxílio com os medidores de vazão e também ao Grupo PET da Engenharia Elétrica do CCT-UDESC pela ajuda com o desenvolvimento dos medidores de vazão.

Aos meus amigos pelas conversas e apoio em todos os momentos. Agradeço em especial a minha amiga Layane, por sua generosidade e acolhimento.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pela ajuda financeira para a compra de dos medidores de vazão e conexões para a instalação destes.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste estudo.

RESUMO

Este estudo visa analisar, por meio da Avaliação do Ciclo de Vida, três cenários com diferentes soluções para a disponibilização de água em bacias sanitárias de um bloco de salas de aula de uma Universidade no Sul do Brasil. No primeiro cenário foram utilizados acabamentos de simples acionamento em todas as válvulas de descarga de um edifício do campus. No segundo cenário foram utilizados acabamentos de duplo acionamento nas válvulas de descarga. No terceiro cenário, foi analisada a instalação de acabamentos de duplo acionamento, além de um sistema de reúso da água cinza proveniente dos lavatórios nas bacias sanitárias. O objetivo foi quantificar os impactos ambientais nos três cenários comparando os acabamentos de válvula de descarga convencionais e economizadores juntamente com o reúso das águas cinzas em termos de consumo de água, consumo de energia e potencial de aquecimento global. Inicialmente foram realizadas medições de consumo de água nos equipamentos hidrossanitários disponíveis nos banheiros femininos e masculinos sendo que os acabamentos das válvulas de descarga instalados nas bacias sanitárias eram de simples acionamento. No período seguinte houve a troca dos acabamentos das válvulas de descarga para acabamentos de duplo acionamento. Em seguida foi realizada a avaliação dos impactos ambientais nos três cenários propostos com o auxílio do programa computacional SimaPro 8.3.0, versão educacional. A substituição dos acabamentos das válvulas de descarga reduziu em média 26,97% o consumo de água na etapa de operação das bacias sanitárias. Os maiores consumos de água e de energia ocorreram no cenário 1, devido à maior demanda de água na etapa de operação e maior gasto energético para o bombeamento e tratamento da água utilizada. Em relação ao potencial de aquecimento global, o cenário mais desfavorável foi o cenário 3, por contar com um sistema *wetland* para o tratamento da água cinza, uma segunda motobomba e maior quantidade de componentes que demandaram mais energia para a sua produção e transporte. Por outro lado, o sistema de reúso presente no cenário 3 reduziu a quantidade de água potável consumida nos banheiros, além desta ser a solução que apresentou menor consumo energético no ciclo de vida. Os resultados encontrados, por meio da avaliação do ciclo de vida realizada nos cenários propostos, demonstraram que é ambientalmente viável a substituição dos acabamentos de válvulas de descarga de simples acionamento por acabamentos de duplo acionamento.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida. Acabamentos de válvulas de descarga. Sistemas economizadores de água. Reúso de águas cinzas.

ABSTRACT

This article aims to analyze, through the Life Cycle Assessment, three scenarios with different solutions for the availability of water on toilets of a classroom building of a University in Southern Brazil. In the first scenario, single-flush devices were used on all toilets of a campus building. In the second scenario, dual-flush devices were used and in the third scenario, the installation of dual-flush devices and a gray water reuse system from the washbasins in the toilets were analyzed. The objective was to quantify the environmental impacts in the three scenarios by comparing the use of single flush and water-saving devices and also the reuse of the gray water in terms of water consumption, energy consumption and global warming potential. Measurements of the available plumbing fixtures were done in two stages, with single-flush and dual-flush devices. The environmental impact assessment was carried out with the support of the SimaPro 8.3.0 software, educational version. The replacement of flush devices reduced water consumption in the operation stage of the toilets on 26.93%. The highest water and energy consumption occurred in scenario 1, due to the higher demand for water in the operation stage and higher energy expenditure for the pumping and treatment of water. Regarding the global warming potential, scenario 3 was the most unfavorable scenario, followed by scenario 1, due to the inclusion of a wetland system for the treatment of gray water, a second motor pump and a larger quantity of components that demanded more energy for its production and transport. In contrast, the gray water reuse in scenario 3 decreases the amount of potable water consumed in the toilets, besides being the solution that presented the lower energy consumption in the life cycle. The results showed that it is environmentally feasible to replace the single-flush with dual-flush devices in the campus toilets.

Keywords: Life Cycle Assessment. Flush devices. Water-saving systems. Gray water reuse.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Fases da ACV.....	19
Figura 2 – Acabamento da válvula de descarga.	27
Figura 3 – Modelo de acabamento simples (a) e de duplo acionamento (b) da válvula de descarga.	28
Figura 4 – Fluxograma com as etapas presentes no método utilizado nesse estudo.	37
Figura 5 – Esquema representativo dos três cenários analisados.	38
Figura 6 – Cenários Analisados.....	38
Figura 7 – Modelo do acabamento simples (a) e do acabamento duplo (b) instalados no Bloco K do CCT – UDESC.	39
Figura 8 – Medição – Método Gravimétrico e instrumentos utilizados.....	41
Figura 9 – Smart meter modelo 1 (a) instalado em uma torneira e smart meter modelo 2 (b) instalado em um bebedouro do Bloco K.....	43
Figura 10 – Interface de saída smart meter modelo 1 (a) e smart meter modelo 2 (b).....	44
Figura 11 – Abastecimento de água, coleta do esgoto e sistema de reúso.	47
Figura 12 – Entradas e saídas consideradas no ciclo de vida dos equipamentos hidrossanitários.	48
Figura 13 – Fronteiras do sistema.	54
Figura 14 – Cenários analisados neste estudo.	59
Figura 15 – Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água e em sistema de esgotamento sanitário em Joinville – SC.	60
Figura 16 – Distância considerada para o descarte final dos acabamentos.	61
Figura 17 – Consumo diário total do Bloco K, CCT – UDESC nos dois períodos de medições.	66
Figura 18 – Indicador de consumo total para cada período analisado.....	67
Figura 19 – Consumo diário de água nas bacias sanitárias dos banheiros femininos (BSF) instaladas no Bloco K e o valor médio, nos dois períodos analisados.	69
Figura 20 – Consumo diário das bacias sanitárias dos banheiros masculinos (BSM) instaladas no Bloco K e o valor médio, nos dois períodos analisados.	70
Figura 21 – Número de acionamentos e média por dia nas bacias sanitárias dos banheiros femininos (BSF) e masculinos (BSM) nos dois períodos analisados.	71
Figura 22 – Indicador de consumo total das bacias sanitárias dos banheiros femininos (BSF) e média para cada período analisado.	71
Figura 23 – Indicador de consumo total das bacias sanitárias dos banheiros masculinos (BSM) e média para cada período analisado.	72
Figura 24 – Perfil de consumo semanal total das bacias sanitárias dos banheiros femininos (BSF) e masculinos (BSM) para cada período analisado.	73
Figura 25 – Consumo diário das torneiras instaladas nos banheiros femininos do Bloco K, no período analisado.	74
Figura 26 – Consumo diário das torneiras instaladas nos banheiros masculinos do Bloco K, no período analisado.	74

Figura 27 – Indicador de consumo total das torneiras de lavatório dos banheiros masculinos e média para cada período analisado.	75
Figura 28 – Indicador de consumo total das torneiras de lavatório dos banheiros femininos e média para cada período analisado.	76
Figura 29 – Perfil de consumo semanal total das torneiras de lavatórios dos banheiros femininas e masculinas para cada período analisado.	77
Figura 30 – Consumo de água para as bacias sanitárias dos dias 08/08/2017 a 22/10/2017....	79
Figura 31 – Consumo médio de água por dia da semana nas bacias sanitárias e nas torneiras de lavatório dos banheiros masculinos e femininos nos dias 08/08/2017 a 22/10/2017.	80
Figura 32 – Consumo de água total para os três cenários analisados ao longo de 20 anos.....	82
Figura 33 – Consumo de água total por fase para os três cenários analisados ao longo de 20 anos.	82
Figura 34 – Consumo de energia total para os três cenários analisados ao longo de 20 anos..	85
Figura 35 – Consumo de energia total para os três cenários analisados ao longo de 20 anos..	86
Figura 36 – Resultado da categoria potencial de aquecimento global para os três cenários analisados ao longo de 20 anos.....	88
Figura 37 – Resultado da categoria potencial de aquecimento global por fase para os três cenários analisados ao longo de 20 anos.	88
Figura 38 – Comparação percentual entre as categorias de impacto para os três cenários analisados.....	90
Figura 39 – Análise de sensibilidade no consumo de água para os três cenários analisados. ...	92
Figura 40 – Análise de sensibilidade no consumo de energia para os três cenários analisados.	92
Figura 41 – Análise de sensibilidade no potencial de aquecimento global para os três cenários analisados.....	93
Figura 42 – Impactos ambientais com a adição de dois desvios padrão no consumo de água na fase de operação.	94
Figura 43 – Impactos ambientais com a subtração de dois desvios padrão no consumo de água na fase de operação.	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros para reúso de água cinza.	32
Tabela 2 – Total de equipamentos hidrossanitários instalados no Bloco K do CCT – UDESC.	40
Tabela 3 – Vazões médias nos equipamentos do Bloco K do CCT - UDESC antes da colocação dos smart meters e desvios padrão (s).	42
Tabela 4 – Potencial de aquecimento global de algumas substâncias.	53
Tabela 5 – Vida útil de cada componente e o número de reposições em um horizonte de tempo de 20 anos.	55
Tabela 6 – Composição dos acabamentos das válvulas de descarga Docol.	56
Tabela 7 – Distâncias das matérias-primas até o local de produção dos acabamentos das válvulas de descarga usadas na Avaliação do Ciclo de Vida dos acabamentos. ...	57
Tabela 8 – Distância das fábricas dos componentes a Universidade usadas na Avaliação do Ciclo de Vida dos cenários analisados.	57
Tabela 9 – Medidas resumo para as bacias sanitárias dos banheiros femininos e masculinos (BSM) nos dois períodos de medições.	69
Tabela 10 – Resultado da categoria de impacto ambiental consumo de água para os três cenários analisados.	83
Tabela 11 – Resultado da categoria de impacto ambiental consumo de energia total para os três cenários analisados.	85
Tabela 12 – Resultado da categoria de impacto ambiental potencial de aquecimento global para os três cenários analisados.	87

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ANA	Agência Nacional de Águas
BSF	Bacia sanitária dos banheiros femininos
BSM	Bacia sanitária dos banheiros masculinos
CCT	Centro de Ciências Tecnológicas
CH ₄	Metano
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
HFCs	Hidrofluorcarbonetos
H ₂ O	Vapor de água
IC	Indicador de consumo
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
NBR	Normas Brasileiras
NMHC	Hidrocarbonetos não Metano
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
N ₂ O	Óxido nitroso
O ₃	Ozônio
PAG	Potencial de Aquecimento Global
PBQP	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade
PET	Programa Especial de Treinamento
PFC	Perfluorocarbono
PNCDA	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
SF ₆	Hexafluoreto de Enxofre
SICV	Banco Nacional de Inventários de Ciclo de Vida
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
s	Desvio padrão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	14
1.2 OBJETIVOS	15
1. 2. 1 Objetivo Geral	15
1. 2. 2 Objetivos Específicos	16
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)	18
2.2 USO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO....	20
2.3 USO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NA ÁREA DE SISTEMAS HIDRÁULICOS PREDIAIS E DE SANEAMENTO	22
2.4 SISTEMAS ECONOMIZADORES DE ÁGUA	24
2.5 PRINCÍPIO DO FUNCIONAMENTO DOS ACABAMENTOS DE VÁLVULA DE DESCARGA CONVENCIONAL E DE DUPLO ACIONAMENTO.....	27
2.6 REÚSO DE ÁGUAS CINZAS.....	29
2.7 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA PARA REÚSO EM BACIAS SANITÁRIAS	31
2.8 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS PARA CÁLCULOS EM ESTUDOS DE ACV	34
2.9 SIMAPRO.....	35
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
3.1 ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E COLETA DE DADOS	40
3.2 REÚSO DE ÁGUA CINZA E POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA.....	44
3.2.1 Tratamento das Águas Cinzas	45
3.2.2 Configuração do Sistema de Reúso	46
3.3 IMPACTOS AMBIENTAIS CONSIDERADOS.....	47
3.4 QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS.....	49
3.4.1 Quantificação das entradas relacionadas com o consumo de água	49
3.4.2 Quantificação das entradas relacionadas com o consumo de energia	50
3.4.3 Quantificação das saídas relacionadas com as emissões atmosféricas.....	51
3.5 FRONTEIRAS DO ESTUDO E COMPONENTES DOS SISTEMAS.....	53
3.6 CENÁRIOS ANALISADOS	58
3.7 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	61
3.8 LIMITAÇÕES DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	62
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
4.1 CONSUMO DE ÁGUA DO BLOCO K	64

4.2 PERFIL DE CONSUMO DAS TORNEIRAS DE LAVATÓRIO E BACIAS SANITÁRIAS	68
4.3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA ACV NOS CENÁRIOS ANALISADOS	77
4.3.1 Aplicação da Metodologia ACV no Reúso das Águas Cinzas	78
4.3.2 Consumo de Água	81
4.3.3 Consumo de Energia.....	84
4.3.4 Potencial de Aquecimento Global	87
4.3.5 Comparação entre os Impactos no Ciclo de Vida dos Três Cenários.....	89
4.4 RESULTADO DA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	91
4.4.1 Resultado das Variações no Consumo de Água na Fase de Operação	93
5 CONCLUSÕES.....	95
5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	97
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	97
REFERÊNCIAS	98
APÊNDICE A	115
APÊNDICE B.....	125
ANEXO 1.....	128

1 INTRODUÇÃO

O mundo está enfrentando grandes problemas ambientais como a destruição da camada de ozônio, o aquecimento global e a acumulação de resíduos (SHARMA *et al.*, 2011). Para o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014) as mudanças climáticas têm causado impactos sobre os sistemas naturais e humanos em todos os continentes, sendo as evidências mais fortes e mais abrangentes desses impactos nos sistemas naturais.

O setor da construção civil tem um peso significativo e grande influência sobre o consumo total de recursos naturais e emissões lançadas no ambiente (CABEZA *et al.*, 2014). Esse setor provocou elevados impactos ambientais por extrair grandes quantidades de matérias-primas não renováveis, apresentar consumo energético elevado e provocar elevadas emissões de gases do efeito estufa (TORGAL; JALALI, 2010). Em nível mundial, a indústria da construção civil consome 60% das matérias-primas extraídas da litosfera (BRIBIÁN; CAPILLA; USÓN, 2011) e exige até 40% da demanda total de energia de um país industrializado (ASDRUBALI; BALDASSARRI; FTHENAKIS, 2013).

O crescimento da demanda por materiais de construção possui relação direta com o aumento do consumo de matérias-primas e energia, principalmente nas fases de extração, processamento e transporte, o que acarreta a conseqüente expansão da geração de resíduos (LASSIO; HADDAD, 2016).

No entanto, segundo Santana (2014), houve um aumento gradativo da preocupação da sociedade em relação ao meio ambiente e as indústrias viram-se cercadas por restrições legais crescentes. Para Norgate, Jahanshahi e Rankin (2007) a busca pelo desenvolvimento sustentável resultou em pressões ambientais crescentes para melhorar a eficiência da utilização de recursos e reduzir significativamente a geração de resíduos e as emissões. Ding (2014) afirma que para minimizar os impactos da indústria da construção civil o uso de materiais de construção sustentáveis tornou-se o foco principal na busca pelo desenvolvimento sustentável.

O desenvolvimento sustentável procura melhorar a qualidade da vida das pessoas dentro dos limites da capacidade de suporte dos ecossistemas, sendo que para isso faz-se necessário o uso sustentável de todos os recursos renováveis, de maneira qualitativamente adequada e em quantidade compatível com sua capacidade de renovação (MANHÃES;

ARAUJO, 2014). A busca pela sustentabilidade também aumentou o interesse em novas tecnologias visando à economia de água (LIU; GIURCO; MUKHEIBIR, 2016).

A Norma Brasileira 15575-1 (ABNT, 2013) recomenda que, para o setor da construção civil, qualquer edificação utilize recursos naturais de maneira racional, privilegiando os materiais que causam menores impactos ambientais, desde a exploração do recurso até o seu destino final.

De acordo com Hinz, Dalla Valentina e Franco (2006) foi a partir da necessidade de se estabelecer um método que simplificasse a análise e os impactos ambientais das atividades de uma empresa e seus produtos e processos, que surgiu a metodologia da avaliação do ciclo de vida. Os autores afirmam que essa metodologia permitiu verificar que a prevenção à poluição é mais racional, econômica e efetiva que uma ação direta nos efeitos gerados. De acordo com Abiko *et al.* (2010), a avaliação do ciclo de vida quantifica as entradas e saídas de um sistema para depois avaliar os impactos ambientais que essas causam no meio ambiente, identificando os aspectos ambientais e quantificando os impactos ambientais desde a extração da matéria-prima até a disposição final desta no meio ambiente.

Segundo Soares, Souza e Pereira (2006), o princípio da avaliação do ciclo de vida (ACV) é analisar as repercussões ambientais de um produto ou atividade a partir de um inventário de entradas e saídas do sistema considerado. Os autores ressaltam que a utilização da ACV na avaliação de produtos da construção civil possibilita a especificação dos materiais de forma a promover melhorias ambientais. Dessa forma, o que se propõe nesta dissertação é a análise, por meio da utilização do conceito de avaliação do ciclo de vida, da utilização dos acabamentos de válvulas de descarga de modo a mensurar os impactos ambientais gerados por cada tipo de acabamento analisado. Os impactos ambientais do reúso da água dos lavatórios nas bacias sanitárias também serão verificados.

1.1 JUSTIFICATIVA

Para Sadoff *et al.* (2015) em um futuro de rápido crescimento econômico, de ascendente estresse hídrico e alterações climáticas, o desafio de alcançar e manter a segurança hídrica será uma prioridade tanto em países desenvolvidos como nos países em desenvolvimento.

As questões hídricas globais, regionais e locais estão se tornando mais complexas, decorrentes em grande parte das interações cada vez mais consideráveis entre água, energia, alimentos e os ecossistemas (AIT-KADI, 2016). O uso ilimitado da água cresceu em todo o mundo, chegando ao ponto que o serviço de águas urbanas não pode mais ser entregue em muitas regiões (RISCH *et al.*, 2014). Os autores afirmam que grande parte da população mundial vem enfrentando a escassez da água e os serviços urbanos de água estão encarando desafios primordiais para gerenciar os recursos hídricos.

A metodologia da ACV provou ser valiosa na avaliação da sustentabilidade ambiental dos sistemas hídricos, utilizando uma abordagem que envolve todo o sistema ao longo do seu ciclo de vida e estabelecendo os impactos ambientais relevantes, dos globais aos locais (RISCH *et al.*, 2014). Geralmente quando ocorre a substituição de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores são realizadas análises de ordem técnica ou econômica, entretanto, é importante a realização de uma avaliação ambiental que considere todas as etapas do ciclo de vida dos equipamentos e não somente aqueles relacionados à fase de uso (KALBUSCH, 2011).

Essa dissertação justifica-se pela necessidade de se conhecer e analisar os impactos ambientais referentes a todas as fases do ciclo e vida dos equipamentos hidrossanitários, para que a escolha entre os equipamentos convencionais e economizadores possa ser pautada verdadeiramente nas questões ambientais.

1.2 OBJETIVOS

1. 2. 1 Objetivo Geral

O objetivo desta dissertação é avaliar os impactos ambientais da utilização de acabamentos simples e de duplo acionamento em válvulas de descarga e do reúso das águas cinzas nos banheiros de um bloco de salas de aula de uma Universidade.

1. 2. 2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Determinar o perfil de consumo de água das torneiras de lavatório e das bacias sanitárias de um bloco de salas de aula de uma Universidade;
- Determinar o consumo de água das bacias sanitárias com acabamento simples e de duplo acionamento nas válvulas de descarga;
- Analisar as categorias de impacto ambiental: consumo de água, consumo de energia total e potencial de aquecimento global para o cenário com acabamento nas válvulas de descarga de simples acionamento; para o cenário com acabamento nas válvulas de descarga de duplo acionamento e para o cenário com acabamento duplo nas válvulas de descarga e um sistema de reúso da água dos lavatórios na descarga das bacias sanitárias;
- Comparar os três cenários propostos, em igual período de análise, em função das categorias de impacto ambiental analisadas nesse estudo.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está subdividida nos capítulos de Introdução, Revisão Bibliográfica, Materiais e Métodos, Resultados e Conclusões. O capítulo inicial traz uma breve introdução sobre o assunto, a justificativa desse trabalho e os objetivos a serem alcançados.

O capítulo da Revisão Bibliográfica descreve o método avaliação do ciclo de vida e suas etapas, os programas computacionais utilizados na aplicação dessa metodologia e mais especificamente o *software* SimaPro. Além disso, é descrito o uso da avaliação do ciclo de vida no ambiente construído e na área de sistemas hidráulicos prediais. Esse capítulo também apresenta os sistemas economizadores de água, os princípios do funcionamento dos acabamentos das válvulas de descarga e por fim, o reúso de águas cinzas.

O terceiro capítulo, Materiais e Métodos, descreve os materiais adotados e apresenta o método de cálculo adotado no desenvolvimento desse estudo, nas diversas fases do ciclo de vida dos acabamentos das válvulas de descarga e do sistema de reúso de águas cinzas.

No capítulo Resultados são quantificados, nas inúmeras fases do ciclo de vida dos acabamentos das válvulas de descarga e no sistema de reúso de águas cinzas, o consumo de matérias-primas, de água e de energia e as emissões atmosféricas de modo que esses representem as categorias de impacto ambiental potencial de aquecimento global, consumo de água e consumo de energia.

Nesse capítulo também são apresentados e discutidos os resultados referentes aos cenários analisados com os dois tipos de acabamentos das válvulas de descarga e o reúso de águas cinzas dos lavatórios nas bacias sanitárias.

As conclusões estão no último capítulo, no qual são destacadas as principais contribuições desse trabalho, as limitações da pesquisa e as sugestões para trabalhos futuros. As diferenças no volume de água consumido são detalhadas em função da troca dos acabamentos das válvulas de descarga. São descritos os impactos ambientais, por meio da ACV, da utilização dos acabamentos das válvulas de descarga e do reúso da água dos lavatórios nas bacias sanitárias. Os três cenários analisados são comparados em relação ao consumo de água, consumo de energia e potencial de aquecimento global.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

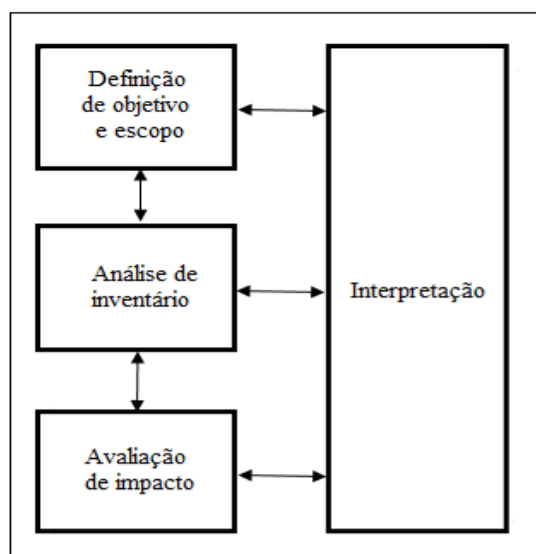
2.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

Avaliação do ciclo de vida (ACV), segundo a NBR 14040 (ABNT, 2009), é um método utilizado para avaliar os aspectos ambientais e os impactos potenciais associados a um produto. Essa avaliação deve levar em consideração todo o ciclo de vida do produto, desde a extração da matéria-prima até a sua disposição final. Este método considera os efeitos ambientais nas etapas de extração, processamento, manufatura, distribuição, transporte, uso, reúso, manutenção, reciclagem e disposição final do produto (KALBUSCH; GHISI, 2012).

De acordo com Zhang, Shen e Zhang (2013) a metodologia avaliação do ciclo de vida (ACV) é amplamente utilizada para avaliar as cargas ambientais dos processos e produtos durante todo o seu ciclo de vida. Para Racoviceanu *et al.* (2007) esta metodologia surgiu como uma ferramenta para promover o desenvolvimento sustentável e aumentar a consciência ambiental por tratar-se de um método bem estabelecido e padronizado, projetado para estimar e reduzir os encargos ambientais associados a todas as fases da vida de um produto, processo ou serviço. Segundo a NBR 14044 (ABNT, 2014), a ACV pode ser útil para:

- identificar oportunidades de melhorias nos aspectos ambientais dos produtos ao longo do seu ciclo de vida;
- ajudar na tomada de decisões no desenvolvimento de produtos ou processos;
- na seleção de indicadores de desempenho ambiental relevantes; e
- no *marketing*.

A metodologia ACV, de acordo com a NBR 14040 (ABNT, 2009), deve incluir as fases de definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação de resultados. A Figura 1 ilustra estas fases e suas interações.

Figura 1– Fases da ACV.

Fonte: Adaptado ABNT, 2009.

Na etapa de definição do objetivo e do escopo, a NBR 14040 (ABNT, 2009) afirma que estes devem ser consistentes com a aplicação pretendida e nitidamente definidos. Segundo Sharma *et al.* (2011) é nesta etapa que se estabelece a unidade funcional, os limites do sistema e os critérios de qualidade para os dados de inventário. A unidade funcional tem como propósito fornecer uma referência em relação à qual os dados de entrada e saída estão normalizados e, deve ser claramente definida e mensurável (ABNT, 2014). Esta norma estabelece que a fronteira do sistema indica quais processos elementares devem ser incluídos no estudo de ACV.

Chehebe (2002) salienta que nesta etapa são definidos a razão para a continuidade do estudo, a abrangência, o público alvo e os resultados esperados. Em relação ao escopo, nesta fase devem ser levados em consideração os aspectos metodológicos de sua execução, tornando o estudo gerenciável, porém sem deixar de cuidar dos aspectos que garantam a sua confiabilidade.

A análise de inventário do ciclo de vida (ICV) trata da coleta e síntese das informações sobre o material físico e os fluxos de energia em vários estágios do ciclo de vida dos produtos (CABEZA *et al.*, 2014). Chehebe (2002) afirma que são realizadas a coleta e a quantificação de todas as variáveis que se relacionam ao ciclo de vida de um produto, processo ou atividade. Esse inventário é um processo trabalhoso e difícil pois está relacionado direta ou indiretamente à coleta dos dados.

A terceira etapa consiste na avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV), segundo a NBR 14040 (ABNT, 2009), e envolve a coleta dos dados e os procedimentos para quantificar as entradas e saídas de um sistema de produto. Esse processo é iterativo pois a medida em que os dados são coletados, se conhece mais do sistema e assim identificam-se novos requisitos ou limitações que exijam uma mudança no método de coleta dos dados para que os objetivos sejam alcançados (ABNT, 2009). Para a NBR 14044 (ABNT, 2014) os dados devem ser selecionados de acordo com o objetivo e o escopo do estudo e podem incluir uma mistura de dados medidos, calculados e estimados.

Cabeza *et al.* (2014) afirmam que nesta fase os impactos ambientais dos fluxos de energia e materiais são atribuídos às diferentes categorias de impactos ambientais (alterações climáticas, ecotoxicidade, toxicidade humana, formação de ozônio fotoquímico, acidificação, eutrofização, esgotamento de recursos e uso da terra, entre outros).

A interpretação dos resultados é a quarta e última etapa e segundo Kalbusch (2011) é onde os resultados obtidos nas fases anteriores do inventário e avaliação do impacto do ciclo de vidas são combinados de maneira sólida com o objetivo e o escopo. A NBR 14040 (ABNT, 2009) afirma que as fases de análise do inventário e avaliação dos impactos são realizadas com o objetivo e escopo previamente definidos, para se alcançar as conclusões e recomendações.

Essa fase abrange o processo iterativo de análise crítica e revisão do escopo da ACV, levando em consideração a natureza e qualidade dos dados e se foram coletados de forma consistente, de acordo com o objetivo previamente definido (ABNT, 2009). Para Ding (2014) essa etapa envolve a realização de uma análise de sensibilidade para testar os resultados, estabelecendo prioridades, avaliando a viabilidade para se reduzir a carga ambiental e formulando recomendações para melhorar os resultados.

2.2 USO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Zoldan (2008) afirma que a sustentabilidade envolve a ideia da conservação dos estoques da natureza ou a garantia de sua reposição por processos naturais ou artificiais. É um conceito ligado ao uso racional dos recursos, evitando desperdícios e promovendo processos de recuperação e reciclagem (ZOLDAN, 2008).

Segundo Passuello *et al.* (2014) o Brasil está experimentando uma crescente demanda habitacional, fruto do desenvolvimento econômico e aumento do poder

aquisitivo da população. Essa demanda é responsável por importantes impactos ao meio ambiente devido às emissões na produção dos insumos, elevado consumo energético e à crescente produção de resíduos por parte da construção civil. Frente a isso, o desenvolvimento de novas tecnologias torna-se essencial para minimizar os impactos neste setor. Neste sentido, a metodologia da ACV realiza uma avaliação de todas as fases do ciclo de vida do produto, suas interações e os impactos relacionados. Os governos, as organizações e até mesmo os indivíduos estão se tornando cientes dos benefícios proporcionados pela avaliação do ciclo de vida, principalmente porque a sociedade está mais consciente da necessidade de reduzir os impactos ao meio ambiente (CRAWFORD, 2011).

Um estudo ACV apresenta uma estimativa precisa dos impactos ambientais proporcionando, assim, uma base sólida para identificar os benefícios das mudanças na construção de um edifício ou de sua operação. A avaliação das alternativas pode dar uma direção e uma estimativa da magnitude do impacto de uma determinada alteração. Tais avaliações podem formar uma comparação imparcial de estratégias de projeto, alternativas e ideias para proporcionar melhorias ambientais (OCHSENDORF *et al.*, 2011).

Segundo Willers, Rodrigues e Silva (2013) existe um vasto campo de oportunidade para aplicação desta metodologia em diversos setores da indústria e também na área acadêmica, todos visando a solução de problemas na área ambiental com possibilidade de extensão dos resultados para outros setores da economia. De acordo com Passuello *et al.* (2014) existe carência de estudos de Avaliação do Ciclo de Vida de materiais de construção no Brasil, logo são necessários estudos que relacionem a prática da ACV à esfera local de modo a torná-la um mecanismo de gestão apropriado à realidade brasileira.

Para Bribián, Usón e Scarpellini (2009) a aplicação da metodologia da ACV para uma edificação não é um processo tão simples como para outros produtos de consumo, pois são muitas as ramificações e os fornecedores. Além disso, os edifícios possuem múltiplas funções, apresentam um ciclo de vida longo, são únicos e integrados com a infraestrutura.

Campos (2012) afirma que a metodologia ACV na edificação tem como objetivo avaliar os aspectos culturais de consumo na fase de construção e na fase de utilização, desenvolver opções de melhor desempenho e fomentar novas tecnologias para utilização de energias renováveis. A ACV para materiais vem sendo utilizada para analisar,

comparar, promover produtos e contribuir de forma positiva para aprimorar as decisões ambientais sobre um certo produto (CAMPOS, 2012).

Miyazato e Oliveira (2009) afirmam haver diversas limitações para a aplicação da ACV na avaliação dos impactos ambientais associados ao setor da construção civil, principalmente se comparada à aplicação desta metodologia em outros setores industriais. Existe dificuldade em obter informações e bases de dados confiáveis e completas para os materiais utilizados na construção civil pois acredita-se que muitas empresas e fornecedores possuem certa desconfiança na divulgação destes dados em decorrência de questões relacionadas a plágio no processo produtivo, à concorrência ou transmissão de imagem negativa associada à empresa.

2.3 USO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NA ÁREA DE SISTEMAS HIDRÁULICOS PREDIAIS E DE SANEAMENTO

De acordo com Bueno, Fabricio e Rossignolo (2011) nos últimos anos, o dever de se respeitar os princípios do desenvolvimento sustentável e os novos modelos econômicos alteraram a perspectiva em relação à durabilidade das obras e inseriram o planejamento da vida útil no processo. A metodologia ACV tem sido utilizada no setor da construção civil desde 1990, tornando-se um instrumento importante na avaliação de edifícios (ORTIZ; CASTELLS; SONNEMANN, 2009). Segundo Soares, Souza e Pereira (2006) a aplicação desta metodologia neste setor é importante devido aos grandes impactos ambientais produzidos nas diversas fases do processo construtivo avaliados mediante o consumo de recursos naturais, demandas energéticas, geração de resíduos (sólidos e líquidos) e por meio das emissões atmosféricas.

Kalbusch (2011) afirma que os trabalhos realizados no setor da construção civil incorporam o conceito de ACV na escolha de materiais e sistemas e na seleção dos métodos construtivos. Estudos realizados em diferentes setores da construção civil demonstram a grande variedade de aplicação da ACV em edificações, sistemas e elementos construtivos. Nas áreas de sistemas prediais e gestão do uso da água alguns trabalhos já foram desenvolvidos.

O estudo desenvolvido por Kalbusch e Ghisi (2012) apresentou um método para quantificar o consumo energético no ciclo de vida de diferentes equipamentos hidrossanitários. Dois modelos de torneiras foram analisados (torneira convencional e torneira com fechamento hidromecânico). Por proporcionar economia de água e energia

ao longo do ciclo de vida o modelo de torneira economizadora de água mostrou-se viável em comparação à torneira convencional.

Lee e Tansel (2012) analisaram aparelhos residenciais (máquina de lavar roupas, bacia sanitária e chuveiro) com enfoque no consumo indireto e nos impactos ambientais da fase de uso de cada aparelho. Os impactos ambientais globais considerados incluíram o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa estimadas em diferentes estágios. Os autores constataram que todos os aparelhos analisados neste estudo têm impactos significativos no meio ambiente, tanto na demanda como nas emissões. A redução significativa dos impactos ambientais foi observada por meio da aplicação de práticas de conservação de água, isto é, empregando aparelhos que utilizam água com eficiência.

Marinoski *et al.* (2012) compararam a viabilidade ambiental do aproveitamento de água pluvial com o reúso de água cinza em edificações residenciais por meio do conceito de avaliação do ciclo de vida. A unidade funcional utilizada para comparar as duas estratégias foi a energia consumida para o abastecimento de água, coleta e tratamento do esgoto durante 20 anos. Os resultados indicaram que a viabilidade ambiental das duas estratégias é similar sendo a escolha dos componentes dos dois sistemas a variável com maior influência sobre a viabilidade ambiental pois a maior parcela de energia incorporada nos sistemas é associada à produção dos seus componentes. Em relação à redução dos efluentes domésticos, somente o reúso de água cinza apresenta benefícios ambientais, pois a redução de efluente com o uso de água pluvial é nula.

Moore *et al.* (2017) avaliaram o potencial de aquecimento global e a demanda de energia primária para uma série de sistemas domésticos de aquecimento de água na Austrália. Os autores concluíram que o sistema elétrico de água quente, que é o comumente mais instalado na Austrália, também é o que tem a maior pegada de Carbono (quantidade de gases de efeito estufa produzidos pelas atividades humanas, medida em unidades de dióxido de carbono (MUTHU, 2015)) sendo que a fase de uso representa 87% do potencial de aquecimento global e 99% da demanda de energia primária em todos os sistemas analisados.

O trabalho de Lemos *et al.* (2013) analisou os impactos ambientais derivados do sistema de águas urbanas do município de Aveiro (Portugal) utilizando a metodologia de avaliação do ciclo de vida. O estudo incluiu categorias de impacto como: mudança climática, depleção de combustíveis fósseis, eutrofização marinha, acidificação terrestre,

toxicidade humana, formação de oxidantes fotoquímicos, ecotoxicidade marinha e radiação ionizante. Os autores destacaram o fato de que os impactos ambientais dos sistemas de águas urbanas são específicos de cada local, portanto, os resultados obtidos para uma determinada área geográfica não podem ser extrapolados para outras áreas. O consumo de eletricidade e a descarga de nutrientes para o mar foram identificados como os principais contribuintes para os impactos ambientais.

Jeong, Minne e Crittenden (2015) analisaram, por meio da avaliação do ciclo de vida, o sistema de água centralizado da cidade de Atlanta, a fim de compreender as fontes dos maiores impactos ambientais no sistema. Os quatro principais impactos do sistema de água centralizado da cidade de Atlanta foram: efeitos carcinogênicos, ecotoxicidade, efeitos não-carcinogênicos e a eutrofização. Segundo os autores a entrada que causa 68% dos efeitos carcinogênicos foi a da construção da infraestrutura que é, muitas vezes, ignorada na literatura. Foram usados dados europeus para determinar as emissões e os usos de recursos relacionados à infraestrutura. Os resultados seriam mais precisos se os conjuntos de dados de inventário da infraestrutura dos Estados Unidos estivessem disponíveis, segundo os autores.

Os encargos energéticos decorrentes do Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Feira de Santana (composto de captação em manancial superficial, estação elevatória e adutora de água bruta, tratamento, estação elevatória de água tratada, reservação e distribuição) foram analisados, utilizando o método de avaliação do ciclo de vida, por Guanais, Cohim e Medeiros (2017). Os autores concluíram que as fases de captação e distribuição de água apresentaram os maiores consumos energéticos, sendo a eletricidade do bombeamento responsável por 86% da demanda energética acumulada.

2.4 SISTEMAS ECONOMIZADORES DE ÁGUA

A escassez da água está sendo tratada como um problema mundial que afetará as futuras gerações (SAUTCHÚK; GONÇALVES, 2005). Sendo assim, cada vez mais buscam-se alternativas para otimizar o consumo e minimizar a geração de efluentes a fim de reduzir os impactos ambientais.

Para Tamaki (2003) devido ao aumento da preocupação com o desenvolvimento tecnológico e com o uso racional da água estão sendo desenvolvidos aparelhos economizadores de água, que de acordo com o autor, são “dispositivos que buscam a redução do consumo de água, mas sem a perda da eficiência ou comprometimento do

desempenho”. Segundo o autor esses dispositivos têm como objetivo aumentar o controle e a facilidade de uso, satisfazendo as necessidades dos usuários sem promover desperdícios.

Como forma de reduzir os desperdícios e os volumes de água utilizados, podem ser implementadas ações econômicas, sociais e tecnológicas (OLIVEIRA; GONÇALVES, 1999). Segundo os autores, dentro das ações tecnológicas as acessíveis aos usuários são a substituição de componentes convencionais por economizadores de água e o controle dos desperdícios.

Segundo Hafner (2007) dentro de uma edificação existem três linhas complementares para se combater o desperdício quantitativo de água. A primeira delas é por meio da detecção e correção de perdas e vazamentos no sistema predial de água, a segunda pela conscientização do usuário e a terceira, independentemente da vontade do usuário, a substituição dos aparelhos sanitários convencionais por aparelhos economizadores.

O objetivo da substituição de aparelhos convencionais por aparelhos economizadores de água é reduzir o consumo de água independentemente da ação do usuário ou de sua disposição em mudar os hábitos para economizar água (OLIVEIRA; GONÇALVES, 1999). Tamaki (2003) afirma que a economia de água proporcionada pelo uso de aparelhos economizadores depende da economia gerada em cada ciclo e da frequência de utilização destes equipamentos.

De acordo com Alves, Rocha e Gonçalves (2006) a adoção dos aparelhos economizadores de água no Brasil vem crescendo principalmente em prédios de uso público, pois seu uso proporciona redução nas contas de água e esgoto, além de energia elétrica. Essa tendência ocorre também em edificações residenciais, principalmente em habitações populares, porém, em menor escala (ALMEIDA, 2007; COHIM *et al*, 2009).

As Universidades devem assumir o papel de liderança no desenvolvimento sustentável e o uso racional da água é uma ótima ferramenta para promoção deste desenvolvimento (MARINHO; GONÇALVES; KIPERSTOK; 2014). Um programa para economia de água implantado na Universidade Federal da Bahia conseguiu reduzir o consumo de água *per capita* pela metade, proporcionando economia de custos significativa para a Instituição, como afirmam os autores. Uma das etapas deste programa promoveu a substituição de componentes convencionais por economizadores de água (MARINHO; GONÇALVES; KIPERSTOK, 2014).

Quando da substituição dos dispositivos que irão auxiliar na redução do consumo de água, a especificação dos componentes deve ser feita mediante observações das atividades relacionadas ao uso da água pelos usuários, da pressão disponível no ponto de utilização e de uma avaliação técnico-científica (GONÇALVES *et al.*, 1999). Para Sautchuk *et al.* (2005), os componentes economizadores apresentam propriedades específicas de instalação, funcionamento, operação e manutenção. Os autores afirmam que para que esses desempenhem sua função corretamente, garantindo a manutenção dos indicadores de consumo de água esperados, é fundamental que:

- sejam especificados corretamente em função do uso final e do tipo de usuário;
- sejam instalados corretamente de acordo com as indicações dos fabricantes;
- sejam utilizados de maneira correta, mediante treinamento aos usuários, se necessário;
- recebam a manutenção necessária garantindo a regulagem e o funcionamento correto dos equipamentos, conforme as especificações dos fabricantes.

A instalação de aparelhos economizadores, juntamente com o aproveitamento da água pluvial foi a combinação que resultou no melhor potencial de economia de água em estudo realizado por Fasola *et al.* (2011) onde foram testados três possíveis cenários para diminuir o consumo de água em duas escolas da cidade de Florianópolis – SC. Essa economia representou 72,7% e 27,8%, respectivamente. No mesmo estudo, os autores constataram que na escola municipal o principal consumidor de água era a torneira da cozinha, seguida pela descarga da bacia sanitária. Na escola estadual, o maior consumidor foi o mictório, devido ao fluxo de água ser contínuo, seguido também pela bacia sanitária.

Em outro estudo realizado no banheiro masculino do prédio da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, dentre todos os aparelhos hidráulicos, a bacia sanitária mostrou-se a maior consumidora de água (MACHADO *et al.*, 2010).

Na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) em Campinas – SP, Amaral *et al.* (2009) realizaram um estudo a fim de relacionar o desperdício de água referente ao uso de bacias sanitárias convencionais comparado ao uso das bacias que possuem sistema VDR (Volume de Descarga Reduzido). De acordo com o estudo, a bacia sanitária convencional consome de 12 a 15 litros de água por descarga enquanto que a VDR em torno de 6 litros por descarga. Foram avaliadas 32 bacias sanitárias convencionais em

dois edifícios pertencentes a Universidade Estadual de Campinas. A economia mensal, em m³, gerada pela troca das bacias convencionais por VDR seria de 34,77 m³.

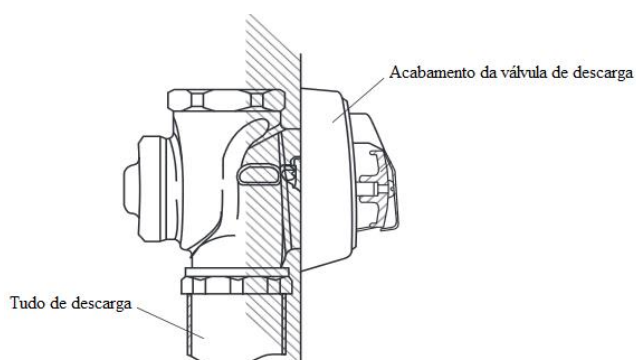
O item seguinte abordará com maiores detalhes o funcionamento dos acabamentos das válvulas de descarga das bacias sanitárias.

2.5 PRINCÍPIO DO FUNCIONAMENTO DOS ACABAMENTOS DE VÁLVULA DE DESCARGA CONVENCIONAL E DE DUPLO ACIONAMENTO

A NBR 8160 (ABNT, 1999), descreve a bacia sanitária como “um aparelho sanitário destinado a receber exclusivamente dejetos humanos”. Kaminagakura (2005) afirma que a bacia sanitária é um dos equipamentos com maior potencial de redução de consumo de água, pois representa um grande percentual de consumo interno de uma edificação. Assim torna-se evidente a priorização da bacia sanitária como o aparelho sanitário de maior necessidade de substituição por modelos economizadores (HAMZO, 2005).

Segundo a NBR 15857 (ABNT, 2011) o acabamento de válvula de descarga é um acessório utilizado na válvula de descarga de embutir na parede, que permite cobrir sua base depois de instalada (Figura 2). Os modelos de acabamentos disponíveis no mercado variam de acordo com o fabricante. Alguns modelos disponíveis são: acabamento de simples e duplo acionamento, acabamento antivandalismo, acabamento com sensor de presença, acabamento *bacteria-free* (DECA, 2017; DOCOL, 2017a).

Figura 2 – Acabamento da válvula de descarga.



Fonte: Adaptado ABNT/NBR 15857, 2011.

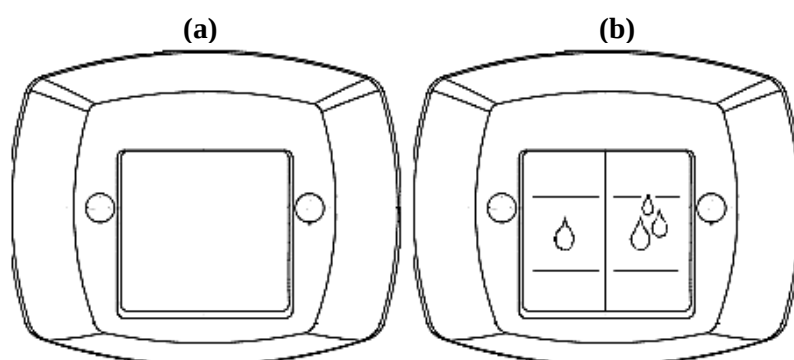
Até o final do ano de 2002, as indústrias de componentes hidráulicos e sanitários, impulsionadas pelo Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade – PBQP

juntamente com o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCD, tinham como meta diminuir o volume nominal de água na descarga de 12 litros para aproximadamente 6 litros por descarga independentemente do sistema de descarga adotado (OLIVEIRA, 2002; FIGUEIREDO, 2007).

Os sistemas de descarga fazem parte dos sistemas hidráulicos e têm como objetivo fornecer água com volume e energia adequados à remoção e transporte dos dejetos das bacias para os ramais de esgoto, sem tornar o consumo de água muito oneroso, e também repor o fecho hídrico, evitando o retorno de odores ao ambiente (INMETRO, 2014).

As válvulas de descarga não possuem reservatório para água e são acopladas diretamente na tubulação, tornando o seu desempenho mais dependente das condições de instalação das tubulações (INMETRO, 2014). A válvula de descarga com duplo acionamento, também conhecida como *dual*, *duo-flux* ou *dual flush* permite utilizar no momento de acionamento, por meio de um botão duplo, um menor volume de água para dejetos líquidos (geralmente 3 litros/descarga) e um maior volume de água com descarga completa para dejetos sólidos (HAFNER, 2007; BRASIL, 2005). Na Figura 3 é possível ver um modelo de acabamento de válvula de descarga de simples acionamento e outro modelo de duplo acionamento.

Figura 3 – Modelo de acabamento simples (a) e de duplo acionamento (b) da válvula de descarga.



Fonte: Adaptado Docol Metais Sanitários, 2017a.

De acordo com Arocha e Mccann (2013) a válvula de descarga *dual flush* permite ao usuário fazer uma escolha, porém, se o usuário utilizar de forma incorreta ou não entender como se dá o funcionamento deste mecanismo, esse não poupará a quantidade de água para que foi projetado.

2.6 REÚSO DE ÁGUAS CINZAS

O reúso da água é definido de acordo com o art.2º da Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) como a utilização de água residuária. Água residuária segundo a mesma resolução é “esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não” (BRASIL, 2006).

Para Eriksson (2002) o termo águas cinzas refere-se a águas residuais produzidas em residências, edifícios de escritórios e escolas, bem como em alguns tipos de indústrias, onde não há contribuições das bacias sanitárias ou de águas processadas muito poluídas. Os componentes presentes nas águas cinzas variam muito e dependem do estilo de vida, dos costumes, dos sistemas prediais e do uso de produtos químicos (ERIKSSON, 2002).

De acordo com a Environment Agency (2011) a reutilização da água cinza não só diminui a quantidade de água potável utilizada, mas também reduz o volume de água descarregada para os sistemas de esgoto. Para o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 2006), a prática de reúso de água diminui a descarga de poluentes em corpos receptores, mantendo os recursos hídricos para o abastecimento público e outros usos mais rigorosos quanto à qualidade, reduzindo os custos associados à poluição e contribuindo para a proteção do meio ambiente e da saúde pública.

Os sistemas de reúso das águas cinzas variam significativamente em sua complexidade, podendo ser desde sistemas com tratamento muito simples até grandes sistemas com processos de tratamento complexos (ENVIRONMENT AGENCY, 2011). No entanto a maioria dos sistemas possuem componentes comuns como: reservatórios, motobombas, um sistema de distribuição para levar a água tratada até os locais de utilização e um sistema de tratamento (ENVIRONMENT AGENCY, 2011).

Todo sistema de reúso dessas águas deve incorporar algum nível de tratamento, uma vez que a água cinza não tratada deteriora-se rapidamente durante o armazenamento. Essa água é rica em nutrientes proporcionando as condições ideais para que as bactérias se multipliquem, resultando em problemas de odor e má qualidade da água (ENVIRONMENT AGENCY, 2011).

Como exemplo de tratamento, na Espanha, March, Gual e Orozco (2004) realizaram um estudo para avaliar o potencial de economia de água potável por meio do reúso da água cinza proveniente das banheiras e dos lavatórios nas bacias sanitárias de um hotel. O tratamento seguiu uma fase de filtração, sedimentação e desinfecção com

hipoclorito de sódio. Essa água cinza possuía tempo de armazenamento inferior a 48 horas e mostrou-se própria para a utilização nas bacias sanitárias. Houve boa aceitação por parte dos hóspedes e o consumo de água potável diminuiu em 23%.

Na Síria, Mourad, Berndtsson e Berndtsson (2011) desenvolveram um estudo para avaliar o potencial de economia de água potável com a utilização de água cinza nas bacias sanitárias na cidade de Sweida. Os resultados mostram que o uso de água cinza tratada economizaria cerca de 35% da água potável, demonstrando ser uma alternativa viável para um dos países com maior escassez de água no Oriente Médio.

Em estudo desenvolvido por Silva (2013) sobre a demanda de água não potável e o desenvolvimento de um sistema de reúso de água cinza para habitações de interesse social, o autor notou que a quantidade de água cinza produzida diariamente em média (245 litros) nessas habitações é superior à quantidade de água cinza utilizada (136 litros). Duas diferentes configurações para o sistema de reúso foram testadas (um sistema descentralizado e um sistema semi-descentralizado) e a que apresentou menor custo de implantação foi o sistema semi-descentralizado que possuía reservatório superior para a água de reúso e promovia a distribuição da água por gravidade.

Silveira *et al.* (2014) analisaram o reúso de águas cinzas, por meio do estudo do caso no Centro Socioeconômico da Universidade Federal de Santa Catarina. Foram instalados mictórios ecológicos, que utilizam a água dos lavatórios para a lavagem dos mictórios. Os resultados da pesquisa mostraram-se satisfatórios pois houve economia de água potável, redução nas contas de água e redução da disposição final de efluentes em corpos d'água, contribuindo para a conservação desses.

Marinoski (2015) desenvolveu um método para a avaliação do impacto ambiental da implantação de um sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza em residências unifamiliares por meio da análise do ciclo de vida. O método desenvolvido no estudo foi aplicado em uma habitação de interesse social, obtendo um potencial médio de economia de água potável pela implantação conjunta dos dois sistemas de 41,9%. O potencial de economia de água utilizando somente o reúso da água cinza foi de 19,4% e o potencial de redução de esgoto, de 40%.

Gomes, Fucale e Silva (2016) avaliaram o consumo de água em uma edificação escolar sustentável em Recife – PE. Por meio de hidrômetros instalados na estação de tratamento de águas cinzas presente nesta escola, determinou-se o potencial de água potável economizada devido ao sistema de reúso. De acordo com estudo preliminar realizado pelos autores, seria gerado um volume de água cinza de 131,32 m³ ao longo de

um ano, representando economia de água e de recursos para a instituição. Os autores afirmam que a utilização de técnicas de reaproveitamento de água na edificação apresenta uma economia muito significativa para promover a preservação dos recursos hídricos e o desenvolvimento sustentável na edificação.

Outro estudo desenvolvido por Chrispim e Nolasco (2017) propôs caracterizar a qualidade e quantidade de águas cinzas geradas pelos lavatórios, chuveiros e máquina de lavar roupas, monitorando um sistema piloto para tratamento de água cinza instalado na Universidade de São Paulo. O sistema de tratamento incluiu um reator de biofilme e um tanque de decantação em escala piloto. A qualidade da água produzida mostrou-se viável para ser aplicada em fins externos (irrigação de paisagem e jardim em edifícios residenciais, comerciais e institucionais).

2.7 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA PARA REÚSO EM BACIAS SANITÁRIAS

O esgoto doméstico ou com características semelhantes deve ser tratado e reutilizado para fins que exijam água não potável, porém sanitariamente segura tais como irrigação de jardins, lavagem de automóveis, na descarga das bacias sanitárias, etc (ABNT, 1997). Os seguintes parâmetros necessitam ser atendidos para se fazer o reúso das águas cinzas nas bacias sanitárias: a turbidez deve ser inferior a 10 e a taxa de coliformes fecais, inferior a 500 NMP/100 ml, sendo que as águas de enxague de máquinas de lavar roupas satisfazem esse padrão fazendo-se necessário apenas uma cloração (ABNT, 1997).

No caso de esgoto classe 3, destinado à descarga de bacias sanitárias, a NBR 13969 (ABNT, 1997) afirma que para casos gerais um tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção satisfaz os parâmetros necessários para o reúso dessa água.

A Tabela 1 apresenta os valores da norma NBR 13969 (ABNT, 1997) para o esgoto classe 3 e os requisitos mínimos de qualidade para água de reúso em ambientes urbanos estabelecidos pelo o Manual de conservação e reúso em edificações da Agência Nacional de Águas (ANA), Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) e do Sindicato da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON) (2005).

Tabela 1 – Parâmetros para reúso de água cinza.

Parâmetros	NBR 13969 (1997) Classe 3	ANA/FIESP/ SINDUSCON (2005) Classe 1
Coliformes fecais (NMP/100mL)	< 500	Não detectáveis
pH	----	Entre 6,0 e 9,0
Cor (UH)	----	≤ 10
Turbidez (UT)	< 10	≤ 2
Odor e aparência	----	Não desagradáveis
Óleos e graxas (mg/L)	----	≤ 1
DBO (mg/L)	----	≤ 10
Composto orgânicos voláteis	----	Ausentes
Nitrato (mg/L)	----	< 10
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	----	≤ 20
Nitrito (mg/L)	----	≤ 1
Fósforo total (mg/L)	----	≤ 0,1
Sólido suspenso total – SST (mg/L)	----	≤ 5
Sólido dissolvido total – SDT (mg/L)	----	≤ 500

Fonte: ABNT, 1997; ANA/FIESP/SINDUSCON, 2005.

Carvalho *et al.* (2014) afirmam que sistemas de tratamento de águas residuárias são um conjunto de processos que funcionam de maneira organizada com objetivo de remover poluentes (impurezas, contaminantes, energia, etc.) devendo atender as condições para o reúso.

O sistema de tratamento deve ser executado baseando-se nas características das águas cinzas e na qualidade recomendada para os efluentes tratados. Evidentemente, o tratamento da água cinza é mais complexo do que os considerados para o aproveitamento de água pluvial, devido à maior concentração de poluentes (ANA; FIESP; SINDUSCON, 2005).

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (1998) sugere um tratamento primário (sedimentação), um tratamento secundário (oxidação biológica, desinfecção) e por fim um terciário (coagulação química, filtração, desinfecção) para o reúso da água cinza nas descargas das bacias sanitárias.

De acordo com Fane e Reardon (2013) o tratamento biológico da água cinza consiste em várias etapas. Inicialmente deve ser realizada uma filtração grosseira para remover grandes partículas. Em seguida deve ser realizada uma filtração fina e um tratamento biológico. Por fim, segundo os autores, toda água cinza reutilizada em ambientes fechados deve ser desinfetada. Alternativas como a desinfecção UV ou ozônio devem ser utilizadas sempre que possível, porém requerem energia elétrica para operar.

Jefferson *et al.* (2000) afirmam que no Reino Unido a tecnologia mais comum utilizada para o tratamento doméstico de água de reúso é a filtração grosseira seguida por desinfecção. Esse processo emprega um curto período de permanência dessa água, de modo que a natureza química da água cinza permanece inalterada sendo necessário apenas um tratamento mínimo. O filtro grosseiro geralmente compreende um filtro de metal e a desinfecção é realizada utilizando cloro ou bromo, dispensado em blocos de liberação lenta ou solução líquida.

Em seu estudo, Vieira (2012) utilizou o sistema de zonas de raízes ou *wetland* para fazer o tratamento de águas cinzas provenientes de efluentes da lavadora de roupas, tanque, chuveiro e lavatório usadas exclusivamente nas descargas das bacias sanitárias das edificações por ele analisadas. O autor concluiu que a água cinza pode atender 24% e 58% dos serviços de água e esgoto, respectivamente.

Rossi e Elias (2015) avaliaram a aplicação do reúso de água cinza em residências unifamiliares em função dos custos totais de implantação desse sistema. A água cinza era coletada somente dos lavatórios, do chuveiro e da máquina de lavar roupa. O tratamento se deu em duas etapas: inicialmente a filtração, para separar sólido/líquido e posteriormente a desinfecção, para tratar biologicamente a água. O filtro aerado era composto com uma camada de areia para reter as partículas sólidas e em seguida o líquido seguia para um reservatório de desinfecção onde era realizada a cloração desta água, visando eliminar possíveis microrganismos patogênicos e contaminantes. A economia gerada nos custos mensais na conta de água e esgoto chegou a 36,63%.

Em Itajubá – Minas Gerais, Braga e Ribeiro Júnior (2016) avaliaram técnica e economicamente a implantação de um sistema de reúso de água cinza, proveniente dos lavatórios nas bacias sanitárias, em uma instituição de ensino. O tratamento de água foi realizado por meio de um sistema de filtração substituindo o carvão ativado por fibras de bananeira e a desinfecção por meio de raios ultravioleta. Esse tratamento mostrou melhorias nos aspectos físicos do efluente, principalmente quando empregado o processo de decantação e posterior filtração e desinfecção. Contudo, esse processo ainda necessita ser melhorado para atender os padrões mínimos exigidos, segundo os autores.

Noutsopoulos *et al.* (2017) realizaram um estudo para caracterizar as diferentes fontes de água cinza e avaliar o desempenho de vários sistemas alternativos de tratamento físico-químico para os vários tipos de águas cinzas. A água cinza era proveniente da banheira, chuveiros, lavatórios, pia de cozinha, lava-louças e máquina de lavar roupas, dependendo do sistema analisado. Os sistemas 1 e 2 consistiam em um tanque de

sedimentação de 10 L, seguido por um filtro de areia e um filtro carvão ativado. Os sistemas 3 a 5 eram uma modificação dos sistemas 1 e 2 com a incorporação de uma unidade de coagulação à frente do tanque de sedimentação e as duas unidades de filtragem (filtro de areia e filtro de carvão ativado). O sistema 6 consistiu em uma unidade de coagulação, o filtro de areia e o filtro de carvão ativado. Os autores concluíram que o sistema que possuía as seguintes etapas: coagulação, sedimentação, filtro de areia e de carvão ativado, complementado por uma unidade de desinfecção conseguiu proporcionar a reutilização de águas cinzas para irrigação irrestrita e lavagem da bacia sanitária.

2.8 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS PARA CÁLCULOS EM ESTUDOS DE ACV

Segundo Kalbusch (2011) a compilação dos dados, a quantificação dos impactos e os cálculos envolvidos em estudos de ACV no setor da construção civil podem ser muito complexos. O uso de sistemas computacionais para auxiliar os estudos envolvendo ACV tem se tornado crescente. Uma grande variedade de *softwares* foi desenvolvida com o objetivo de facilitar a realização dos cálculos, realizar comparações entre ciclos de vida de produtos, analisar o fluxo de materiais e energia e, sobretudo, realizar análise de impactos ambientais e interpretação dos resultados. Ribeiro (2009) afirma que esses *softwares* auxiliam nos trabalhos que envolvem ACV, tornando-os possíveis de serem realizados e garantindo cálculos e conclusões de maior confiança. Entre os programas computacionais existentes no mercado de apoio à ACV, Kalbusch (2011) cita alguns: GaBi, Umberto, TEAM, SimaPro.

O programa computacional GaBi, segundo Ferreira (2004), suporta uma grande quantidade de dados e permite a realização da modelação do ciclo de vida do produto. De acordo com Campolina, Sigrist e Moris (2015), este *software* analisa os aspectos ambientais, sociais, econômicos, processos e tecnologias associados ao ciclo de vida de um produto, sistema ou serviço. Utilizado para construir balanços do ciclo de vida, permite realizar os cálculos de massa e energia de diferentes produtos. Lopes, Oliveira e Matos (2009) citam que este programa é baseado em um conceito modular, isto é, planos, processos, fluxos e suas funcionalidades estabelecem unidades modulares.

O programa Umberto foi criado pelo *Institute for Environmental Informatics* e segundo Ribeiro (2009) é um *software* de gestão ambiental utilizado para visualizar fluxogramas de materiais e energias. Tem como principal objetivo detectar os pontos para otimização dos processos no sistema de produção, reduzir os recursos (materiais e

energia) e minimizar as quantidades de emissão dos poluentes e por consequência os custos.

O programa TEAM, foi desenvolvido por *Pricewaterhouse Coopers Ecobilan Group* e de acordo com Ribeiro (2009), é uma ferramenta para avaliação ambiental e econômica do ciclo de vida de produtos ou serviços. Permite ao usuário estabelecer bancos de dados e inventários de ciclo de vida de sistemas complexos.

O programa computacional SimaPro possui vários métodos de avaliação de impacto e bancos de dados que podem ser editados sem limitações, segundo Campolina, Sigrist e Moris (2015). De acordo com Lopes, Oliveira e Matos (2009), é utilizado para modelar e analisar ciclos de vida complexos de produtos e serviços de forma sistemática e transparente, seguindo os princípios da norma da Organização Internacional para Padronização (ISO) ISO 14040.

Segundo Kalbusch (2011) a maioria dos programas computacionais de auxílio ao estudo da ACV sofrem constantes atualizações e mudanças periódicas pois as empresas estão sempre buscando inovar e atender às pretensões dos usuários. Desta forma, segundo a autora, cabe a cada pesquisador definir qual programa computacional melhor se encaixa nos objetivos do estudo da ACV que será desenvolvido.

O próximo item deste capítulo aborda o Programa Computacional SimaPro, que será utilizado neste trabalho e segundo Ferreira (2004), desde que foi introduzido, é um dos *softwares* mais utilizados para realizar a análise ambiental dos produtos.

2.9 SIMAPRO

SimaPro significa “*System for Integrated Environmental Assessment of Products*”. É uma ferramenta desenvolvida pela PRé Consultants, lançada em 1990 por Mark Goedkoop (FURTADO, 2014). Starostka-Patyk (2015) afirma que o *software* SimaPro permite coletar, analisar e monitorar o desempenho de produtos e serviços quanto à sustentabilidade. Permite ainda a análise de ciclos de vida complexos de forma sistemática e transparente, quantificando os impactos ambientais de produtos e serviços em todos os estágios do ciclo de vida desses (STAROSTKA-PATYK, 2015).

O *software*, segundo o SimaPro (2017) pode ser usado para várias aplicações, como relatórios de sustentabilidade, *design* de produto, pegada de carbono e água gerando declarações ambientais de produtos e determinando indicadores de desempenho. Por meio do uso deste *software* as decisões são tomadas de forma consciente ao longo da

análise, garantindo a precisão dos resultados (SIMAPRO, 2017). Possui mais de 20 métodos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida e mais de 9 bibliotecas de inventários, que trazem informações acerca de milhares de processos e produtos (ACVBRASIL, 2017).

O software possui várias bases de dados com diferentes processos e os principais métodos de avaliação de impacto (CAMPOS, 2012). De acordo com o SimaPro (2017), a base de dados Ecoinvent é reconhecida como a maior e mais consistente base de dados de Inventário de Ciclo de Vida no mercado. Essa base de dados é uma fonte de dados compatível para estudos e avaliações com base nas normas NBR 14040 (2009) e 14044 (2014).

Segundo Herrmann e Moltesen (2015) as ferramentas do *software* incluem uma interface do usuário para modelar o sistema do produto, uma base de dados de processo de unidade de ciclo de vida e uma base de dados de avaliação de impacto com dados que apoiam várias metodologias de avaliação do impacto do ciclo de vida. Também possuem um dispositivo que combina números das bases de dados de acordo com a modelagem do sistema do produto na interface do usuário (HERRMANN; MOLTESSEN, 2015).

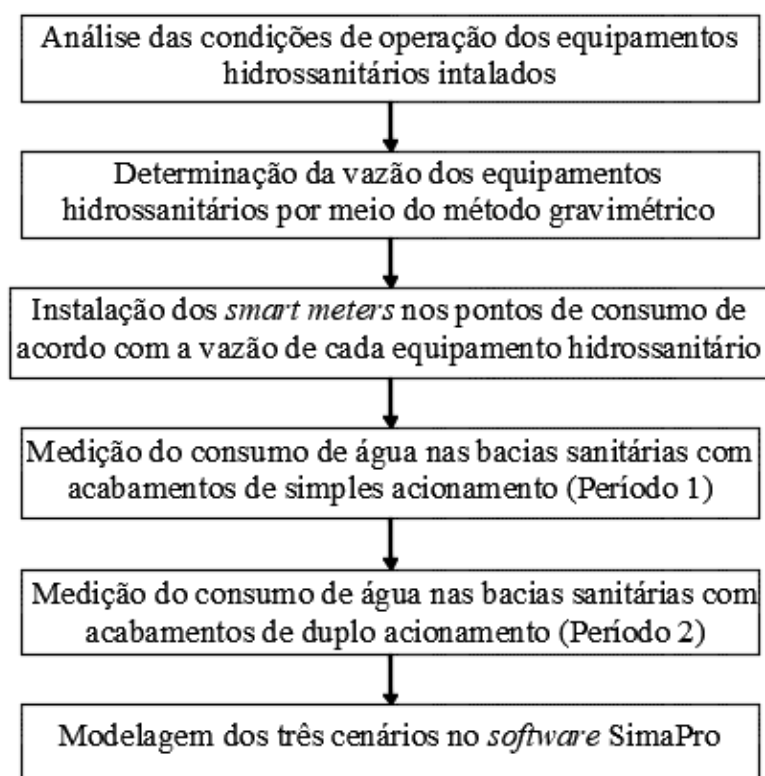
Campos (2012) listou alguns pontos fortes e fracos do SimaPro. Como pontos fortes o autor destacou que o *software* está em contínuo desenvolvimento, além de estar disponível em vários idiomas. Por outro lado, possui modelagem difícil e complexa devido à estrutura predefinida e à ausência de apoio gráfico (CAMPOS, 2012).

O estudo realizado por Starostka-Patyk (2015) analisou o uso do *software* SimaPro como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão no *design* de novos produtos e no processo de decisão sobre a gestão de produtos defeituosos. A autora concluiu que esse *software* é útil no suporte ao processo de tomada de decisão em projetos de novos produtos. O estudo evidenciou a eficácia desta ferramenta quando usada como ferramenta de tecnologia da informação, salientando que esse *software* deve ser amplamente utilizado nos processos de produção, juntamente com os produtos defeituosos como uma valiosa fonte de dados.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Um fluxograma com a sequência das etapas pertencentes ao método utilizado nesse estudo é apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma com as etapas presentes no método utilizado nesse estudo.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

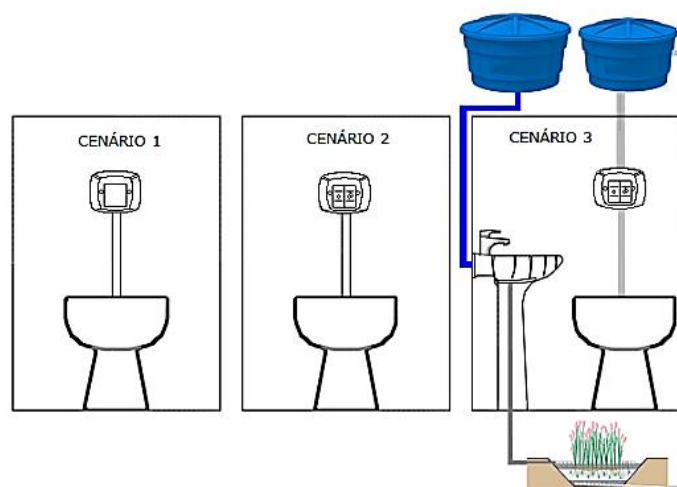
O estudo foi desenvolvido nos banheiros femininos e masculinos do Bloco K no *campus* do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina (CCT–UDESC), conforme Anexo 1.

O *campus* universitário está localizado no município de Joinville – SC e possui aproximadamente 62.000 m² de área. O abastecimento de água do *campus* é realizado pela Companhia de Saneamento Básico Águas de Joinville. O Bloco K é abastecido exclusivamente com água proveniente da Companhia Municipal, não havendo nenhuma fonte alternativa de fornecimento.

A proposta desse trabalho consistiu na aplicação do conceito de Avaliação do Ciclo de Vida para determinação dos impactos ambientais da utilização dos acabamentos simples das válvulas de descarga, dos acabamentos de duplo acionamento e também do reúso da água cinza dos lavatórios nas bacias sanitárias. Essa análise levou em

consideração as entradas e saídas do sistema, desde a extração da matéria-prima para fabricação dos equipamentos até o seu descarte final. Três cenários distintos foram analisados: no cenário 1, as válvulas de descarga possuíam acabamentos simples; no cenário 2, os acabamentos das válvulas eram de duplo acionamento; e no cenário 3, os acabamentos eram de duplo acionamento com a inclusão de um sistema de reúso da água dos lavatórios nas bacias sanitárias, de acordo com a Figura 5.

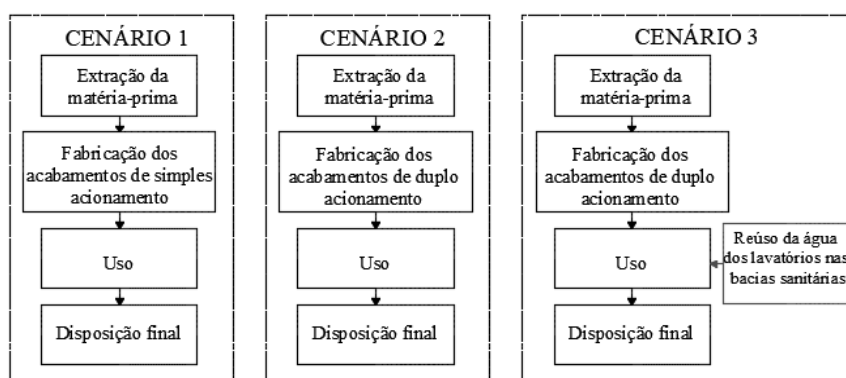
Figura 5 – Esquema representativo dos três cenários analisados.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

A Figura 6 apresenta as fases do ciclo de vida consideradas em cada cenário analisado neste estudo.

Figura 6 – Cenários Analisados.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

O ponto inicial desse estudo foi a realização de medições do volume de água utilizado para o funcionamento das bacias sanitárias com o acabamento de simples

acionamento, para posterior troca dos acabamentos e comparação com o volume utilizado nas bacias sanitárias com acabamentos de duplo acionamento. A válvula de descarga não precisou ser substituída pois o controle do volume aproximado de descarga é realizado no sistema de acabamento (simples ou duplo acionamento). O método utilizado neste projeto se baseou na troca dos acabamentos das válvulas de descarga já existentes. Como os dois equipamentos desempenham a mesma função foi possível comparar os resultados em termos de economia de água.

Para medir as vazões e o número de acionamentos de cada aparelho hidrossanitário foram utilizados medidores inteligentes (*smart meters*). No total foram instalados doze *smart meters* distribuídos nos 4 banheiros do Bloco K, sendo que 2 desses foram desenvolvidos por alunos pertencentes ao Programa Especial de Treinamento (PET) do curso de Engenharia Elétrica do próprio *campus*. Nas torneiras foram instalados medidores com sensores de fluxo de 1-30 L/min nos lavatórios, nos bebedouros sensores de 0,6-3 L/min, nas descidas das bacias sanitárias sensores de 10-350 L/min e nas descidas para os lavatórios, mictórios, torneiras de limpeza e bebedouros sensores de fluxo de 1-120 L/min. Os acabamentos das válvulas de descarga foram obtidos por meio de doações de uma empresa do município de Joinville e eram dos modelos *Clássica Chrome Docol* e *Clássica Chrome Docol Salvágua*, conforme Figura 7.

Figura 7 – Modelo do acabamento simples (a) e do acabamento duplo (b) instalados no Bloco K do CCT – UDESC.



Fonte: Adaptado Docol Metais Sanitários, 2017a.

O passo seguinte foi desenvolver o estudo de avaliação do ciclo de vida destes acabamentos. Assim, foi possível quantificar os impactos ambientais ocasionados nos três cenários da análise (válvulas de descarga com acabamentos simples, válvulas de descarga

com acabamento de duplo acionamento e a combinação das válvulas de descarga com acabamento de duplo acionamento e um sistema de reúso da água dos lavatórios nas bacias sanitárias).

Os dados necessários para a aplicação da metodologia ACV neste estudo foram fornecidos pela empresa fabricante dos acabamentos das válvulas de descarga, retirados de bancos de dados como o Ecoinvent e também da literatura. Como apoio para o desenvolvimento do estudo de ACV dos acabamentos de simples e duplo acionamento das válvulas de descargas foi necessário a utilização de um *software*. O *software* utilizado foi o SimaPro 8.3.0, versão educacional, que facilitou a execução do estudo pois permitiu que o processamento dos dados fosse executado de forma mais rápida.

A partir da medição do consumo de água, foi possível calcular os valores de consumo de água de cada lavatório e das bacias sanitárias e, com base nessas informações verificar os impactos ambientais da reutilização da água dos lavatórios nas descargas das bacias sanitárias.

3.1 ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E COLETA DE DADOS

Anteriormente ao início da coleta dos dados, foram analisadas as condições de operação dos equipamentos hidrossanitários instalados nos banheiros em estudo. O Bloco K do referido *campus* possui 18 salas de aula, 2 banheiros masculinos e 2 banheiros femininos, distribuídos em 2 pavimentos. Cada banheiro masculino possui 3 lavatórios, 4 bacias sanitárias, 5 mictórios e 1 bebedouro. Os banheiros femininos possuem 4 bacias sanitárias, 4 lavatórios, 1 torneira de limpeza e 1 bebedouro cada, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Total de equipamentos hidrossanitários instalados no Bloco K do CCT – UDESC.

Equipamento hidrossanitário	Quantidade
Bacia sanitária	16
Bebedouro	4
Mictórios	10
Torneira de lavatório	14
Torneira de limpeza	2

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Inicialmente, determinou-se a vazão dos equipamentos hidrossanitários instalados nos banheiros (exceto dos mictórios e das bacias sanitárias) pelo método gravimétrico de medição de vazão, usando um recipiente do tipo béquer, uma balança de precisão e um cronômetro (Figura 8). Este método consiste na pesagem de um determinado volume de água obtido em um determinado intervalo de tempo.

Figura 8 – Medição – Método Gravimétrico e instrumentos utilizados.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

A medição foi realizada três vezes em cada torneira e também nos bebedouros, sendo a vazão adotada no estudo a média aritmética desses três valores. Para conversão da vazão em massa para vazão em volume foi utilizado o valor de 1,0 kg/l para a massa específica da água. As vazões encontradas para cada equipamento hidrossanitário estão descritas na Tabela 3. Essas medições objetivaram determinar quais medidores seriam instalados em cada ponto de utilização de água de acordo com a vazão de cada equipamento hidrossanitário.

Tabela 3 – Vazões médias nos equipamentos do Bloco K do CCT - UDESC antes da colocação dos smart meters e desvios padrão (s).

Equipamento	Vazão média (L/min)			
	Pavimento inferior		Pavimento superior	
	Masculino	Feminino	Masculino	Feminino
Bebedouro	1,480 (s =0,020)	0,298 (s =0,001)	0,716 (s =0,018)	0,504 (s =0,012)
Torneira (limpeza)	*	3,636 (s =0,539)	*	4,992 (s =0,651)
Torneira 1	3,699 (s =0,052)	7,526 (s =0,190)	6,619 (s =0,106)	3,362 (s =0,037)
Torneira 2	3,632 (s =0,036)	9,457 (s =0,150)	2,725 (s =0,015)	2,738 (s =0,053)
Torneira 3	9,794 (s =0,176)	7,497 (s =0,015)	9,500 (s =0,056)	7,744 (s =0,307)
Torneira 4	**	8,811 (s =0,149)	**	2,816 (s =0,099)

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Notas:

* Os banheiros masculinos não possuem torneira de limpeza.

** Os banheiros masculinos possuem somente três torneiras.

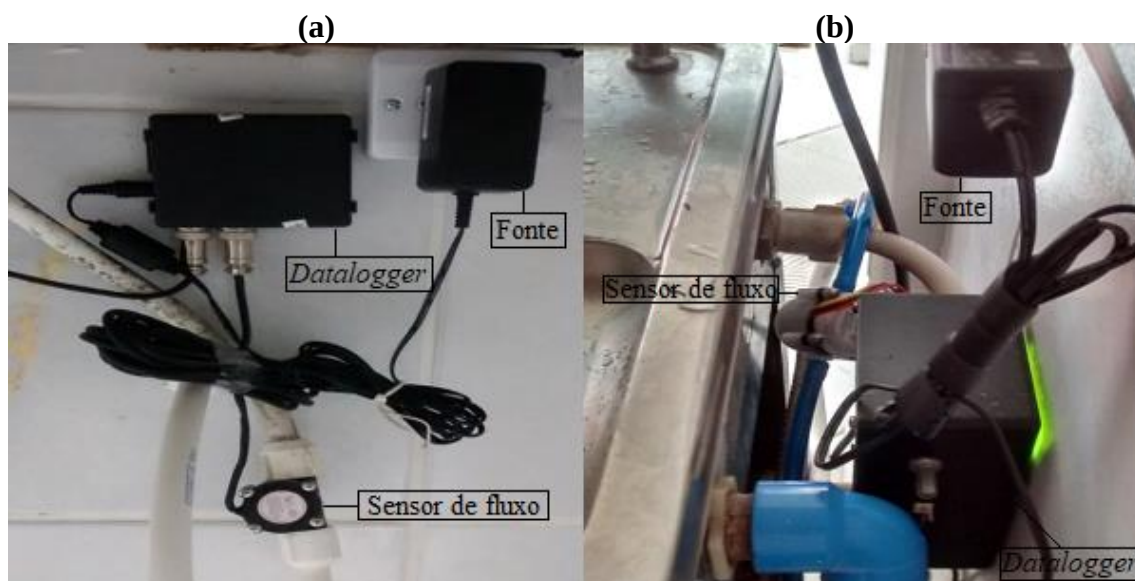
Posteriormente a essa medição, e logo após a instalação dos medidores nos equipamentos hidráulicos, novas medições foram realizadas a fim de verificar as leituras realizadas pelos *smart meters* e as perdas de carga devido à presença desses medidores nas tubulações. De acordo com o manual de instruções dos *smart meters* o erro máximo permitido para vazões entre 10 L/min e 30 L/min deve ser $\leq 10\%$ e para vazões menores que 10 L/min o erro máximo aceitável é $\leq 3\%$. Para o tempo, o erro aceitável deve ser ≤ 3 segundos (SUSTENTARE, 2016).

A quantificação do consumo de água na fase de uso ocorreu por meio da análise do consumo de água de todos os equipamentos hidrossanitários. O período previsto de medições com acabamento simples foi de 27/03/2017 a 03/07/2017. Anteriormente ao início das medições, as vazões de todas as válvulas de descarga foram ajustadas assim como todos os acabamentos das válvulas de descarga instalados no Bloco K foram substituídos pelo modelo de acabamento simples *Clássica Chrome Docol*. Após este período, os acabamentos simples das válvulas de descarga de todas as bacias sanitárias foram substituídos por acabamentos de duplo acionamento modelo *Clássica Chrome Docol Salvágua*. O período de medição do consumo de água para esta etapa foi de

08/08/2017 a 22/10/2017. Os ajustes e a troca dos acabamentos foram realizados por engenheiros cedidos pela empresa fabricante desses acabamentos.

Os dois modelos de *smart meters* instalados podem ser vistos na Figura 9. Os medidores do tipo 1 captavam pulsos que eram transformados em volume pelo próprio *data logger* e os medidores desenvolvidos pelo Grupo PET (tipo 2) captavam o volume de água.

Figura 9 – Smart meter modelo 1 (a) instalado em uma torneira e smart meter modelo 2 (b) instalado em um bebedouro do Bloco K.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

O medidor do modelo 1 apresentava na interface de saída as informações de cada evento registrados em linhas sucessivas. O arquivo gerado era no formato *log.csv* e apresentava o volume registrado, a data e a hora exata do acionamento além da duração de cada evento para os dois sensores. Os medidores do modelo 2 geravam um arquivo *.txt* e salvavam os dados em intervalos de 10 minutos, apresentavam a data da leitura, o intervalo de tempo entre as leituras, o volume medido no intervalo de 10 minutos e quantos acionamentos foram realizados neste intervalo de tempo. As interfaces de saída podem ser vistas na Figura 10.

Figura 10 – Interface de saída smart meter modelo 1 (a) e smart meter modelo 2 (b).

(a)

108	FR2	0.00	0.02	0.30	0.67	10:07:02	15/03/2017	00:00:02
109	FR1	0.00	0.01	0.22	0.50	10:07:01	15/03/2017	00:00:04
110	FR1	0.03	0.40	6.74	15.17	10:07:34	15/03/2017	00:00:08
111	FR2	0.04	0.49	8.19	18.42	10:07:37	15/03/2017	00:00:12
112								
113	FR2	0.04	0.48	8.07	18.17	10:24:46	15/03/2017	00:00:12
114	FR2	0.04	0.48	8.04	18.08	12:02:16	15/03/2017	00:00:14
115	FR1	0.03	0.34	5.74	12.92	12:02:55	15/03/2017	00:00:06
116	FR1	0.03	0.37	6.19	13.92	13:14:09	15/03/2017	00:00:08
117	FR1	0.05	0.70	11.70	26.33	13:14:23	15/03/2017	00:00:10
118	FR2	0.04	0.46	7.74	17.42	13:15:58	15/03/2017	00:00:12

(b)

DATALOG-BFI - Bloco de notas

Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
27/03/2017 12:17:51			0.02	0.00 0
27/03/2017 12:27:51			0.11	0.00 0
27/03/2017 12:37:51			5.13	0.01 1
27/03/2017 12:47:51			0.00	0.00 0
27/03/2017 12:57:51			0.39	0.00 0
27/03/2017 13:07:51			0.97	0.00 0
27/03/2017 13:17:51			0.77	0.00 1
27/03/2017 13:27:51			22.84	0.04 33

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Os dados ficavam gravados em um cartão de memória e era possível transferi-los para o computador. Ao retirar e inserir novamente o cartão de memória nos *smart meters* tipo 1 os registros continuavam a partir da última leitura, criando uma linha em branco entre os registros novos e antigos. Para os do tipo 2, as leituras eram registradas de forma contínua mesmo após a retirada do cartão de memória.

3.2 REÚSO DE ÁGUA CINZA E POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA

O potencial de economia de água foi obtido por meio do reúso das águas cinzas dos lavatórios dos banheiros femininos e masculinos nas bacias sanitárias do Bloco K. Esse potencial de economia gerado deu-se por meio de um estudo teórico, uma vez que nenhum experimento *in loco* foi realizado. Inicialmente foi necessário determinar a quantidade de água cinza produzida por esses aparelhos hidrossanitários. A geração de água cinza foi obtida pelo somatório do consumo de água dos lavatórios instalados nos banheiros masculinos e femininos do respectivo bloco de salas de aula, medidos por meio dos *smart-meters*.

O sistema de reúso de águas cinzas foi utilizado somente nas bacias sanitárias e possuía abastecimento auxiliar por água potável. A água cinza era proveniente das 14 torneiras de lavatórios disponíveis no bloco de salas de aula e seria utilizada nas 16 bacias sanitárias presentes no mesmo bloco de salas de aula.

3.2.1 Tratamento das Águas Cinzas

A tecnologia utilizada para o tratamento das águas residuárias neste estudo foi o sistema *wetland*. Monteiro (2009) afirma que “*wetland*” é um termo genérico para definir qualquer sistema alagado. O autor salienta que esses sistemas utilizam características despoluidoras para melhorar a qualidade da água.

O sistema *wetland* foi escolhido por ser um método de tratamento que utiliza tecnologia simples, de baixo custo e fácil operação além de apresentar eficiência satisfatória na remoção de compostos como matéria orgânica e possuir baixo consumo energético (LIMA, 2016; ANDRADE; NOLASCO, 2015). O modelo utilizado foi o *wetland* subsuperficial de fluxo vertical e um sistema de desinfecção com clorador flutuante que também foi adotado por Marinoski (2015).

Segundo Avery *et al.* (2007) os sistemas *wetland* são uma opção de tecnologia simples, útil para o tratamento de águas cinzentas domésticas visando a reutilização. Em um estudo realizado por esses autores, as zonas de raízes foram capazes de eliminar entre 83 e 92% da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) das águas cinzas. Para Edwin *et al.* (2015) o sistema *wetland* construído é uma opção notável no tratamento de águas cinzas devido ao custo de capital reduzido, menor demanda de energia e manutenção necessária em comparação com os sistemas convencionais.

Fuchs, Mihelcic e Gierke (2011) realizaram um estudo de avaliação do ciclo de vida de sistemas *wetland* de fluxo vertical e horizontal no tratamento de águas residuárias, chegando à conclusão de que os sistemas *wetland* de fluxo vertical são menos impactantes na remoção de nitrogênio dessas águas e conseguem padrões de qualidade da água com menores impactos ambientais. Afirmam ainda que ambos os sistemas possuem impactos insignificantes sobre a camada de ozônio.

A área do sistema de tratamento *wetland* foi calculada de acordo com a Equação 1 (VIEIRA, 2012).

$$A_{WET} = \frac{G_{cinza} * T_h * (1 + p - e_t)}{V * H} \quad (1)$$

onde:

A_{WET} é a área superficial do sistema *wetland* construído (m²);

G_{cinza} é a quantidade de água cinza produzida (l/dia);

T_h é o tempo de detenção hidráulica (dias);

p é a quantidade de água acrescida ao sistema devido à precipitação (adimensional);

e_t é a quantidade de água perdida pelo sistema devido a evapotranspiração (adimensional);

V é o índice de vazios do meio filtrante (adimensional);

H é a altura útil do sistema *wetland* (mm).

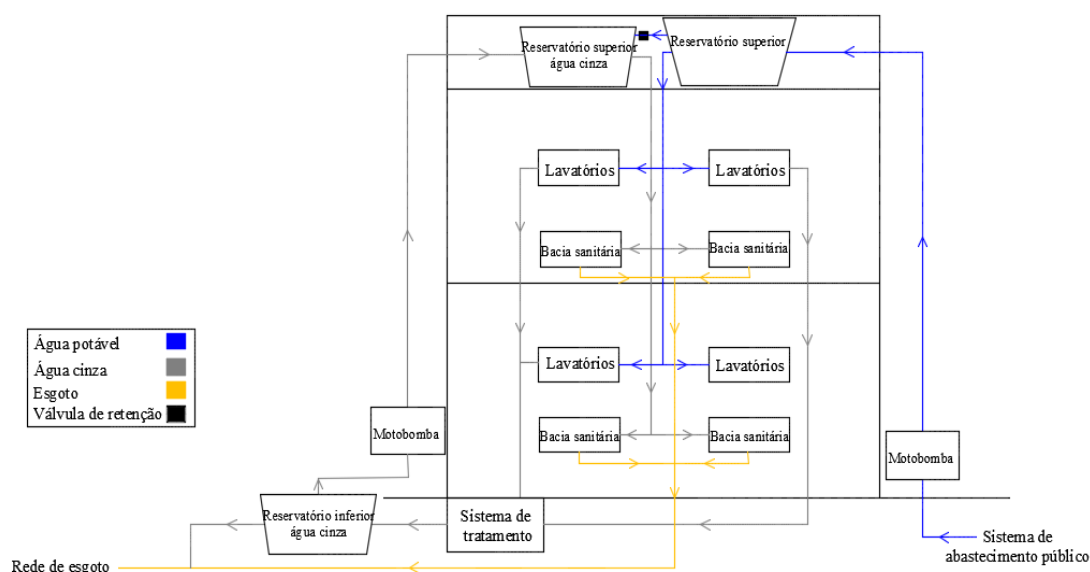
As características do sistema *wetland* utilizado neste estudo foram: tempo de detenção hidráulica de 2 dias, índice de vazios igual a 40% e altura útil do sistema de 50 cm conforme adotado por Vieira (2012). Adotou-se uma taxa de perdas devido à evapotranspiração de 10% do volume do afluente de acordo com estudo realizado por Headley *et al.* (2012) para regiões subtropicais úmidas. A taxa de ganhos por precipitação para a cidade de Joinville – SC foi calculada conforme Vieira (2012), chegando a um valor de 7% do volume do afluente. Esse cálculo considerou as taxas de precipitações para a cidade de Joinville, entre os anos de 2004 até 2014 e a área superficial do sistema.

De acordo com Silva (2007) nesse sistema o esgoto passa pela zona de raízes, área previamente preparada para o cultivo de determinada planta. O tratamento ocorre devido à capacidade dessas plantas de permitirem o movimento eficiente do oxigênio até o sistema radicular, estabelecendo grandes quantidades de bactérias aeróbias hospedeiras em torno da raiz que fornecem nutrientes para o seu desenvolvimento, diminuindo a carga orgânica do efluente. Nesse estudo a espécie vegetal utilizada foi a espécie nativa de junco (*Zizania bonariensis* brás) conforme adotado pela ELETROSUL (2005) no Projeto Casa Eficiente.

3.2.2 Configuração do Sistema de Reúso

O sistema de reúso de águas cinzas é composto por um reservatório inferior apoiado no solo e um reservatório superior apoiado na estrutura, um sistema de tratamento *wetland*, um sistema de desinfecção com clorador flutuante, um conjunto motobomba, tubulações horizontais e verticais, conexões, válvula de retenção e um conjunto mangueira boia conforme adotado por Marinoski (2015). A Figura 11 ilustra o abastecimento de água, coleta do esgoto e o sistema de reúso adotado neste estudo.

Figura 11 – Abastecimento de água, coleta do esgoto e sistema de reúso.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

A água cinza reutilizada neste estudo é proveniente dos lavatórios. Essa água é direcionada para o sistema de tratamento *wetland*, abastece o reservatório inferior e é bombeada para o reservatório superior. A partir deste ponto já pode ser reutilizada nas bacias sanitárias. Se houver excedente, este será direcionado para a rede de esgoto. Se não houver água cinza suficiente para suprir a demanda, considerou-se que o sistema predial de água potável da edificação suprirá o volume faltante.

Os reservatórios inferior e superior foram dimensionados para suprir as necessidades diárias de abastecimento de água de todas as bacias sanitárias do Bloco K, conforme o volume médio de água cinza produzido diariamente. O volume dos reservatórios inferior e superior são semelhantes pois foram consideradas as demandas diárias de acordo com Marinowski (2015). Foram adotados volumes comerciais para ambos os reservatórios.

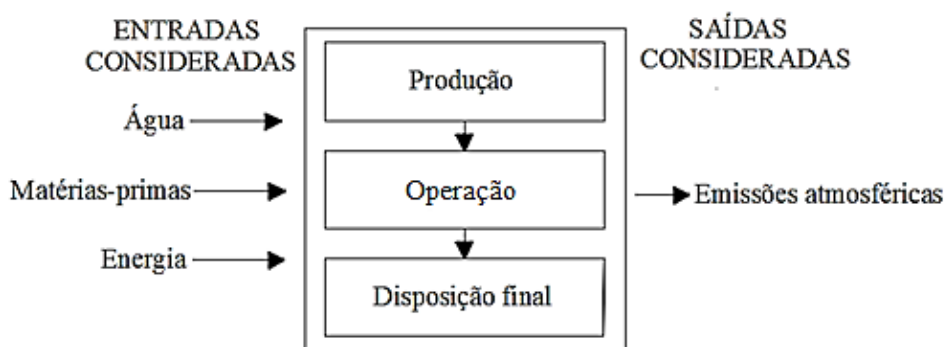
3.3 IMPACTOS AMBIENTAIS CONSIDERADOS

Este estudo adotou o método desenvolvido por Kalbusch (2011), onde as fases do ciclo de vida dos equipamentos hidrossanitários consideradas se dividem em produção, uso e disposição final. A fase de uso foi chamada de fase de operação. Na fase de produção foram levadas em consideração a extração de materiais e seu beneficiamento para a fabricação dos equipamentos hidrossanitários. A fase de uso envolveu os impactos

provocados pela utilização e possível manutenção até a fase de disposição final, que englobou os impactos referentes ao descarte (KALBUSCH, 2011).

Anteriormente ao estabelecimento dos impactos ambientais analisados foi importante definir as entradas e saídas do sistema em estudo. Assim, as entradas consideradas foram os fluxos de água, energia e matérias-primas e as saídas, as emissões no ar, conforme Figura 12.

Figura 12 – Entradas e saídas consideradas no ciclo de vida dos equipamentos hidrossanitários.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Os impactos ambientais analisados neste trabalho foram os referentes ao consumo de água e energia, matérias-primas e as emissões no ar ao longo do ciclo de vida dos equipamentos hidrossanitários em estudo. As categorias de impactos analisadas foram:

- Consumo de água;
- Consumo de energia total;
- Potencial de aquecimento global.

O potencial de aquecimento global, de acordo com estudo desenvolvido por Corominas *et al.* (2013), que analisou 45 artigos relacionados ao tratamento de águas residuais e avaliação do ciclo de vida, é uma das categorias de impacto mais avaliadas dentre todos os artigos estudados. Vilches *et al.* (2017) realizaram um estudo das recentes contribuições relacionadas à avaliação ambiental da remodelação e renovação de edifícios utilizando a metodologia de avaliação do ciclo de vida (ACV) e concluíram que o potencial de aquecimento global é uma das categorias de impactos mais consideradas. Da mesma forma o consumo de energia foi avaliado em diversos estudos relacionados à economia de água (LEE; TANSEL, 2012; WAKEEL; CHEN, 2016; CHANG; LEE;

YOON, 2017). O estudo desenvolvido por Ortiz, Castells e Sonnemann (2009) verificou que o consumo de energia é um dos impactos mais avaliados em estudos de ACV.

O consumo de água foi avaliado nesse estudo pois o intuito da troca dos acabamentos das válvulas de descarga é economizar água. Lee e Tansel (2012) observaram uma significativa redução dos impactos ambientais mediante a aplicação de práticas de conservação da água, por meio de aparelhos que utilizam água com eficiência. Outros autores também analisaram a utilização de equipamentos economizadores de água visando à economia de água em Universidades (VELAZQUEZ; MUNGIA; OJEDA, 2013; MARINHO; GONÇALVES; KIPERSTOCK, 2014; SILVA-AFONSO *et al.*, 2016).

3.4 QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

O método utilizado nesse estudo foi inserido no *software* SimaPro de acordo com as equações que serão apresentadas a seguir.

3.4.1 Quantificação das entradas relacionadas com o consumo de água

O consumo de água considerou o volume total de água consumida em todas as fases do ciclo de vida dos acabamentos das válvulas de descarga incluindo o volume de água utilizado na fase de transporte. O cálculo foi realizado conforme Equação 2, desenvolvida por Kalbusch e Ghisi (2016).

$$CA = CA_{pr} + CA_u + CA_d \quad (2)$$

onde:

CA é o consumo de água total (m^3);

CA_{pr} é o consumo de água na fase de produção do equipamento (m^3);

CA_u é o consumo de água na fase de uso do equipamento (m^3);

CA_d é o consumo de água na fase disposição final do equipamento (m^3).

3.4.2 Quantificação das entradas relacionadas com o consumo de energia

Para o consumo total de energia foram levadas em consideração as quantidades de energia utilizadas em todas as fases do ciclo de vida dos acabamentos, somando as usadas para o transporte desses. A Equação 3, desenvolvida por Kalbusch e Ghisi (2016) mostra o modo como o cálculo foi feito.

$$CE = EEpr + CEu + CEd \quad (3)$$

onde:

CE é o consumo de energia total (MJ);

$EEpr$ é a energia embutida na fase de produção do equipamento (MJ);

CEu é o consumo de energia na fase de uso do equipamento (MJ);

CEd é o consumo de energia na fase de disposição final do equipamento (MJ).

O cálculo simplificado do consumo energético diário para o bombeamento de água em sistemas prediais de acordo com Spezzia Junior (2009, *apud* KALBUSCH; GHISI, 2012, p. 66) foi fornecido pela Equação 4.

$$CE_{mb} = (P_M * F_C * F_S) * T_{func} \quad (4)$$

onde:

CE_{mb} é o consumo de energia da motobomba (KWh);

P_M é a potência mecânica do motor elétrico, em CV;

F_C é o fator de conversão, igual a 0,735;

F_S é o fator de serviço do motor (em geral igual a 1,15);

T_{func} é o tempo de funcionamento do motor (h).

A Equação 5 (KALBUSCH; GHISI, 2012) foi utilizada para o cálculo do consumo de energia para bombeamento da água.

$$CE_{bo} = (CE_{mb} * 3,6)/CA_{ed} \quad (5)$$

onde:

CE_{bo} é o consumo de energia para bombeamento de água (MJ/m³);

CE_{mb} é o consumo de energia da motobomba (KWh); e

CA_{ed} é o consumo de água do edifício (m^3).

3.4.3 Quantificação das saídas relacionadas com as emissões atmosféricas

As saídas relacionadas as emissões atmosféricas referem-se às emissões de gases do efeito estufa (GEE) para a atmosfera. Foram consideradas todas as emissões referentes às fases de produção, uso e destinação final. A Equação 6 (KALBUSCH, 2011) quantificou essas emissões, em kg.

$$E_{Ai} = E_{Ampi} + E_{Arci} + E_{Amai} + E_{Aui} + E_{Adi} \quad (6)$$

onde:

E_{Ai} é a emissão atmosférica de determinada substância analisada no ciclo de vida do equipamento hidrossanitário (kg);

E_{Ampi} é a emissão atmosférica da substância analisada associada à extração e processamento da matéria-prima (kg);

E_{Arci} é a emissão atmosférica da substância analisada associada à aquisição e processamento de materiais reciclados (kg);

E_{Amai} é a emissão atmosférica da substância analisada associada à manufatura do equipamento (kg);

E_{Aui} é a emissão atmosférica da substância analisada na fase de uso do equipamento (kg);

E_{Adi} é a emissão atmosférica da substância analisada na fase de disposição final do equipamento (kg).

A categoria de consumo de água total levou em consideração os consumos da água nas fases de produção, uso e destinação final. Essa categoria de impacto foi calculada de acordo com a Equação 2. Na categoria de consumo de energia total foram contabilizados os consumos de energia referente a todas as fases do ciclo de vida dos equipamentos das válvulas de descarga, incluindo o consumo de energia para disponibilizar água nos pontos de utilização e posterior tratamento do esgoto produzido, conforme a Equação 3.

As emissões de gases de efeito estufa foram analisadas na categoria potencial de aquecimento global. Essa categoria refere-se à mudança na temperatura global causada pelo efeito estufa devido à liberação dos "gases de efeito estufa", como o dióxido de

carbono pela atividade humana (BRE GLOBAL, 2008). Os principais gases do efeito estufa na atmosfera terrestre, segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2007), são o vapor de água (H₂O), o dióxido de carbono (CO₂), o óxido nitroso (N₂O), o metano (CH₄) e o ozônio (O₃). Além do CO₂, N₂O e CH₄, o Protocolo de Quioto trata dos gases de efeito estufa hexafluoreto de enxofre (SF₆), hidrofluorcarbonetos (HFCs) e perfluorocarbonos (PFC) (IPCC, 2007).

O Potencial de Aquecimento Global (PAG) é um parâmetro que usa o Dióxido de Carbono (CO₂) como referência (HEIJUNGS *et al.*, 1992). O aquecimento global futuro causado por um gás de efeito estufa em um determinado horizonte de tempo pode ser estimado multiplicando-se a emissão atmosférica dessa substância, em kg, pelo seu correspondente potencial de aquecimento global, resultando em kg de CO₂ equivalente, conforme a Equação 7 (HOUGHTON *et al.*, 1995; HEIJUNGS; GUINÉE, 1993).

$$I_{PAG} = \sum_{i=1}^n PAG_i * EA_i \quad (7)$$

onde:

I_{PAG} é o índice da categoria potencial de aquecimento global (kg de CO₂ equivalente);

n é o número de substâncias analisadas;

PAG_i é o potencial de aquecimento global de cada substância analisada (kg de CO₂ equivalente/ kg de substância);

EA_i é a emissão atmosféricas das substâncias analisadas (kg).

Os potenciais de aquecimento global para um horizonte de tempo de 100 anos de algumas substâncias estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Potencial de aquecimento global de algumas substâncias.

Substância	Fórmula	PAG (Horizonte de Tempo: 100 anos)
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	21
Óxido nitroso	N ₂ O	310
Hidrofluorcarbonos	HFC-23	11.700
	HFC-125	2.800
	HFC-134a	1.300
	HFC-143a	3.800
	HFC-152a	140
Perfluorcarbonos	CF ₄	6.500
	C ₂ F ₆	9.200
Hexafluoreto de enxofre	SF ₆	23.900

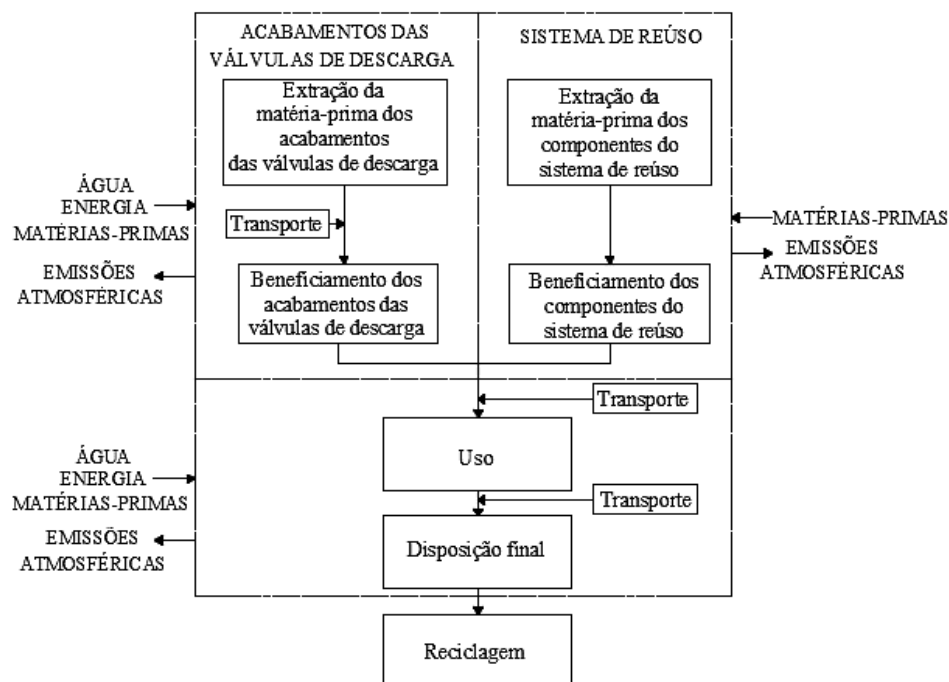
Fonte: Adaptado MCTI *et al.* (2013); MCTI *et al.*, 2000.

Para coleta e tabulação dos dados do produto foi utilizado o *software* SimaPro 8.3.0, versão educacional, com a utilização da base de dados de inventário Ecoinvent 3.3 (2016).

3.5 FRONTEIRAS DO ESTUDO E COMPONENTES DOS SISTEMAS

Segundo Mourad *et al.* (2007) a fronteira do sistema estabelece limites para o estudo, definindo todos os processos elementares que serão estudados. A fronteira do sistema em estudo inicia-se na extração da matéria-prima para a produção dos componentes e finaliza com o descarte das peças em locais apropriados ao fim da vida útil. Foram considerados nesse estudo o consumo de água e energia nas fases de extração e beneficiamento, assim como os valores referentes ao transporte das matérias-primas da origem até a fábrica, somente das matérias-primas que constituem os acabamentos das válvulas de descarga. No sistema de reúso foram considerados apenas os materiais constituintes dos componentes do sistema de reúso, o transporte da fábrica até a Universidade e a disposição final somente dos componentes que apresentaram vida útil menor que o horizonte de tempo desse estudo que é de 20 anos, conforme Figura 13.

Figura 13 – Fronteiras do sistema.



Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Os dados referentes às entradas e saídas do estudo de ACV para o reúso da água cinza foram obtidos na literatura e em bancos de dados confiáveis. Para os cálculos também foi utilizada a base de dados do Ecoinvent 3.3 (2016). O horizonte de tempo de utilização do sistema considerado foi de 20 anos conforme estudos realizados na área de sistemas hidráulicos (ATHAYDE JÚNIOR; DIAS; GADELHA, 2008; CHANG *et al.*, 2012; VIEIRA; GHISI, 2016; MARINOSKI; RUPP; GHISI, 2018).

Durante o horizonte de tempo considerado algumas reposições de equipamentos necessitaram ser realizadas a fim de garantir o total funcionamento do sistema pois, alguns componentes apresentavam vida útil inferior a 20 anos. Na Tabela 5 estão apresentadas a vida útil de cada componente, o número de reposições necessárias e a fonte de cada informação. A reposição dos componentes e equipamentos foi contabilizada na avaliação de forma semelhante a outros estudos (MARINOSKI, 2010; KALBUSCH, 2011; OREGI *et al.*, 2015). A durabilidade dos componentes do sistema *wetland* foi considerada de 60 anos tendo como referência a durabilidade do concreto (MARINOSKI, 2015). O apêndice II são apresenta os quantitativos dos componentes do sistema de reúso de águas cinzas.

Tendo como base o tipo de construção e outros aspectos como a manutenção e a durabilidade dos sistemas prediais hidrossanitários no *campus* onde foi realizado este

estudo, o tempo de vida útil do acabamento das válvulas de descarga foi considerado como 4 anos, ficando dentro do valor mínimo estabelecido pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013) para instalações aparentes ou em espaços de fácil acesso.

Tabela 5 – Vida útil de cada componente e o número de reposições em um horizonte de tempo de 20 anos.

Componente	Vida útil (anos)	Número de trocas	Fonte
Reservatório de armazenamento de água acima do solo	30	--	Roebuck <i>et al.</i> (2011)
Sistema <i>Wetland</i>	60	--	BS 7543 (2003)
Tubulações/conexões	50	--	Roebuck <i>et al.</i> (2011)
Conjunto mangueira-boia	25	--	3P TECHNIK (2015) <i>apud</i> Marinoski (2015)
Motobomba	12	0,67	Roebuck <i>et al.</i> (2011)
Clorador flutuante	3	5,67	CMBAQUA (2015) <i>apud</i> Marinoski (2015)
Realimentador	15	0,33	3P TECHNIK (2015) <i>apud</i> Marinoski (2015)

As tubulações e conexões consideradas são de policloreto de vinila (PVC), os reservatórios superior e inferior são compostos de polietileno de alta densidade (PEAD), a motobomba utilizada é composta pelas seguintes componentes: motor elétrico com capa de proteção, rotor fechado de alumínio, selo mecânico de aço inox, buna N, grafite e cerâmica, caracol de ferro fundido (SCHNEIDER, 2017). O peso total da motobomba de ¼ cv é 8 kg.

As instalações elétricas da motobomba, do realimentador e do conjunto mangueira-boia foram desconsideradas conforme adotado por Marinoski (2015). Para a motobomba utilizada neste estudo foi considerado somente ferro fundido como material constituinte (MARINOSKI, 2015).

O conjunto mangueira-boia é composto por uma boia de polietileno (150 mm), um filtro-cesta de aço inox com malha de 1,2 mm, uma válvula anti-retorno de latão com bico de encaixe, conexões de 1” de latão com borracha de vedação, mangueira de borracha com espiral de aço inox e braçadeiras e anel de aço inox (3P TECKNIC, 2017). O peso total do conjunto é de 3,2 kg.

O realimentador é responsável por liberar a entrada da água potável, na falta de água do sistema de reúso, para que o sistema não entre em colapso. É composto por uma

válvula solenoide, uma boia de nível e um registro de latão (3P TECKNIC, 2017). O peso total é de 1,5 kg (AQUASAVE, 2017).

De acordo com Souza *et al.* (2016) o clorador flutuante tem a função de realizar dosagens controladas de cloro em tabletes na água do reservatório. Paes (2015) afirma que este clorador não necessita do uso de energia elétrica, apenas da renovação das pastilhas, e uma pastilha usual de 200 gramas consegue clorar até 37.000 litros de água antes de se dissolver totalmente. Este clorador é fabricado em plástico e o peso total é de 0,3 kg.

Na construção do sistema *wetland* foi adotada a mesma configuração adotada por Marinoski (2015). Assim, foram utilizados tijolos maciços (dimensões: 10,5 cm x 5,5 cm x 21,5 cm, peso: 2,1 kg) para a construção das paredes (60 cm de altura), argamassa de assentamento (2cm) e argamassa impermeabilizante. A base de 5 cm foi feita em concreto simples (adotou-se densidade de 2400 kg/m³) com impermeabilizante, e no leito filtrante foram utilizadas camadas intercaladas de brita nº 2 e areia média.

Os dados referentes à composição dos acabamentos das válvulas de descarga e as distâncias das matérias-primas até a fábrica, em Joinville –SC, foram obtidos junto à empresa Docol Metais Sanitários. A massa de cada um dos acabamentos foi estabelecida por meio da pesagem de ambos. Para o acabamento simples *Clássica Chrome* a massa total encontrada foi de 0,141kg e para o acabamento duplo *Clássica Chrome Salvágua* a massa total foi de 0,191kg. A Tabela 6 apresenta a composição dos dois tipos de acabamentos.

Tabela 6 – Composição dos acabamentos das válvulas de descarga Docol.

	Descrição	Composição (% em massa)	Composição (kg)
	Acabamento para válvula de descarga <i>Clássica Chrome</i>	ABS – 88% Latão – 12% Elastômero – 0,05%	ABS – 0,124 Latão – 0,017 Elastômero – 0,00007
	Acabamento para válvula de descarga <i>Clássica Chrome Salvágua</i>	ABS – 68% Latão – 9% Aço Inox 304 – 23% Elastômero – 0,04%	ABS – 0,130 Latão – 0,017 Aço Inox 304 – 0,044 Elastômero – 0,00007

Fonte: Docol Metais Sanitários, 2017b.

Esses dois modelos de acabamento de válvula de descarga fazem parte dos cenários analisados, juntamente com um sistema de reúso de águas cinzas. As distâncias das matérias-primas que compõem os acabamentos das válvulas de descarga até os locais de produção foram fornecidas pela empresa fabricante, conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Distâncias das matérias-primas até o local de produção dos acabamentos das válvulas de descarga usadas na Avaliação do Ciclo de Vida dos acabamentos.

Matéria-prima	Destino	Distância considerada (km)
ABS	Fornecedor – Joinville (SC)	19.000
Latão	Fornecedor – Joinville (SC)	527
Elastômero	Fornecedor – Joinville (SC)	92
Aço Inox 304	Fornecedor – Joinville (SC)	124

Fonte: Docol Metais Sanitários, 2017b.

As distâncias consideradas dos locais de fabricação dos componentes do sistema de reúso até a Universidade estão descritas na Tabela 8. Consideraram-se os fornecedores mais próximos ao local de utilização de cada componente.

Tabela 8 – Distância das fábricas dos componentes a Universidade usadas na Avaliação do Ciclo de Vida dos cenários analisados.

Componentes	Endereço do fabricante	Distância (km) até a Universidade
Reservatórios de água	Rua Xavantes, nº 54, Atiradores, Joinville – SC	8,7
Clorador flutuante	Rua Pindamonhangaba, nº 1649 - Vila Mariana, Ribeirão Preto – SP	812
Realimentador	Rodovia Virgílio Várzea, nº 259, Saco Grande, Florianópolis – SC	197
Conjunto mangueira-boia		
Tubulações e conexões	Rua Xavantes, nº 54, Bairro Atiradores, Joinville – SC	8,7
Motobomba	Rua Hans Dieter Schmidt, nº 1501, Distrito Industrial, Joinville – SC	4,1
Areia, Pedra Brita	Rodovia – SC 301, km 05 – nº 7840 - Itinga, Araquari – SC	20,9
Concreto	Rua Dona Francisca, nº 5989, Zona Industrial Norte, Joinville – SC	3,4

Tabela 8 – Distância das fábricas dos componentes a Universidade usadas na Avaliação do Ciclo de Vida dos cenários analisados (continuação).

Componentes	Endereço do fabricante	Distância (km) até a Universidade
Cal	Rua Dona Francisca, nº 5989, Zona Industrial Norte, Joinville – SC	3,4
Cimento	Rua Dona Francisca, nº 5989, Zona Industrial Norte, Joinville – SC	3,4
Tijolos Maciços	Rua Jarivatuba, nº 540 – Jarivatuba, Joinville – SC	14,0
Cloro	Rua Dona Francisca, 5485 Distrito Industrial, Joinville - SC	4,1

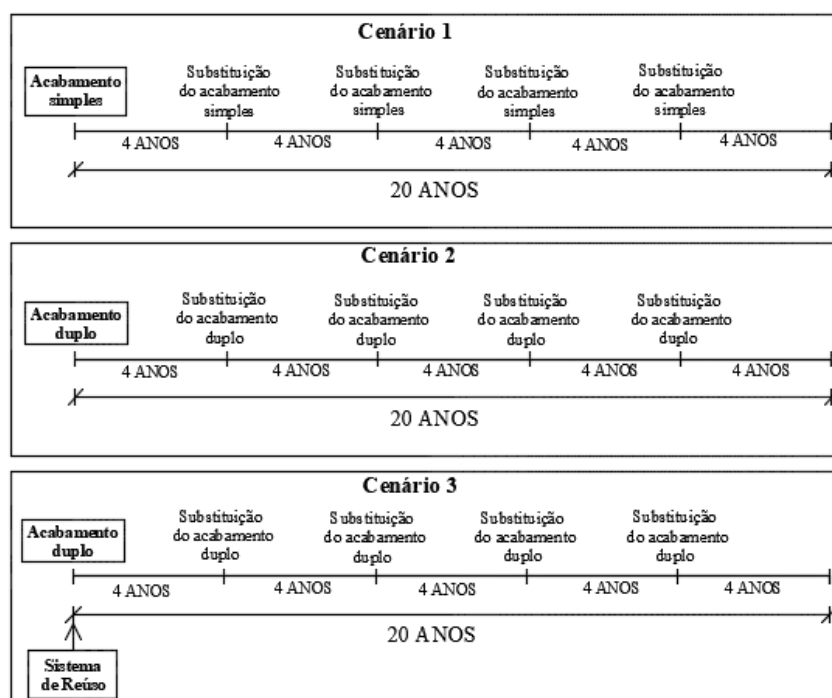
Fonte: Google Maps, 2017.

Na etapa de disposição final foram considerados somente aqueles componentes que possuíam vida útil inferior ao horizonte de tempo adotado pelo estudo. Foram eles: acabamentos das válvulas de descarga, motobomba, realimentador e clorador. Considerou-se nessa etapa o transporte dos componentes da Universidade até o local de descarte, um aterro localizado no Distrito Industrial de Joinville.

3.6 CENÁRIOS ANALISADOS

A avaliação do ciclo de vida proposta envolve a comparação dos efeitos ambientais de três cenários diferentes, porém com a mesma unidade funcional, o provimento de água para as válvulas de descarga das bacias sanitárias da edificação para um horizonte de tempo de 20 anos, conforme a Figura 14. A unidade funcional, de acordo com a NBR 14040 (ABNT, 2009), é necessária para assegurar a comparabilidade de resultados da ACV e tem como propósito principal fornecer uma referência para a qual as entradas e saídas são relacionadas.

Figura 14 – Cenários analisados neste estudo.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

No primeiro cenário, todos os acabamentos das válvulas de descarga eram de acionamento simples e a reposição ocorreu por outros acabamentos simples. No período de 20 anos haverá necessidade de 4 substituições para cada acabamento de válvulas de descarga. O segundo cenário inicia-se com acabamentos duplos e as substituições necessárias ao longo da vida útil do sistema foram feitas também por acabamentos duplos nas válvulas de descarga. No terceiro cenário além das substituições serem por acabamentos duplos nas válvulas de descarga, analisou-se a instalação do sistema de reúso das águas cinzas.

Ao contrário do que ocorre no cenário 1, nos cenários 2 e 3 foram instalados acabamentos de duplo acionamento que desempenham a mesma função que os acabamentos de simples acionamento, porém com economia de água (HENNING *et al.*, 2016). Para comparar as diferenças entre o consumo e frequência de acionamentos nas bacias sanitárias nos dois períodos analisados foi aplicado o Teste Wilcoxon-Mann-Whitney, com nível de significância igual a 5%. A análise estatística foi feita com o software R (R CORE TEAM, 2017).

De acordo com Siegel e Castellan Jr. (2006), o Teste Wilcoxon-Mann-Whitney é um dos testes não-paramétricos mais poderosos sendo uma alternativa ao teste

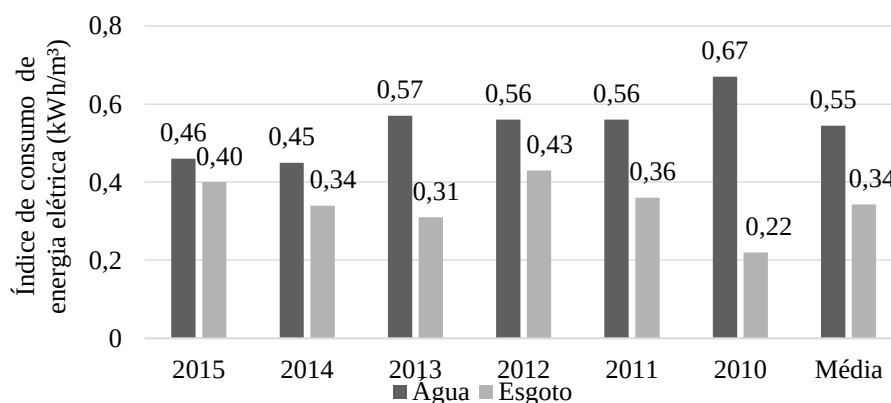
paramétrico t . De acordo com os autores pode ser utilizado para testar se dois grupos independentes foram extraídos de uma mesma população.

Neste estudo considerou-se que o volume de esgoto gerado era igual ao volume de água cinza reutilizado. O potencial de redução de esgoto foi avaliado devido à análise da implantação do sistema de reúso de água cinza levando em consideração a economia de água potável proposta por esse sistema. Se houver excesso de água cinza tratada, essa deverá ser escoada diretamente para o sistema de coleta de esgoto sanitário de forma semelhante ao que foi adotado por Marinoski (2015).

Como critério de exclusão foi adotada a regra de contribuição de massa, isto é todo material que possui contribuição menor do que 1,0% da massa total dos materiais foi excluído, exceto nos casos em que o material foi considerado relevante para o meio ambiente conforme adotado por e Yoshimura, Yoshimura e Wiebeck (2012) e Kulay, Viñas e Hespanhol (2015).

No sistema de reúso foram considerados os consumos energéticos para provimento de água potável, para o recalque de água cinza e posteriormente para a coleta e tratamento de esgoto sanitário gerado (MARINOSKI, 2015). Os dados são provenientes do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (BRASIL, 2015). O consumo médio de energia elétrica para a cidade de Joinville nos últimos 5 anos (2010 a 2015) em sistemas de abastecimento de água foi de $0,55\text{kWh/m}^3$ ($s = 0,081\text{kWh/m}^3$) e em sistemas de esgotamento sanitários foi de $0,34\text{kWh/m}^3$ ($s = 0,074\text{kWh/m}^3$) de acordo com a Figura 15. O sistema de esgotamento sanitário utilizado é composto por lagoas anaeróbias, lagoas facultativas e lagoas de maturação de acordo com a Companhia de Saneamento Básico da cidade (ÁGUAS DE JOINVILLE, 2018)

Figura 15 – Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água e em sistema de esgotamento sanitário em Joinville – SC.

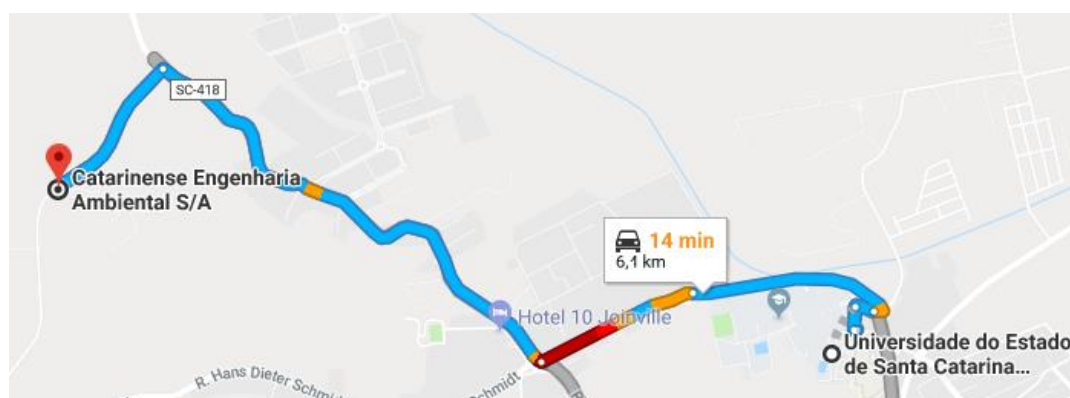


Fonte: Adaptado BRASIL, 2015.

O transporte foi considerado em todas as etapas do estudo de ACV. Na fase de produção foram consideradas as distâncias dos locais de produção dos materiais até o local de produção dos equipamentos para os acabamentos das válvulas de descarga. Na fase de operação foi considerado o transporte dos produtos dos locais de fabricação até os locais de uso desses produtos, o *campus* universitário em estudo. Na fase de disposição final foi considerada a distância até o local apropriado para descarte desses produtos, não levando em consideração a reciclagem dos materiais conforme adotado por Kalbusch (2011).

O local de descarte escolhido foi o aterro localizado no Distrito Industrial de Joinville. Ao fim de 20 anos, considerou-se que serão transportados no total 240 acabamentos das válvulas de descarga instaladas no edifício, sendo a distância até o local de descarte de 6,10 km conforme Figura 16.

Figura 16 – Distância considerada para o descarte final dos acabamentos.



Fonte: Adaptado Google Maps, 2017.

3.7 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

De acordo com Pianosi *et al.* (2016) a análise de sensibilidade investiga como uma variação na saída pode ser atribuída a variações nos diferentes fatores de entrada. No método “one at a time”, utilizado nesta pesquisa, as variações de saída são induzidas pela variação de um fator de entrada, ao mesmo tempo que são mantidos todos os outros fatores fixos (PIANOSI *et al.*, 2016). Segundo Hamby (1994) um teste poderoso de análise de sensibilidade local examina a mudança na saída variando cada parâmetro individualmente por um fator de seu desvio padrão. O autor afirma que esta medida de sensibilidade leva em consideração a variabilidade do parâmetro e as influências na saída do modelo.

Para descobrir qual impacto ambiental e qual cenário analisado sofre maior influência pela variação do consumo de água fez-se uma análise de sensibilidade. A análise de sensibilidade consistiu em variar o consumo de água das bacias sanitárias em mais ou menos 1 e 2 desvios padrão na fase de operação dos equipamentos e verificar a influência dessas variações no consumo de água, consumo de energia e potencial de aquecimento global. Desta forma, pode-se comparar e estabelecer qual variação imposta possui maior influência nos cenários pesquisados.

Inicialmente calculou-se a média do consumo diário das bacias sanitárias femininas e masculinas (cenário base) para os dois períodos analisados e logo em seguida determinou-se o desvio padrão. Foram somados ou subtraídos 1 ou 2 desvios padrão no consumo das bacias sanitárias na etapa de operação. A partir de então os dados obtidos foram inseridos no programa SimaPro. O cenário de referência foi feito por meio do somatório dos consumo diários estabelecidos nas medições anteriormente realizadas.

3.8 LIMITAÇÕES DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Os dados necessários para a realização dessa pesquisa foram obtidos junto aos fabricantes, em bancos de dados confiáveis e também na literatura. De acordo com Castro *et al.* (2015) a ausência de dados nacionais de inventário de ciclo de vida é a grande dificuldade enfrentada na realização de estudos de ACV no Brasil.

Uma das sugestões presente no estudo desenvolvido por Fabrício, Silva e Nepomuceno (2017) a respeito da avaliação do ciclo de vida do gesso utilizando o *software* SimaPro é o desenvolvimento de bancos de dados brasileiros para que os trabalhos representem cada vez mais a realidade nacional.

Diante da necessidade de fortificar a aplicação da ACV, o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT) lançou em 2016 o Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida – SICV Brasil, que é um banco de dados criado para abrigar Inventários do Ciclo de Vida (ICVs) de produtos nacionais. O objetivo do SICV é implantar no país um sistema reconhecido em âmbito internacional, com capacidade de organizar, armazenar e disseminar informações padronizadas sobre inventários do Ciclo de Vida da produção industrial brasileira (SICV BRASIL, 2017).

O SICV Brasil não foi utilizado neste trabalho por tratar-se de um banco de dados recente, não sendo possível encontrar todas as informações necessárias para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Silva, Chabrawi e Oliveira (2017) realizaram um estudo sobre a perspectiva do uso da ACV pelos empresários brasileiros e a colaboração desses com o fortalecimento do SICV Brasil. Os autores destacaram a importância de se criar um guia de qualidade para o conjunto de dados para que as empresas saibam realmente como proceder para a construção de conjuntos de dados com qualidade e que retratem o contexto brasileiro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados nessa dissertação caracterizam o consumo de água nos lavatórios e bacias sanitárias instalados no bloco de salas de aula onde o estudo foi desenvolvido. As categorias de impacto ambiental analisadas para os três cenários propostos, com acabamentos de válvulas de descarga de simples acionamento, acabamentos de válvulas de descarga de duplo acionamento e com acabamentos de válvulas de descarga de duplo acionamento juntamente com a instalação do sistema de reúso de águas cinzas também se encontram descritas neste capítulo.

4.1 CONSUMO DE ÁGUA DO BLOCO K

A determinação do consumo de água do Bloco K do CCT – UDESC se deu por meio de levantamentos *in loco*, logo essas medições refletem a realidade da edificação analisada. As medições ocorreram em duas etapas. A etapa inicial ocorreu do dia 27/03/2017 até o dia 03/07/2017, período em que foi medido o consumo de água de todos os equipamentos hidrossanitários instalados no Bloco K com os acabamentos das válvulas de descarga de simples acionamento instalados nas bacias sanitárias. A segunda etapa teve início no dia 08/08/2017 e término no dia 22/10/2017, período em que os acabamentos das válvulas de descarga instalados nas bacias sanitárias eram os de duplo acionamento. Para os cálculos executados foram excluídas as medições realizadas aos finais de semana, portanto o período inicial contou com 71 dias e o período final com 54 dias. As medições de consumo de água nos lavatórios dos banheiros masculinos e femininos ocorreram no mesmo período das duas etapas de medições das bacias sanitárias e tiveram a mesma duração.

O período inicial de medições terminou juntamente com o início das férias escolares conforme calendário acadêmico da UDESC para o ano de 2017. O período final foi interrompido aos 54 dias de medição devido ao surgimento de vazamentos e erros nas gravações dos dados nos *smart meters*. O intervalo entre as duas etapas se deu devido ao período de férias dos alunos, pela falta de água que ocorreu por rompimentos nas tubulações da concessionária responsável pelo abastecimento de água do *campus* e por problemas relacionados a vazamentos que ocorreram após a troca dos acabamentos das válvulas de descarga e que foram identificados pelos medidores instalados.

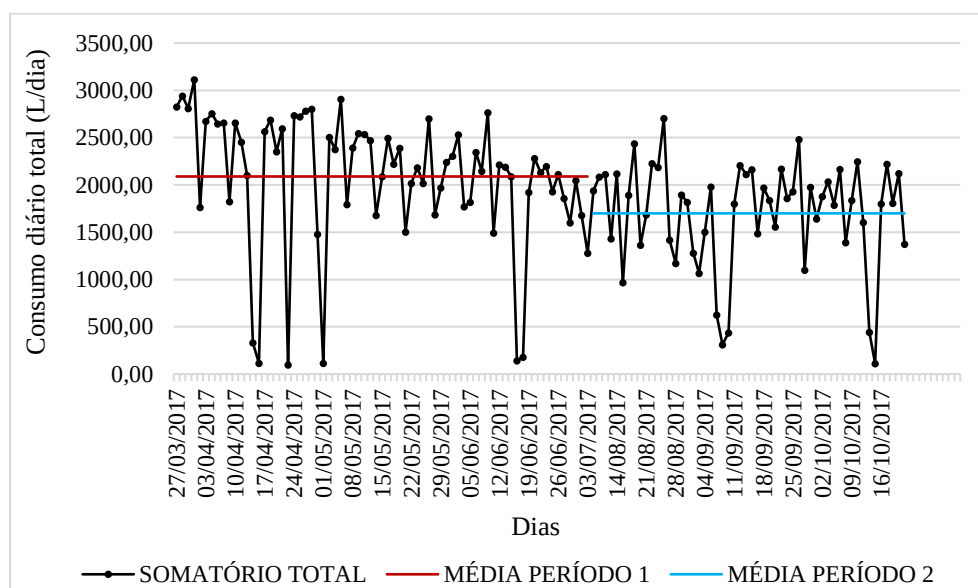
As vazões captadas por meio dos *smart meters* instalados nos banheiros do Bloco K apresentaram alguns *outliers*, que de acordo com Montgomery, Runger e Hubele (2011) são observações consideradas atípicas quando comparadas ao restante dos dados. Essas observações foram classificadas como vazamentos. A ocorrência desses valores se deu principalmente após as trocas dos acabamentos simples das válvulas de descarga pelos de duplo acionamento. Diversos testes, correções e ajustes foram realizados a fim de tentar sanar esses vazamentos. Para que os dados coletados não sofressem interferência dos vazamentos que também foram captados pelos medidores adotaram-se como pontos de corte os percentis 5% e 95% conforme Fioravante, Souza e Dutra (2006). Lopes *et al.* (2008) em um estudo desenvolvido na área da saúde utilizaram também como limites os percentis 5% e 95%. Liao, Li e Brooks (2016) testaram diversos pontos de corte para *outliers* e concluíram que o percentil 95% é considerado um ponto de corte razoável.

Alguns outros imprevistos aconteceram ao longo das medições. O *smart meter* instalado na tubulação localizada na laje superior do Bloco K, responsável por alimentar todas as torneiras dos lavatórios, os mictórios e os bebedouros nos banheiros masculinos e todas as torneiras dos lavatórios, torneiras de limpeza e bebedouros dos banheiros femininos apresentou problemas durante o período total de medições. Para contabilizar as vazões dos mictórios e das torneiras de limpeza foi criada uma semana típica, a partir de 24 dias de medições de ambos os equipamentos, após o conserto do medidor pois os lavatórios e os bebedouros eram medidos também individualmente.

Os medidores instalados nos bebedouros também apresentaram problemas ao longo dos dois períodos de medições, ficando essas incompletas. Sendo assim, adotou-se o valor de um bebedouro que apresentou a série de dados completa durante os dois períodos de medições como sendo esse o consumo para os 4 bebedouros instalados no Bloco K.

O consumo de água total em litros/dia do Bloco K, incluindo todos os equipamentos hidrossanitários instalados nos banheiros masculinos e femininos nos dois períodos de medições, pode ser visto na Figura 17. O maior consumo de água registrado foi de 3112,568 litros/dia. A média de consumo de todos os equipamentos instalados no bloco de salas de aula ficou em 2089,338 litros/dia ($s = 715,612$ litros/dia) para o período inicial e 1699,485 litros/dia ($s = 562,778$ litros/dia) no período final de medições, excluindo os finais de semana nos dois períodos. Os menores consumos presente na Figura 17 representam os feriados existentes ao longo desse período de medições.

Figura 17 – Consumo diário total do Bloco K, CCT – UDESC nos dois períodos de medições.



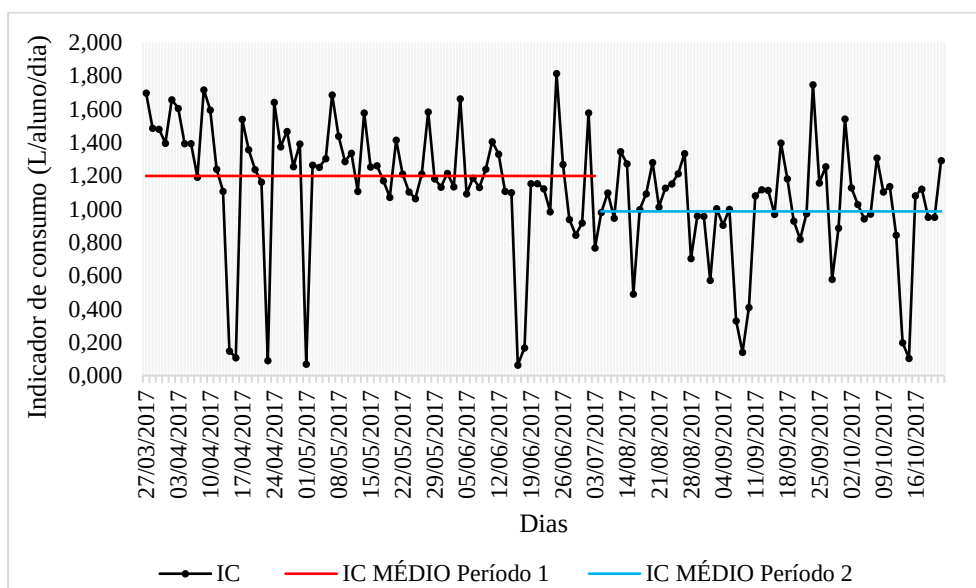
Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Durante o período inicial de medições, nos dias 21/05/2017 e 04/06/2017 ocorreram no Bloco K dois eventos atípicos nos quais o consumo de água foi bastante elevado. Por se tratar de eventos excepcionais, que não fazem parte do calendário universitário, ambos as medições foram substituídas por uma medida de tendência central, neste caso pela mediana dos demais domingos contabilizados no estudo.

O consumo de água no período inicial de medições foi superior ao consumo determinado no segundo período de medições, em média 22,94%. Essa diminuição no consumo pode ser explicada pela adoção de aparelhos economizadores no segundo período de medições, por meio da troca dos acabamentos das válvulas de descarga de simples para duplo acionamento.

A Figura 18 mostra o indicador de consumo (IC) total o e o valor médio desse indicador para cada período de análise. A primeira fase apresentou média do indicador de consumo de 1,198 L/aluno/dia ($s = 0,397$ L/aluno/dia). A segunda etapa apresentou indicador de consumo média de 0,985 L/aluno/dia ($s = 0,327$ L/aluno/dia). A queda no indicador de consumo entre os dois períodos foi de 17,78%, em média.

Figura 18 – Indicador de consumo total para cada período analisado.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Os valores dos indicadores de consumo encontrados para os dois períodos analisados são inferiores aos encontrados por Menegassi (2012) para o Centro Socioeconômico e para o Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Os indicadores de consumo relatados por Menegassi (2012) foram de 3,45 e 3,92 L/aluno/dia, respectivamente. Alexandre, Kalbusch e Henning (2017) encontraram um indicador de consumo igual a 2,543 L/aluno/dia para o mesmo bloco de sala de aulas avaliado neste estudo, quando estavam instaladas torneiras de lavatório hidromecânicas e acabamentos de válvulas de descarga de simples acionamento, sendo esse valor superior ao que foi determinado na presente pesquisa. No período de medições onde estavam instaladas torneiras hidromecânicas e acabamentos de válvulas de descarga de duplo acionamento, semelhante à segunda fase de medições deste estudo, o indicador encontrado foi de 2,356 L/aluno/dia, valor esse também superior aos valores encontrados por essa pesquisa. A pesquisa realizada por Alexandre, Kalbusch e Henning (2017) foi realizada em período diferente e com duração distinta da presente pesquisa.

Os indicadores de consumo determinados por essa pesquisa mostraram-se baixos em comparação com outros estudos. Isso pode estar relacionado ao fato de que nem todas as pessoas que utilizam o bloco de salas de aula fazem uso desses banheiros, uma vez que o bloco é bastante próximo de outros blocos de salas de aula da instituição e de um shopping center, localizado em terreno vizinho à Universidade. Por diversas razões (como

comodidade ou preferência) os alunos podem optar por utilizar os banheiros próximos e não os do bloco de salas de aula onde foi realizado o estudo.

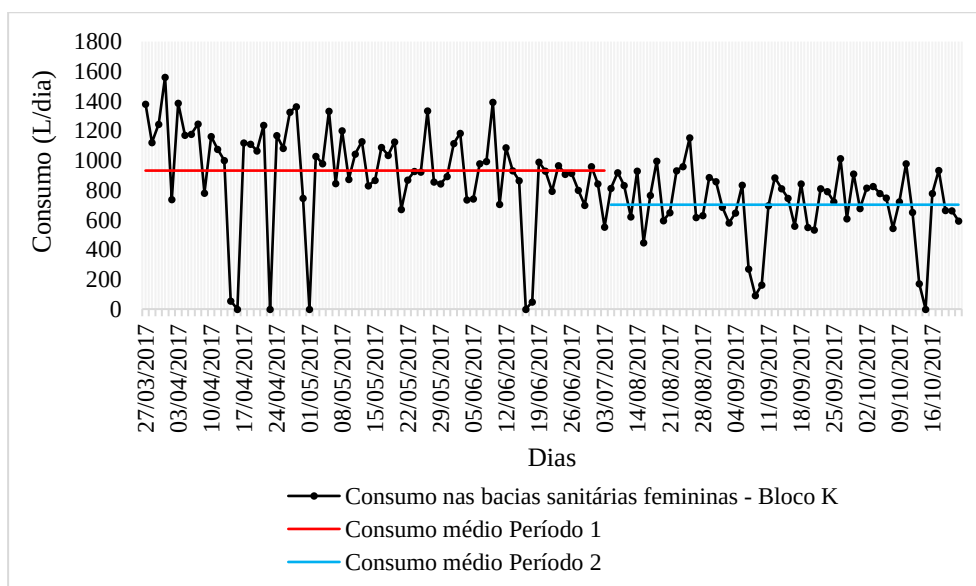
4.2 PERFIL DE CONSUMO DAS TORNEIRAS DE LAVATÓRIO E BACIAS SANITÁRIAS

As medições realizadas no Bloco K permitiram traçar o perfil de consumo das torneiras de lavatório e das bacias sanitárias instaladas nesse bloco de salas de aula. No total estavam instalados: 16 bacias sanitárias, 14 lavatórios, 10 mictórios, 4 bebedouros e 2 torneiras de limpeza.

A edificação analisada está localizada dentro de um *campus* universitário, portanto há uma grande rotatividade de pessoas ao longo do dia. Os indicadores de consumo em L/usuário/dia foram determinados levando em consideração o número total de alunos que utilizaram o bloco de sala de aulas de acordo com dados obtidos junto ao registro acadêmico da instituição durante os dois períodos de medições. Esse número apresenta variações ao longo da semana e em dias de eventos realizados no *campus*. Essa variação foi levada em consideração, porém não foi possível determinar, entre os alunos, os que efetivamente utilizaram os banheiros e os equipamentos hidrossanitários.

Na tubulação responsável pelo abastecimento das bacias sanitárias havia um *smart meter* instalado com dois sensores. Um sensor era responsável pela medição do consumo de água das bacias sanitárias para os 2 banheiros femininos e o outro sensor para as bacias sanitárias dos 2 banheiros masculinos. A Figura 19 mostra a evolução do consumo diário nos dois períodos analisados nas bacias sanitárias, excluindo as medições realizadas aos finais de semana, com o acabamento de simples e duplo acionamento e os valores médios diários para os banheiros femininos.

Figura 19 – Consumo diário de água nas bacias sanitárias dos banheiros femininos (BSF) instaladas no Bloco K e o valor médio, nos dois períodos analisados.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

As medidas resumo para as bacias sanitárias dos banheiros femininos e masculinos, nos dois períodos de medições, são apresentados na Tabela 9. Houve uma diminuição no consumo de água tanto nos banheiros femininos ($p\text{-valor} < 0,05$) quanto nos banheiros masculinos ($p\text{-valor} < 0,05$).

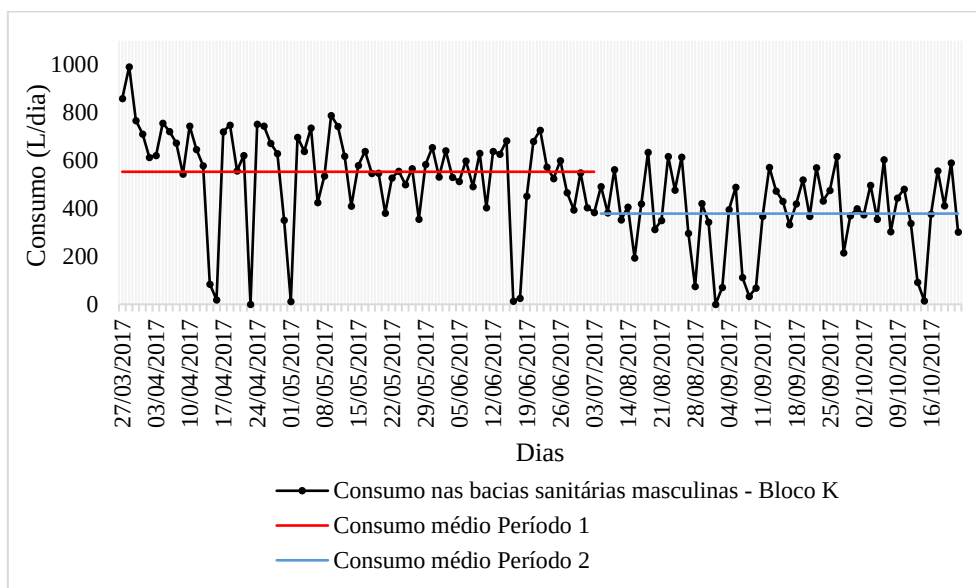
Tabela 9 – Medidas resumo para as bacias sanitárias dos banheiros femininos e masculinos (BSM) nos dois períodos de medições.

Período	Bacias sanitárias	Mediana	Média	s	Mín	Máx	p-valor
Inicial	Feminina	979,20	931,99	344,57	0,00	1561,00	$8,074 \cdot 10^{-8}$
Final		735,00	702,46	233,20	0,00	1155,00	
Inicial	Masculina	584,30	553,37	202,91	0,00	991,80	$2,445 \cdot 10^{-8}$
Final		398,10	378,74	168,64	0,00	635,20	

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

A Figura 20 apresenta o consumo diário das bacias sanitárias dos banheiros masculinos instaladas nos banheiros do Bloco K, excluindo as medições dos finais de semana, nos dois períodos de medições.

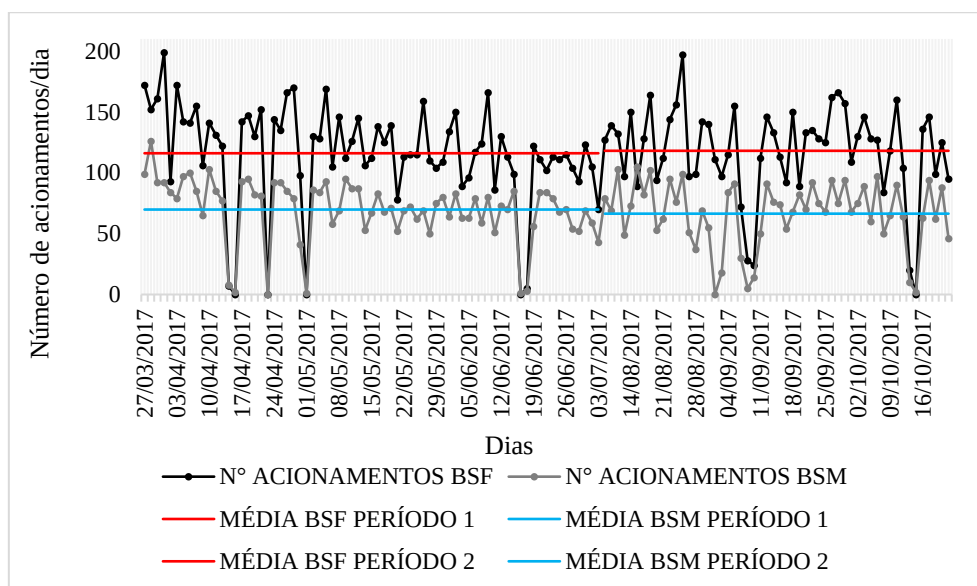
Figura 20 – Consumo diário das bacias sanitárias dos banheiros masculinos (BSM) instaladas no Bloco K e o valor médio, nos dois períodos analisados.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Apesar do consumo ter diminuído nas bacias sanitárias, tanto nos banheiros femininos ($p\text{-valor} = 8,074 \cdot 10^{-8}$) quanto nos banheiros masculinos ($p\text{-valor} = 2,445 \cdot 10^{-8}$), com a troca dos acabamentos das válvulas de descarga de simples para duplo acionamento, o número de acionamento das bacias sanitárias não sofreu grandes alterações para nenhum dos banheiros analisados, conforme Figura 21. Este resultado é corroborado pelo Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney com $p\text{-valor} = 0,9146$ para as bacias sanitárias femininas e $p\text{-valor} = 0,4868$ para as bacias sanitárias masculinas. Nas bacias sanitárias dos banheiros femininos (BSF) o número médio de acionamentos era de 116 por dia ($s = 43$ acionamentos/dia) no primeiro período de medições e passou a ser de 118 acionamentos/dia ($s = 38$ acionamentos/dia) no segundo período. Nas bacias sanitárias dos banheiros masculinos (BSM) o número médio de acionamentos era de 70 por dia ($s = 26$ acionamentos/dia) e passou a ser de 66 por dia ($s = 27$ acionamentos/dia) no primeiro e segundo período de medições, respectivamente. Uma das possíveis explicações para isso é justamente a troca dos acabamentos das válvulas de descarga pois, o acabamento de duplo acionamento fornece duas opções para o usuário, tornando o consumo mais consciente.

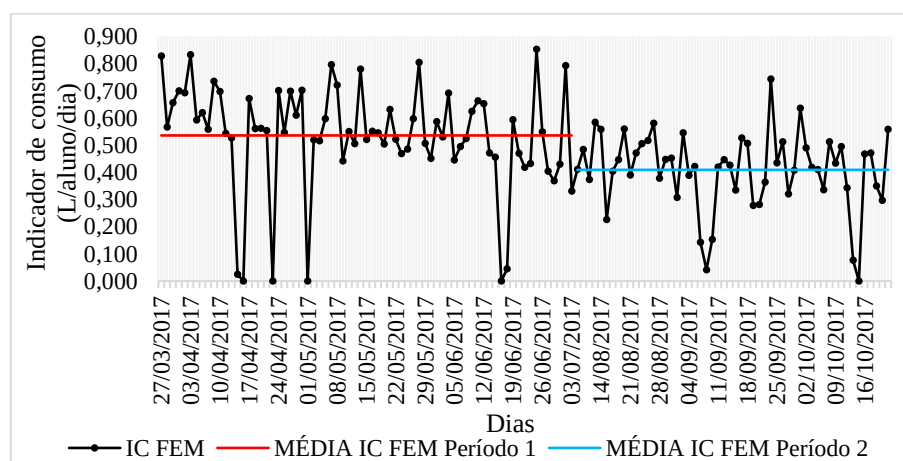
Figura 21 – Número de acionamentos e média por dia nas bacias sanitárias dos banheiros femininos (BSF) e masculinos (BSM) nos dois períodos analisados.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

A Figura 22 mostra o indicador de consumo diário para as bacias sanitárias dos banheiros femininos e a média do indicador de consumo para cada período de análise. A primeira fase envolveu 71 dias de coleta de dados e apresentou indicador de consumo médio de 0,536 L/aluno/dia ($s = 0,198$ L/aluno/dia). A segunda fase compreendeu 54 dias de medição e apresentou indicador de consumo médio de 0,409 L/aluno/dia ($s = 0,143$ L/aluno/dia). Houve uma diminuição no indicador de consumo entre os dois períodos de medições de 23,69% em média.

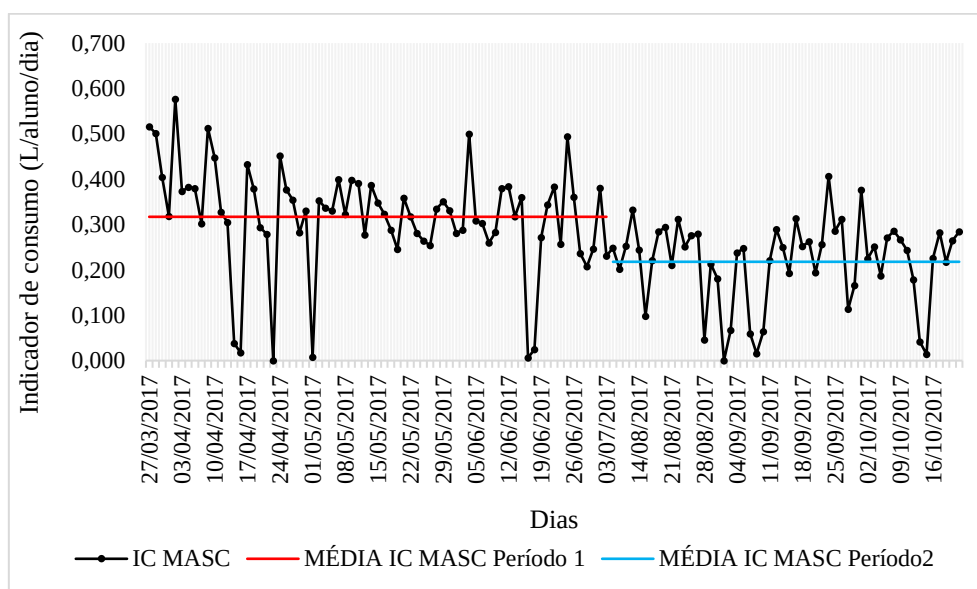
Figura 22 – Indicador de consumo total das bacias sanitárias dos banheiros femininos (BSF) e média para cada período analisado.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

O indicador de consumo médio para as bacias sanitárias dos banheiros masculinos no período inicial de medições foi de 0,317 L/aluno/dia ($s = 0,118$ L/aluno/dia) e para o segundo período de medições o indicador de consumo médio encontrado foi de 0,218 L/aluno/dia ($s = 0,093$ L/aluno/dia), conforme Figura 23. A diminuição média no indicador de consumo foi de 31,23% entre os dois períodos de medições.

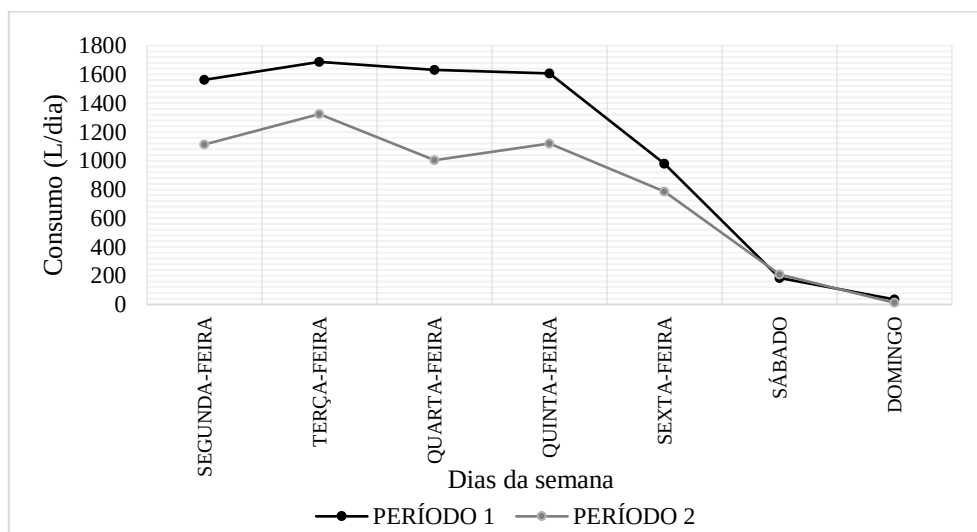
Figura 23 – Indicador de consumo total das bacias sanitárias dos banheiros masculinos (BSM) e média para cada período analisado.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

O consumo de água durante os dias da semana e aos finais de semana apresentam variações. As diferenças nos volumes de água consumida também podem ser notadas entre os dois períodos de medições. Somando os consumos diários das bacias sanitárias dos banheiros femininos e masculinos traçou-se o perfil de consumo semanal para as bacias sanitárias a fim de expor essas variações, como pode ser visto na Figura 24.

Figura 24 – Perfil de consumo semanal total das bacias sanitárias dos banheiros femininos (BSF) e masculinos (BSM) para cada período analisado.

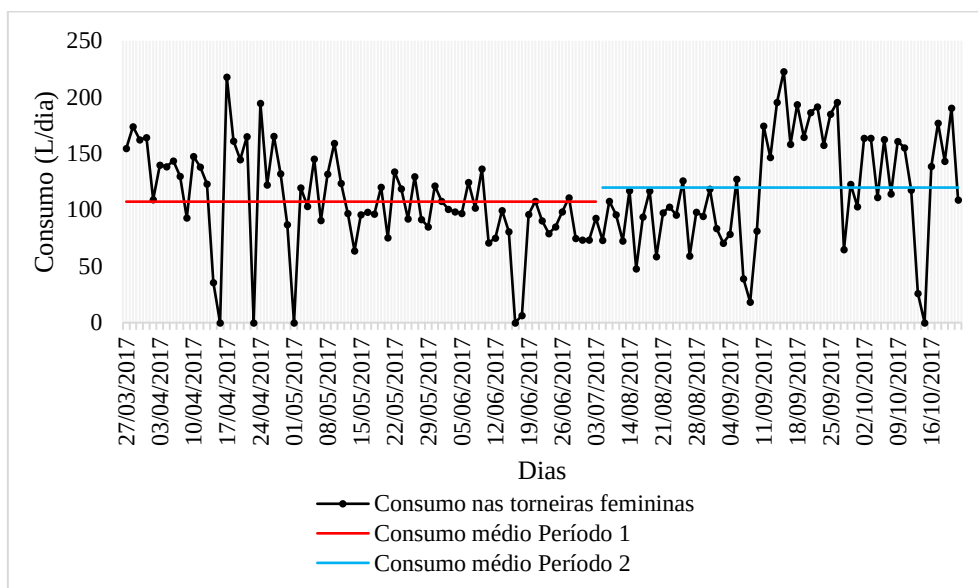


Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

No perfil semanal pode-se notar que houve uma diminuição no consumo de água nas bacias sanitárias entre os dois períodos analisados, o que é confirmado pelo Teste T de Student com $p\text{-valor} = 0,01739$. Como o consumo era muito baixo nos finais de semana, com aulas apenas aos sábados no período matutino, a mesma variação que ocorreu nos demais dias da semana não pode ser notada no sábado e domingo. Esse perfil mostra que a partir de quinta-feira o consumo começa a decrescer, aproximando-se de zero no domingo.

Nos lavatórios foram instalados 8 *smart meters*, com dois sensores cada. Como os banheiros masculinos contavam com apenas três lavatórios, um dos sensores foi direcionado para o bebedouro, sendo esse um sensor capaz de captar vazões menores. O consumo diário para as 8 torneiras instaladas nos lavatórios dos banheiros femininos e para as 6 torneiras instaladas nos lavatórios dos banheiros masculinos do Bloco K nos dois períodos de medições estão apresentadas nas Figuras 25 e 26.

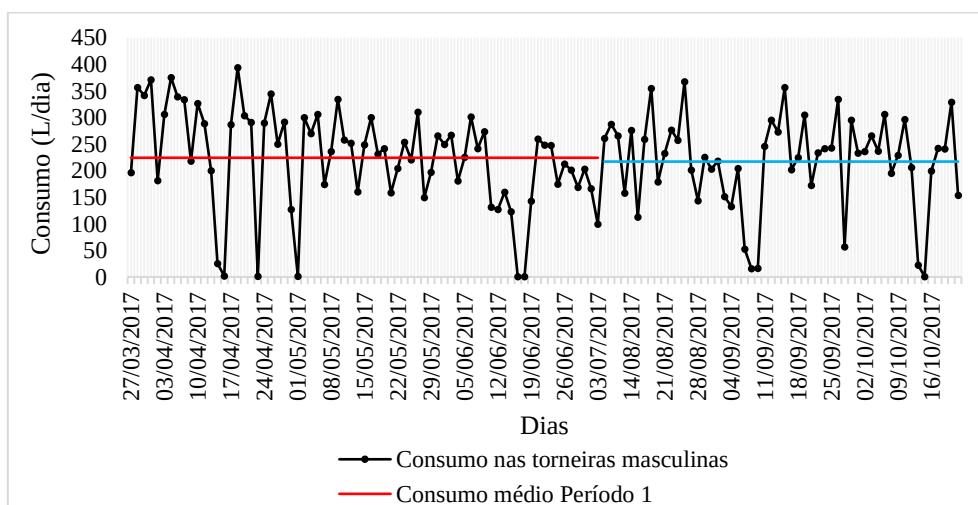
Figura 25 – Consumo diário das torneiras instaladas nos banheiros femininos do Bloco K, no período analisado.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Os valores médios encontrados para as torneiras instaladas nos lavatórios dos banheiros femininos no período inicial e no período final de medição foram de 107,328 L/dia ($s = 43,846$ L/dia) e 119,827 L/dia ($s = 51,227$ L/dia), respectivamente. Para as torneiras dos lavatórios dos banheiros masculinos os valores médios encontrados foram de 224,147 L/dia ($s = 95,080$ L/dia) para o período inicial e de 216,988 L/dia ($s = 87,931$ L/dia) para o segundo período de medições.

Figura 26 – Consumo diário das torneiras instaladas nos banheiros masculinos do Bloco K, no período analisado.



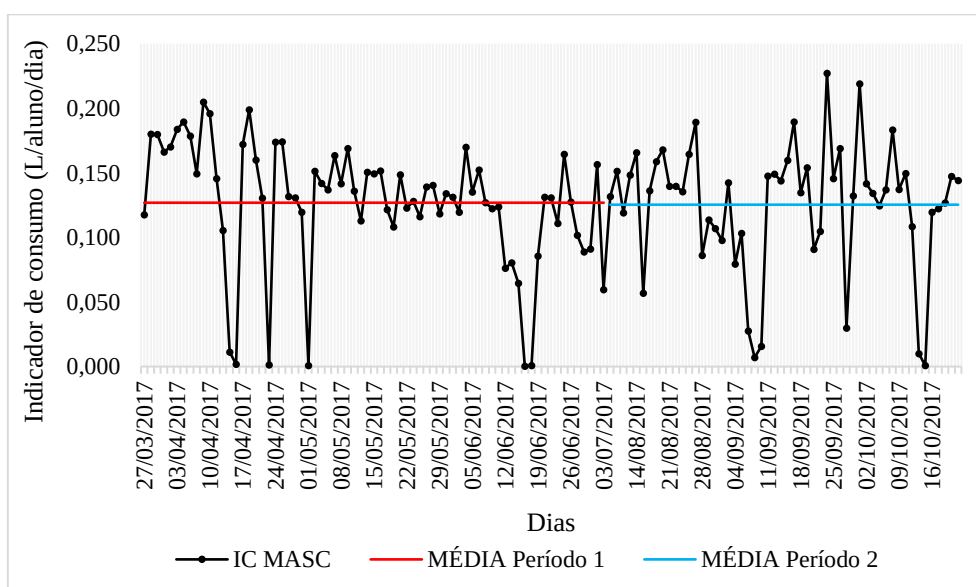
Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

As torneiras instaladas no Bloco K não apresentavam uniformidade no que concerne às marcas e modelos instalados, porém, todas apresentavam um ciclo fixo com fechamento automático, sendo necessário que o botão presente na torneira fosse pressionado para que o fluxo de água fosse liberado para o usuário. Neste estudo o fluxo de água das torneiras não foi regulado ao longo dos dois períodos de medições.

De acordo com Marinho, Gonçalves e Kiperstok (2014) um dos fatores que afetam o consumo de água em edifícios universitários é a qualidade do sistema de tubulação hidráulica e de saneamento e sua manutenção. Para os autores esse fator não depende do usuário e sim de decisões institucionais, ou seja, quanto melhor a qualidade dos dispositivos e do sistema de manutenção, menores são as perdas de água. No presente estudo, a falta de manutenção rotineira dos equipamentos hidrossanitários instalados no bloco de salas de aula analisado pode ter influência no consumo de água de cada equipamento.

Os indicadores de consumo para as torneiras dos lavatórios também foram calculados. Para as torneiras dos banheiros masculinos os valores médios encontrados foram de 0,127 L/aluno/dia ($s = 0,049$ L/aluno/dia) e 0,125 L/aluno/dia ($s = 0,050$ L/aluno/dia) no período inicial e final, respectivamente, de acordo com a Figura 27.

Figura 27 – Indicador de consumo total das torneiras de lavatório dos banheiros masculinos e média para cada período analisado.

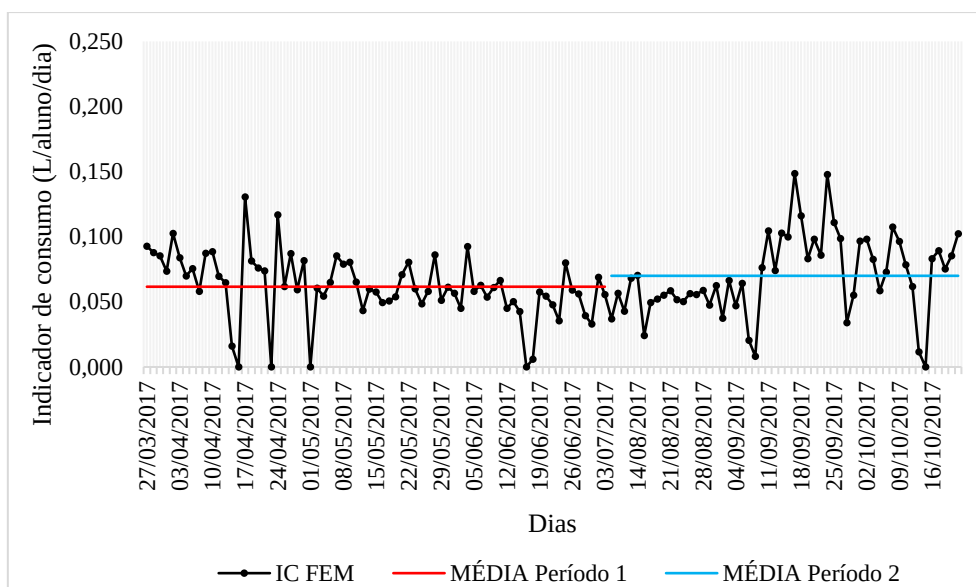


Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Para as torneiras dos lavatórios dos banheiros femininos os valores para o indicador de consumo médio resultante foram de 0,062 L/aluno/dia ($s = 0,025$

L/aluno/dia) para o primeiro período de medições e de 0,070 L/aluno/dia ($s = 0,031$ L/aluno/dia) para o período seguinte de medições, conforme Figura 28.

Figura 28 – Indicador de consumo total das torneiras de lavatório dos banheiros femininos e média para cada período analisado.



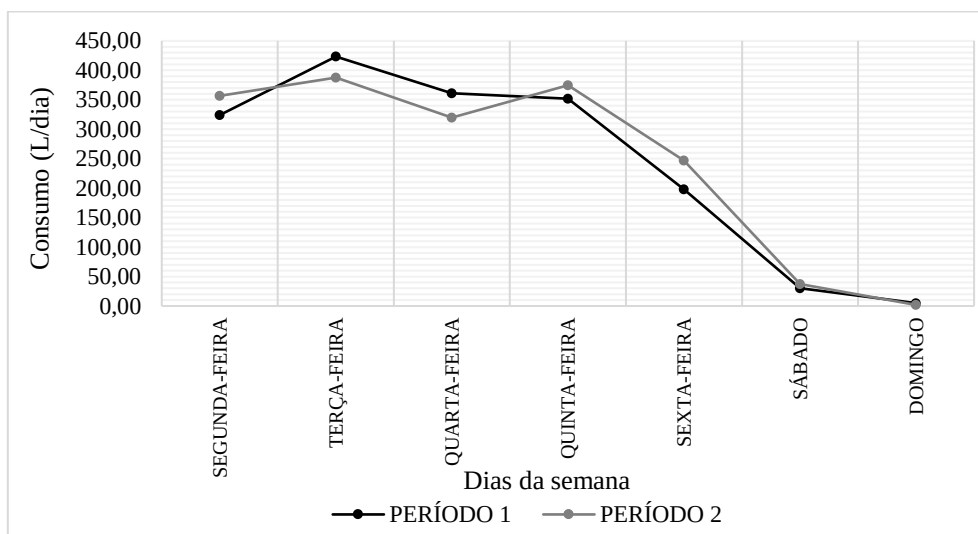
Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Os indicadores de consumo das torneiras dos banheiros masculinos mostraram-se superiores aos indicadores de consumo das torneiras dos banheiros femininos nos dois períodos analisados.

O indicador de consumo médio encontrado por Kalbusch (2011) para as torneiras de lavatórios dos banheiros femininos e masculinos instaladas no mesmo bloco de salas de aula foi de 0,396 L/usuário/dia. É importante ressaltar que esse indicador foi elaborado considerando o número total de usuários da edificação, que na época da realização desse estudo era diferente do número de usuários da edificação atualmente.

Nas torneiras dos lavatórios existem diferenças no consumo de água no decorrer da semana. Essa diferença também está presente nos dois períodos de medições de forma mais sutil. Inicialmente fez-se o somatório do consumo diário das torneiras dos banheiros masculinos e femininos e posteriormente calculou-se a média desse somatório para traçar o perfil semanal de consumo de todas as torneiras, apresentado na Figura 29.

Figura 29 – Perfil de consumo semanal total das torneiras de lavatórios dos banheiros femininas e masculinas para cada período analisado.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

O perfil semanal para as torneiras é semelhante ao perfil semanal para as bacias sanitárias, em que os maiores consumos ocorrem nas segundas, terças e quartas-feiras. A partir de quinta-feira o consumo diminui ficando próximo de zero no domingo.

4.3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA ACV NOS CENÁRIOS ANALISADOS

No programa SimaPro foram modelados os três cenários citados anteriormente. As entradas foram calculadas de acordo com as fórmulas propostas e descritas no Capítulo 3, considerando a base de dados do Ecoinvent 3.3 (2016). Essa modelagem envolveu a inserção dos dados no *software*, a definição das quantidades de materiais, energia e transporte. Os resultados referentes aos impactos ambientais dos três cenários analisados são apresentados no Apêndice A.

Os dois modelos de acabamento de válvula de descarga analisados neste estudo foram: o *Clássica Chrome Docol* e o *Clássica Chrome Docol Salvágua*. As informações referentes aos dois modelos analisados foram obtidas junto à empresa Docol Metais Sanitários.

O transporte dos materiais nesse estudo da origem até a fábrica, da fábrica até a Universidade e dessa até o aterro foi padronizado para o processo “*Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO3 {GLO}| market for | Alloc Def, U*” da base de dados do Ecoinvent 3.3 (2016). Essa base de dados utiliza a unidade tonelada-quilômetro (tkm).

De acordo com o fabricante, no processo de manufatura dos acabamentos simples e de duplo acionamento não há controle do volume de água consumido. Na fase de uso, Kalbusch (2011) utilizou o indicador de consumo em L/usuário/dia, multiplicado pelo número de usuários e o número de dias letivos no ano da realização das medições, resultando no volume total ao longo do período analisado. Nesse estudo multiplicou-se o indicador de consumo (em L/dia) pelo número total de dias ao longo dos 20 anos dos cenários analisados, resultando no volume total de água na fase de uso para o período analisado. O volume médio de água consumido diariamente nas bacias sanitárias com acabamentos simples calculado foi de 1485,359 L/dia ($s = 528,456$ L/dia) e o volume consumido nas bacias sanitárias com acabamento duplo foi de 1081,204 L/dia ($s = 379,260$ L/dia).

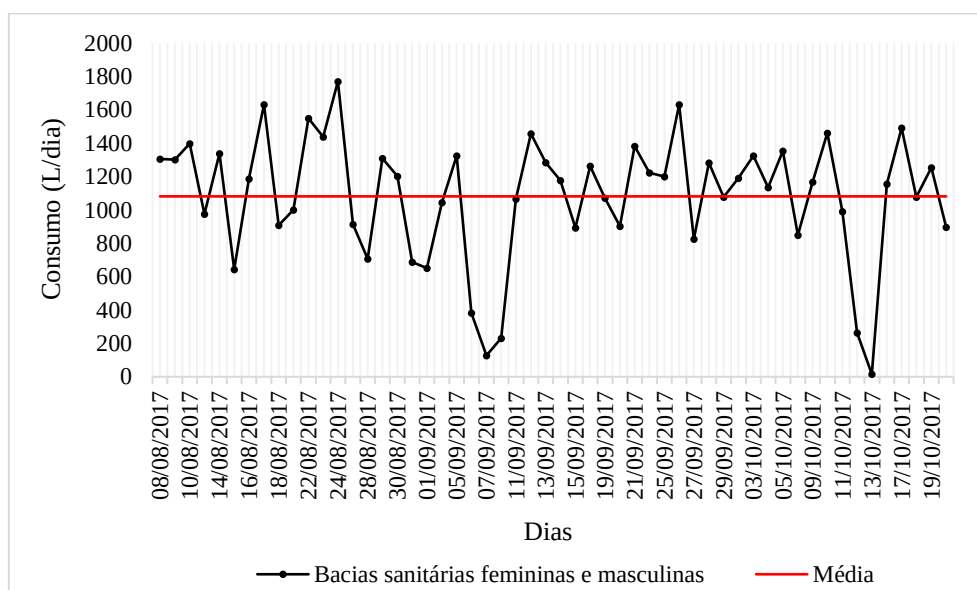
Para o cálculo do consumo anual e posterior comparação entre os cenários analisados foram considerados 207 dias letivos por ano de acordo com o calendário acadêmico de 2017 (UDESC, 2017). O único consumo de água considerado para a disposição final dos acabamentos no aterro é o do transporte.

Na fase de manufatura dos acabamentos das válvulas de descarga, o consumo de energia elétrica fornecido pela fabricante foi de 0,28 kWh/unidade para o acabamento de simples acionamento (*Clássica Chrome*) e de 1,25 kWh/unidade do acabamento de válvula de descarga de duplo acionamento (*Clássica Chrome Salvágua*). A fonte energética utilizada para a produção dos acabamentos em estudo é exclusivamente elétrica.

4.3.1 Aplicação da Metodologia ACV no Reúso das Águas Cinzas

O sistema de reúso de águas cinzas utilizado neste estudo fez parte de um estudo teórico. O consumo de água dos banheiros masculinos e femininos foi determinado por meio de leituras realizadas nos *smart meters* no período de 08/08/2017 a 22/10/2017, conforme Figura 30. Nesse período os acabamentos instalados nas bacias sanitárias eram os de duplo acionamento. O volume médio diário de água necessário para as bacias sanitárias dos banheiros femininos e masculinos foi de 1081,204 litros/dia ($s = 379,260$ L/dia). Esse valor representa a demanda de água diária para todas as bacias sanitárias instaladas no Bloco K.

Figura 30 – Consumo de água para as bacias sanitárias dos dias 08/08/2017 a 22/10/2017.

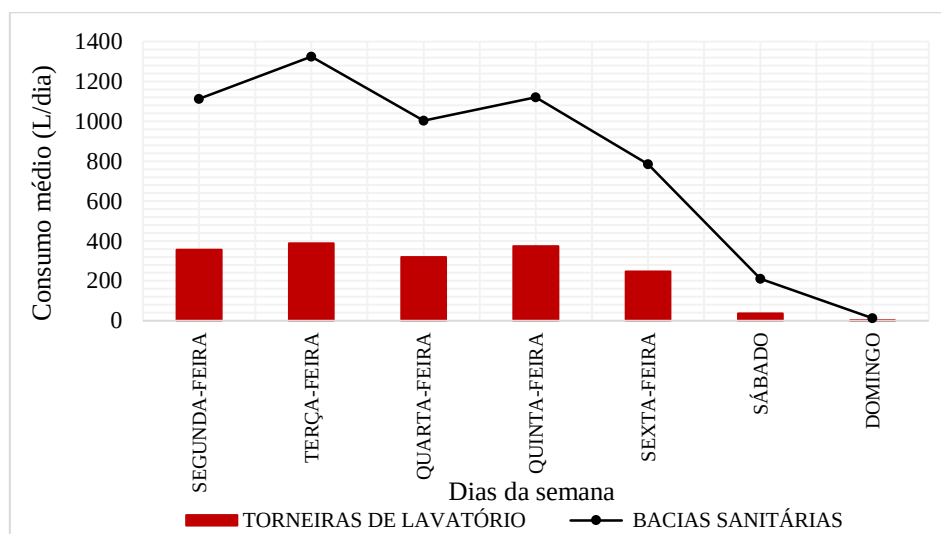


Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

O volume de água dos lavatórios que estava disponível para o reúso foi obtido por meio dos *smart meters* instalados em todas as torneiras dos lavatórios dos banheiros do Bloco K. A média dos valores obtidos para o consumo diário de águas nos lavatórios foi de 336,815 litros/dia ($s = 128,766$ litros/dia), isto representa 31,15% do volume total necessário para atender a demanda diárias das bacias sanitárias. Marinoski, Rupp e Ghisi (2018) em estudo realizado em residências na cidade de Palhoça – SC determinaram que o potencial de economia de água potável pelo uso de águas cinzas foi igual a 21%, o que correspondeu à demanda necessária de água cinza nessas residências.

O consumo médio de água durante uma semana nas bacias sanitárias e nas torneiras de lavatório dos banheiros masculinos e femininos está ilustrado na Figura 31. É possível notar que o consumo das bacias sanitárias é superior ao consumo de água das torneiras de lavatório em todos os dias da semana, com isso somente uma porcentagem da demanda das bacias sanitárias será suprida pela água de reúso proveniente das torneiras de lavatório, diferentemente do estudo realizado por Marinoski, Rupp e Ghisi (2018), em que a quantidade de água cinza produzida correspondeu a demanda necessária para as residências estudadas.

Figura 31 – Consumo médio de água por dia da semana nas bacias sanitárias e nas torneiras de lavatório dos banheiros masculinos e femininos nos dias 08/08/2017 a 22/10/2017.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Para os cálculos de ACV do reúso da água cinza foram desconsideradas as instalações elétricas necessárias para a instalação da motobomba, do realimentador e do conjunto mangueira-boia como adotado por Marinoski (2015).

O material constituinte das motobombas considerado neste estudo foi exclusivamente o ferro fundido pois, de acordo com Marinoski (2015), os demais materiais constituintes podem ser excluídos tendo em vista que constituem menos de 1% em termos de massa, seguindo a regra de exclusão adotada, descrita anteriormente.

Neste estudo de caso a potência mecânica calculada para o motor elétrico da motobomba utilizada no sistema convencional, que não inclui o reúso das águas cinzas, é igual a 0,75 CV. Foi considerado o consumo diário médio dos banheiros do Bloco K no período inicial, igual a 2,089 m³/dia, com funcionamento de 4 horas por dia. De acordo com a Eq. 5, o consumo de energia para bombeamento de água é igual a 4,370 MJ/m³. Para o segundo cenário, onde os acabamentos das válvulas de descarga eram de duplo acionamento, a motobomba era a mesma utilizada no cenário 1 e o seu consumo de energia foi de 5,373MJ/m³ para um consumo de água diário médio de 1,699 m³. A motobomba considerada no sistema de reúso é de 0,25 CV, com funcionamento de 2 horas por dia, sendo que o consumo de energia para bombear 0,337 m³/dia, de acordo com a Eq. 5 foi de 4,5172 MJ/m³.

Para o consumo energético relacionado ao abastecimento de água potável e posterior coleta e tratamento do esgoto gerado foram adotados os valores do Sistema

Nacional de Informações sobre Saneamento (BRASIL, 2015). O consumo médio de energia elétrica para a cidade de Joinville nos últimos 5 anos (2010 a 2015) em sistemas de abastecimento de água foi de 0,55 kWh/m³ e para sistemas de esgotamento sanitários foi de 0,34 kWh/m³.

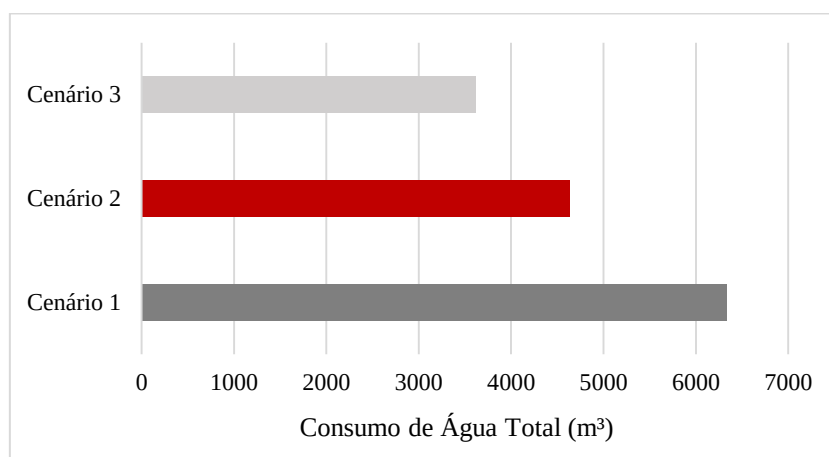
Os resultados finais das categorias de impacto ambiental divididos nas categorias propostas: consumo de água, consumo de energia e potencial de aquecimento global, são apresentados a seguir para os três cenários analisados.

4.3.2 Consumo de Água

A Figura 32 apresenta o consumo de água para os três cenários analisados no horizonte de tempo do estudo. O cenário 1, que contava com acabamentos de simples acionamento instalados nas válvulas de descarga, apresentou maior consumo de água em comparação aos dois outros cenários, consumindo 6342,673 m³ de água no período de 20 anos. O cenário 2 apresentou um consumo de água de 4634,514 m³, superior ao consumo de água do cenário 3 que foi de 3624,007 m³ para o mesmo período do cenário 1. A substituição dos acabamentos das válvulas de descarga de simples por duplo acionamento representa uma economia anual de 85,41 m³ de água e com a implantação do sistema de reúso essa economia alcança 135,93 m³ de água por ano.

O sistema de reúso implantado no cenário 3 reduziu o volume de água consumido neste cenário pois parte da água necessária para o funcionamento das bacias sanitárias era proveniente dos lavatórios. Nos cenários 2 e 3 os acabamentos das válvulas de descarga instalados eram de duplo acionamento, condição essa que contribuiu para a diminuição do consumo de água nesses dois cenários.

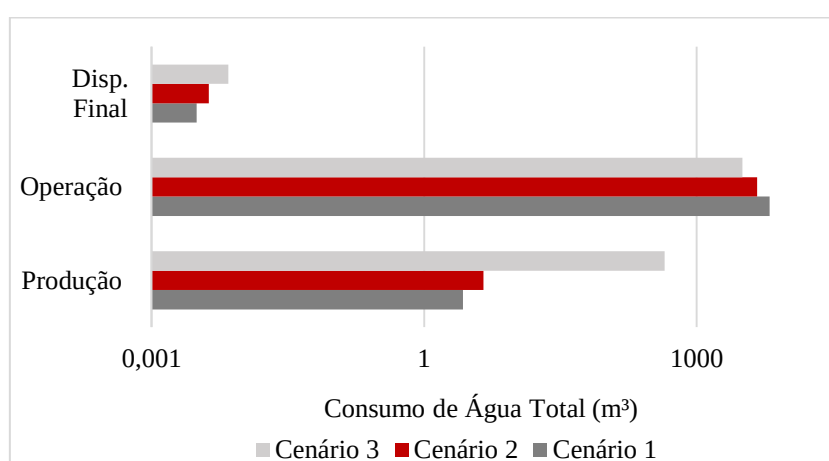
Figura 32 – Consumo de água total para os três cenários analisados ao longo de 20 anos.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

A Figura 33 apresenta o consumo de água para os 3 cenários divididos nas fases de produção, operação e disposição final. Como há grande disparidade no consumo de água nas diferentes fases, o gráfico é apresentado em escala logarítmica. A fase de operação é a maior consumidora de água em todos os três cenários, consumindo 99,96% da água no primeiro cenário, 99,90% no segundo e 87,75% no terceiro cenário, corroborando com o estudo realizado por Kalbusch (2011) para torneiras, onde a fase de uso foi a que apresentou maior contribuição nos dois cenários analisados.

Figura 33 – Consumo de água total por fase para os três cenários analisados ao longo de 20 anos.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

A Tabela 10 apresenta os resultados da categoria de impacto ambiental consumo de água para os três cenários analisados, separadas em cada uma das fases, calculados

com o auxílio do *software* SimaPro. A água consumida na fase de produção é oriunda do beneficiamento e transformação dos materiais que compõem os dispositivos hidráulicos e do transporte por meio de caminhões até o local de produção. A água consumida na fase de disposição final é oriunda do transporte por meio de caminhões até o local de disposição em aterro. Nessas duas fases o consumo de água foi maior no cenário 3 devido à maior quantidade de componentes desse sistema e conseqüentemente maior quantidade de material utilizado e transportado.

Tabela 10 – Resultado da categoria de impacto ambiental consumo de água para os três cenários analisados.

CONSUMO DE ÁGUA (m ³)				
	Produção	Operação	Disposição Final	Total
Cenário 1	2,670	6340,000	0,00313	6342,673
Cenário 2	4,510	4630,000	0,00425	4634,514
Cenário 3	444,000	3180,000	0,00698	3624,007

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Apesar do cenário 1 consumir uma quantidade de água menor nas fases de produção e disposição final, na fase de operação o consumo de água supera o cenário 2 em 26,97% e o cenário 3 em 49,84%. Uma das razões para a queda no consumo de água nos demais cenários é o fato de o cenário 1 contar com acabamentos de simples acionamento e os cenários 2 e 3 com acabamentos de duplo acionamento nas válvulas de descarga. Na fase de produção o consumo de água não foi contabilizado pela indústria fabricante dos acabamentos das válvulas de descarga. No terceiro cenário, a fase de produção apresentou consumo maior que os dois outros cenários devido à quantidade de componentes desse sistema ser maior e, com isso haver maior gasto de água também com o transporte.

Kalbusch (2011) em estudo realizado no mesmo bloco de salas de aula, constatou que o consumo de água na fase de produção da torneira convencional foi superior se comparada à fase de produção da torneira economizadora, porém na fase de uso a torneira convencional apresentou maior consumo de água em relação à torneira economizadora, de forma análoga a este estudo. Na disposição final, o consumo de água nos três cenários apresentou valores baixos, assim como no estudo elaborado por Kalbusch (2011).

Nos fluxogramas (ver Apêndice A) são apresentadas as contribuições de cada fase na categoria de impacto consumo de água. A porcentagem dentro de cada caixa representa a contribuição do processo no resultado dessa categoria de impacto, e a espessura das

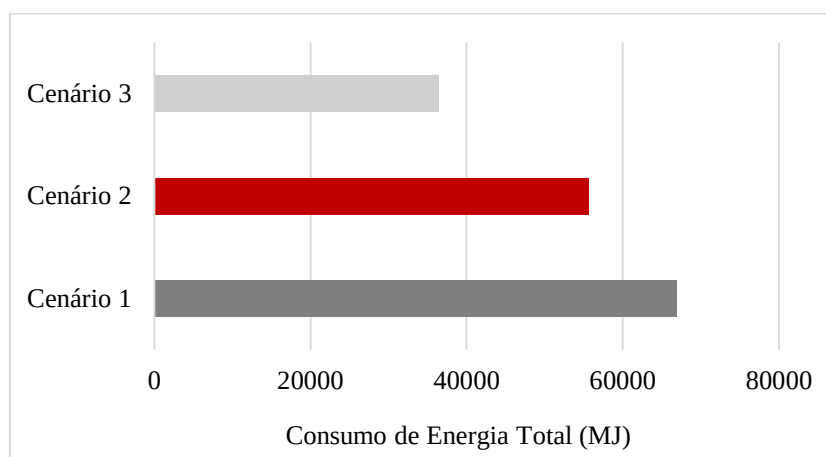
setas retrata a importância da contribuição de cada processo considerado. Essas Figuras mostram a importância da fase de operação nos cenários 1 e 2 e da fase de produção no cenário 3. Em ambos os cenários a fase de disposição final apresenta a menor contribuição, não sendo mostrada nos fluxogramas devido ao baixo consumo de água, pois foram consideradas somente as necessidades de transportes dos componentes para o simples descarte em local adequado.

4.3.3 Consumo de Energia

O consumo energético total para os cenários 1, 2 e 3 é apresentado na Figura 34. Na fase de produção é considerada a energia necessária no processamento das matérias-primas e o consumo energético relativo às necessidades de transporte até os locais de produção. Na fase de operação, são considerados o consumo energético referente ao transporte até a Universidade e o consumo energético envolvido na disponibilização de água potável no ponto de consumo e posterior tratamento de esgoto. Além disso, o bombeamento da água de reúso até o ponto de consumo também é considerado no cenário 3. Na fase de disposição final, é considerado o consumo energético decorrente do transporte dos equipamentos ao final da vida útil até o aterro.

O menor consumo energético para o horizonte de tempo de 20 anos ocorreu no cenário 3, devido ao menor consumo de água. O maior consumo ocorreu no cenário 1, seguido pelo cenário 2. O cenário 1, dentre os três analisados, foi o que apresentou maior consumo de água, implicando em um maior gasto energético para o bombeamento e tratamento da água utilizada e do esgoto produzido.

Figura 34 – Consumo de energia total para os três cenários analisados ao longo de 20 anos.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

A Tabela 11 apresenta os resultados para a categoria de impacto ambiental consumo de energia, subdivididos nas fases de produção, operação e disposição final dos três cenários analisados, fornecidos pelo *software* SimaPro.

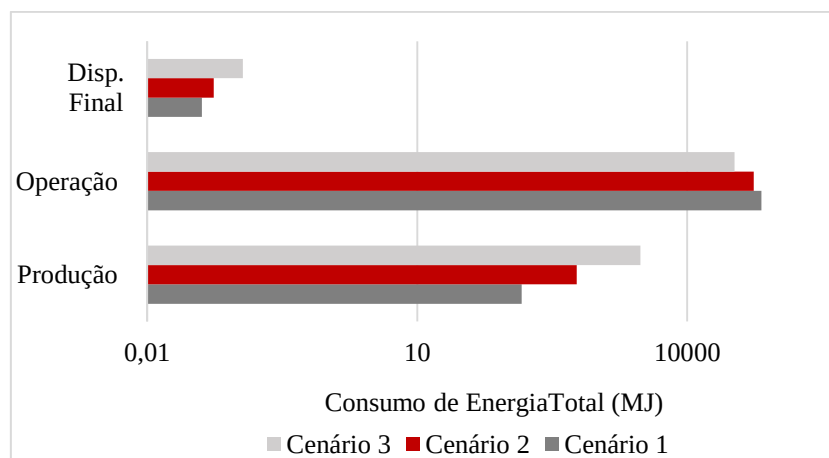
Tabela 11 – Resultado da categoria de impacto ambiental consumo de energia total para os três cenários analisados.

CONSUMO DE ENERGIA TOTAL (MJ)				
	Produção	Operação	Disposição Final	Total
Cenário 1	145,00	66700,000	0,0403	66845,040
Cenário 2	591,00	55000,000	0,0546	55591,055
Cenário 3	3020,00	33500,000	0,1150	36520,115

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

O consumo de energia total subdividido nas fases de produção, operação e disposição final pode ser visto na Figura 35. Devido às discrepâncias existentes nas fases de produção, uso e disposição final o gráfico também é apresentado em escala logarítmica. O maior consumo de energia deu-se na fase de operação para todos os cenários analisados, que as etapas de bombeamento e tratamento da água e do esgoto produzido. Essa fase consumiu 99,78% de toda a energia consumida no cenário 1, 98,94 % no cenário 2 e 91,73% no cenário 3.

Figura 35 – Consumo de energia total para os três cenários analisados ao longo de 20 anos.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Na fase de produção, o cenário 3 foi o que apresentou maior gasto energético pois um sistema de reúso está inserido nesse cenário o que demandou uma grande quantidade de energia para a produção dos seus componentes. Na fase de disposição final, o consumo de energia no cenário 3 foi maior que nos demais cenários, embora os três cenários apresentem baixos consumos de energia nessa etapa.

Em estudo realizado por Kalbusch e Ghisi (2012), a fase de uso apresentou peso preponderante nos resultados (correspondendo a 64,6% do consumo energético da torneira convencional e 56,5% do consumo da torneira com fechamento hidromecânico), fato que também ocorreu no presente estudo.

No estudo desenvolvido por Lee e Tansel (2012) a distribuição do consumo de energia mostrou que a produção é a etapa que mais consome energia tanto para as bacias sanitárias convencionais como para as economizadoras. Além disso, a etapa de produção da bacia sanitária economizadora apresentou consumo superior quando comparada à etapa de produção da bacia sanitária convencional. No presente estudo a fase de produção não foi a etapa que mais consumiu energia porém a produção do acabamento de duplo acionamento (economizador) consumiu maior quantidade de energia quando comparada à fase de produção do acabamento simples, de maneira semelhante ao resultado obtido no estudo desenvolvido por Lee e Tansel (2012).

Nos fluxogramas (ver Apêndice A) são mostradas as contribuições na categoria de impacto consumo de energia em cada fase para os três cenários analisados. Destaca-se o consumo energético na fase de operação nos cenários 1 e 2, e o consumo de energia na fase de produção do cenário 3.

4.3.4 Potencial de Aquecimento Global

Na categoria potencial de aquecimento global são consideradas as emissões no ar de gases de contribuem para as mudanças climáticas. A partir da Eq. 7 descrita anteriormente no Capítulo 3 (Materiais e Métodos), foi possível quantificar o potencial de aquecimento global, em kg de CO₂ Eq. para os três cenários analisados ao longo do horizonte de tempo considerado no estudo. A Tabela 12 apresenta os resultados para a categoria de impacto ambiental potencial de aquecimento global, em kg de CO₂ Eq. nos três cenários analisados, fornecidos pelo *software* SimaPro.

Tabela 12 – Resultado da categoria de impacto ambiental potencial de aquecimento global para os três cenários analisados.

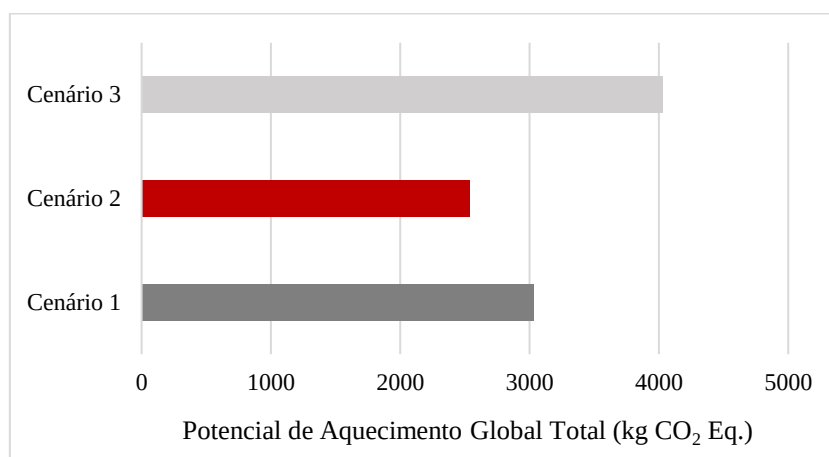
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL (kg CO₂ Eq.)				
	Produção	Operação	Disposição Final	Total
Cenário 1	62,90	2960,000	0,0940	3022,994
Cenário 2	100,00	2440,000	0,1270	2540,127
Cenário 3	2540,00	1490,000	1,0100	4031,010

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

O cenário 3 foi o que apresentou maior contribuição para essa categoria de impacto. A produção de mais componentes para o sistema de reúso, a utilização de duas motobombas no sistema, as necessidades de transporte dos locais de produção até o local de uso serem maiores nesse cenário, e principalmente o concreto e a argamassa presentes no sistema de tratamento da água cinza (*wetland*) contribuíram para uma maior liberação de gases que levam as mudanças climáticas (ver Apêndice A).

A Figura 36 apresenta os resultados da categoria de impacto potencial de aquecimento global para os três cenários.

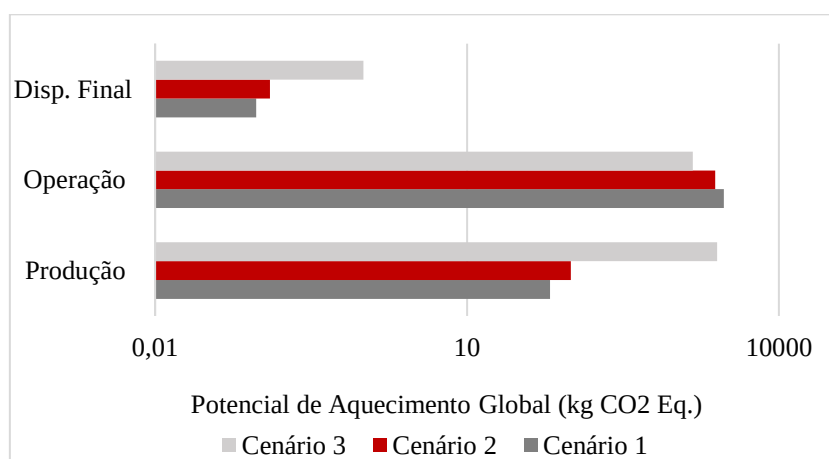
Figura 36 – Resultado da categoria potencial de aquecimento global para os três cenários analisados ao longo de 20 anos.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Os resultados apresentados na Figura 37 mostram que a fase de operação, exceto no cenário 3, responde pela maior parcela de contribuição para o potencial de aquecimento global nos cenários estudados, corroborando com os resultados obtidos por Marinoski (2015) para cenários de abastecimento de água em residências unifamiliares e Kalbusch (2011) para estudo envolvendo a análise de dois modelos de torneiras. Nesse último estudo o modelo convencional, por possuir maior consumo de água que o modelo economizador, apresentou maior potencial de aquecimento global. Na fase de produção, o cenário 3 apresentou maior impacto ambiental devido ao gasto energético para a produção dos componentes do sistema, principalmente os componentes do sistema *wetland*.

Figura 37 – Resultado da categoria potencial de aquecimento global por fase para os três cenários analisados ao longo de 20 anos.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

A fase de disposição final dos três cenários analisados apresentou valores baixos quando comparada às fases de produção e operação, pois foram considerados nessa etapa a disposição em aterro dos componentes dos sistemas que necessitaram ser substituídos em função da sua vida útil deles ser menor que o horizonte de tempo do estudo. Em estudo realizado por Marinowski (2015), que avaliou o impacto ambiental da implantação de sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e de água cinza em residências unifamiliares, os efeitos de final de vida vieram em segundo lugar nas categorias de impacto analisadas, incluindo o potencial de aquecimento global. No presente estudo a segunda fase que mais gerou impactos foi a produção nos três cenários analisados.

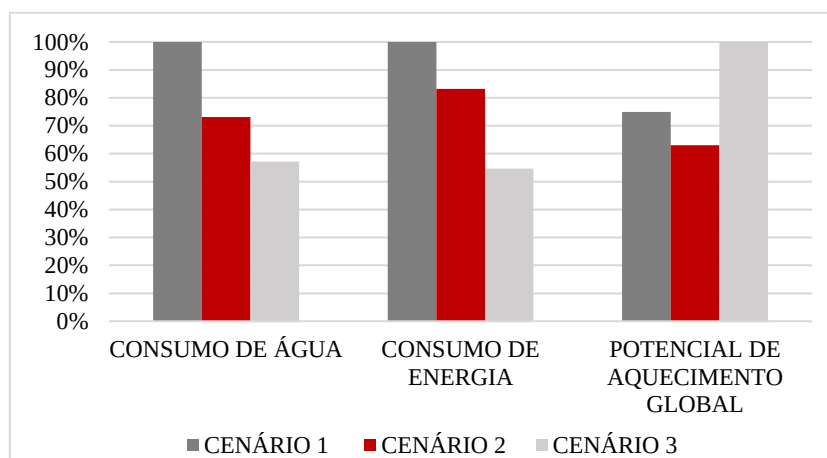
Lee e Tansel (2012) compararam as emissões de gases de efeito estufa para bacias sanitárias convencionais e economizadoras por meio da análise do ciclo de vida. Os autores concluíram que nos processos de produção e disposição final as bacias sanitárias economizadoras apresentaram maiores emissões, sendo essas concentradas na fase de produção. Em concordância com os resultados apresentados por Lee e Tansel (2012), nesse estudo o potencial de aquecimento global referente à produção e à disposição final também foi maior nos cenários que incluíam os acabamentos de duplo acionamento, porém, se concentraram na fase de uso, exceto para o cenário 3.

A instalação de um sistema de reúso de água cinza requer uma série de equipamentos e componentes extras e por isso mais processos de extração e beneficiamento desses materiais são necessários. Contudo, constatou-se nesse estudo que os efeitos de produção, exceto no cenário 3, não são os maiores responsáveis pelos impactos ambientais e sim os efeitos de operação. No estudo realizado por Marinowski (2015), que analisou um sistema convencional e sistemas integrados de abastecimento de água em residências, a fase de operação também respondeu pela maior parcela de contribuição no cálculo dos impactos no ciclo de vida.

4.3.5 Comparação entre os Impactos no Ciclo de Vida dos Três Cenários

O cenário 1 apresentou maiores impactos referentes às categorias de impacto ambiental estudadas exceto para o potencial de aquecimento global. Nessa categoria, o cenário 3 apresentou os maiores impactos devido ao consumo de energia na fase de produção, que incluiu o consumo de energia no transporte e na fabricação dos componentes desse cenário. A Figura 38 mostra a comparação entre as categorias de impacto ambiental para os três cenários analisados.

Figura 38 – Comparação percentual entre as categorias de impacto para os três cenários analisados.



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

O segundo cenário apresentou o menor impacto ambiental na categoria de potencial de aquecimento global. Esse fato está relacionado à menor quantidade de água consumida, implicando em menor gasto energético para o bombeamento da água, tratamento e distribuição de água pela concessionária, e para o tratamento do esgoto gerado. Esse resultado ressalta a importância da economia de água promovida pelo acabamento duplo nas válvulas de descarga na melhoria do desempenho ambiental e evidencia a ligação direta de outros impactos ambientais ao consumo de água de um equipamento hidrossanitário.

O cenário 2 mostrou-se ambientalmente menos impactante que o cenário 1 em todas as categorias de impactos ambiental estudadas. Na categoria consumo de água o cenário 2 apresentou resultado, em m³, 26,93% menor que o cenário 1. Um dos fatores que contribui para essa diferença foi a presença dos acabamentos de válvula de descarga de duplo acionamento no cenário 2 e de simples acionamento no cenário 1. Na categoria de impacto consumo de energia o segundo cenário obteve um consumo 16,84% menor que o primeiro cenário em função do menor consumo de água nesse cenário e consequentemente menor gasto de energia para disponibilizar essa água no ponto de consumo. O resultado na categoria potencial de aquecimento global para o cenário 2 foi 15,97% menor que o resultado calculado para o cenário 1, em kg de CO₂ equivalente.

O resultado mostrou que a substituição dos acabamentos de simples acionamento por acabamentos de duplo acionamento nas válvulas de descarga das bacias sanitárias reduziria o consumo de água, o consumo de energia e o potencial de aquecimento global

ao longo do ciclo de vida nos cenários analisados. Isso foi demonstrado no estudo realizado por Lee e Tansel (2012) para outros equipamentos hidrossanitários (bacias sanitárias, lavadoras de roupas e chuveiros) em edifícios residenciais.

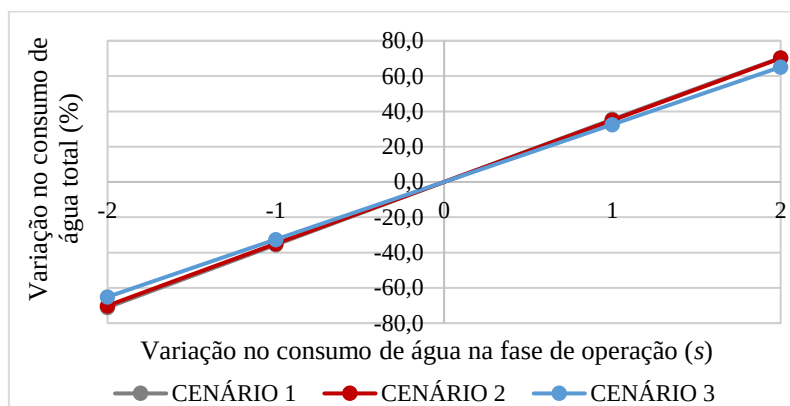
O cenário que contém o sistema de reúso apresentou menor volume de água consumida ao longo dos 20 anos porém apresentou elevado potencial de aquecimento global por contar com um sistema de reúso, que inclui novas tubulações, uma segunda motobomba, reservatórios, além de outros materiais, principalmente o concreto e a argamassa presentes no sistema de tratamento da água cinza. Se a quantidade de água disponível para o reúso fosse maior, melhores resultados em todas as categorias de impacto ambiental para esse cenário possivelmente poderiam ser alcançados. Além disso, outros tratamentos para a água cinza poderiam ser testados a fim de diminuir esse impacto ambiental.

4.4 RESULTADO DA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade proposta nessa pesquisa variou o consumo de água das bacias sanitárias dos banheiros femininos e masculinos na fase de operação desses equipamentos, alterando os valores de consumo total de água. A variação foi de mais ou menos 1 e 2 desvios padrão. Um maior ou menor consumo de água nas bacias sanitárias pode ser justificado por um aumento ou diminuição do número de alunos como consequência de variações na ocupação do bloco de salas de aula.

Na Figura 39 são apresentadas as variações no consumo total de água em decorrência das variações impostas no consumo de água na etapa de operação das bacias sanitárias. O cenário 3 foi o que apresentou menor variação e, portanto, mostrou-se o mais robusto quanto à variação no consumo de água total.

Figura 39 – Análise de sensibilidade no consumo de água para os três cenários analisados.

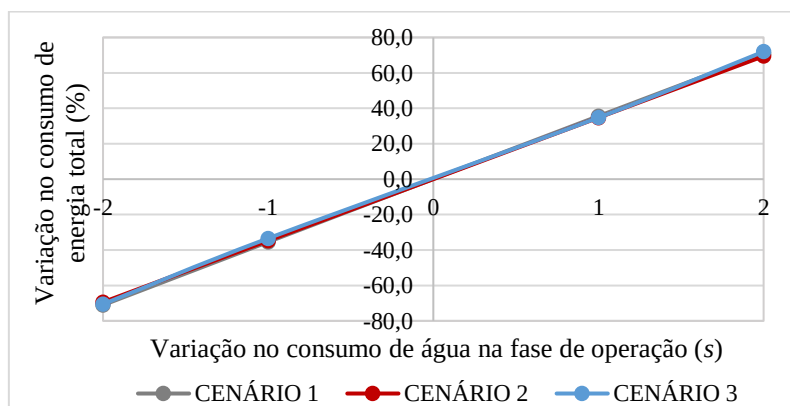


Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Uma variação de menos 2 desvios padrão leva a uma redução no consumo total de água de 61,15% no cenário 3, 70,13% no cenário 2 e 71,11% no cenário 1. O mesmo ocorre com o aumento de 2 desvios padrão no consumo de água das bacias sanitárias, só que em sentido oposto.

As variações presentes no consumo de energia derivadas das alterações no consumo de água estão apresentadas na Figura 40. No cenário 1 um acréscimo de 2 desvios padrão no consumo das bacias sanitárias representou um aumento de 76,76% no consumo de energia total do cenário, enquanto o mesmo acréscimo representou um aumento de 69,44% no consumo total de energia do cenário 2 e 72,02% no cenário 3. Logo, o cenário 2 apresentou impactos menores referentes ao consumo de energia decorrente de um maior ou menor consumo de água nas bacias sanitárias.

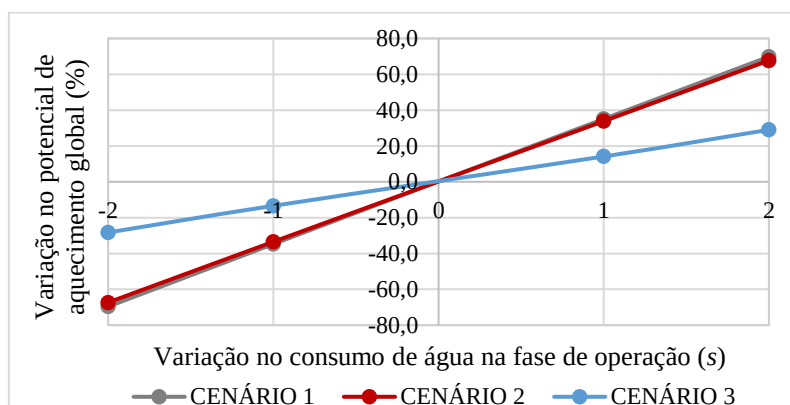
Figura 40 – Análise de sensibilidade no consumo de energia para os três cenários analisados.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

A Figura 41 apresenta as variações no potencial de aquecimento global frente às variações no consumo de água na fase de operação impostas nos três cenários. O cenário 3 mostrou-se o mais robusto, isto é, apresentou as menores variações no potencial de aquecimento global, sendo essa variação de 29,20% com o acréscimo de 2 desvios padrão.

Figura 41 – Análise de sensibilidade no potencial de aquecimento global para os três cenários analisados.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

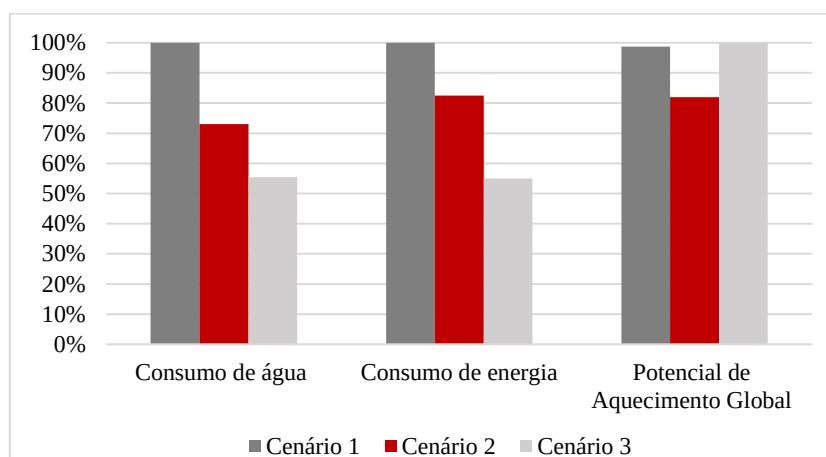
O cenário 1 apresenta a maior redução no potencial de aquecimento global quando há um decréscimo de 2 desvios padrão no consumo de água nas bacias sanitárias. O potencial de aquecimento global diminui 69,63%, enquanto que nos cenários 2 e 3 a redução fica em torno de 67,36% e 28,28% respectivamente.

Na análise de sensibilidade, com o aumento no volume de água consumida pelas bacias sanitárias na fase de operação, o cenário 3 foi o que apresentou menores variações nos impactos ambientais tanto no consumo de água como também no potencial de aquecimento global.

4.4.1 Resultado das Variações no Consumo de Água na Fase de Operação

A variação no consumo de água na etapa de operação promove variações nos impactos ambientais analisados. A Figura 42 apresenta os resultados dos impactos ambientais com o aumento de dois desvios padrão no consumo de água na etapa de operação. O consumo de energia e de água continuam sendo maiores no cenário 1, enquanto que o potencial de aquecimento global permanece maior no cenário 3.

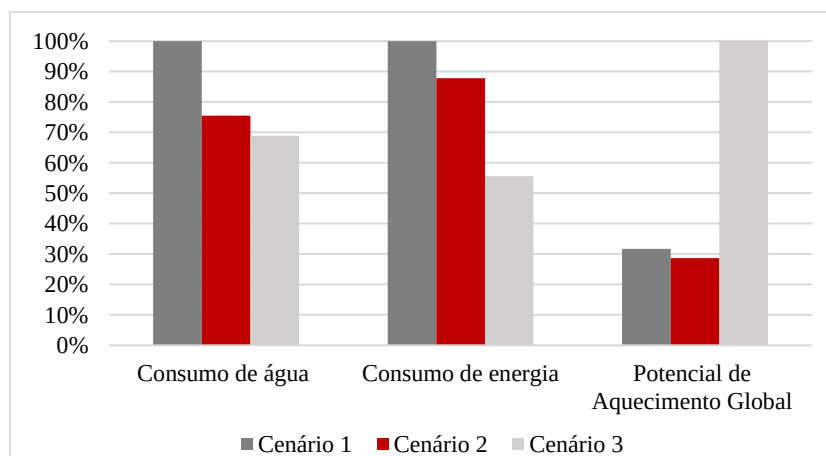
Figura 42 – Impactos ambientais com a adição de dois desvios padrão no consumo de água na fase de operação.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Alterações também ocorrem quando há diminuição no consumo de água na fase de operação. A Figura 43 mostra a magnitude dos impactos ambientais com a subtração de dois desvios padrão no consumo de água na etapa de operação.

Figura 43 – Impactos ambientais com a subtração de dois desvios padrão no consumo de água na fase de operação.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

O cenário 3 é o cenário que apresenta menor contribuição para a categoria de impacto ambiental consumo de energia. O cenário 1 continua a ser o cenário com maior contribuição nas categorias consumo de água e consumo de energia.

5 CONCLUSÕES

A escolha entre um produto e outro envolve muitas questões, entre elas as questões ambientais. Essa dissertação apresentou uma avaliação dos impactos ambientais, por meio da avaliação do ciclo de vida, de cenários que continham acabamentos de válvulas de descarga simples e de duplo acionamento. A avaliação considerou os aspectos ambientais, quantificando as entradas e as saídas do sistema analisado. Deste modo, as entradas de água, matérias-primas e energia e as saídas em forma de emissões atmosféricas foram analisadas no ciclo de vida dos equipamentos hidrossanitários.

Três cenários foram analisados: no primeiro cenário foram instalados acabamentos de simples acionamento nas bacias sanitárias; no segundo cenário os acabamentos das válvulas de descarga eram de duplo acionamento e o terceiro cenário avaliou a utilização de acabamentos de duplo acionamento nas válvulas de descarga das bacias sanitárias e a instalação teórica de um sistema de reúso da água cinza, com a água proveniente dos lavatórios sendo reutilizada nas bacias sanitárias. Como a função dos acabamentos das válvulas de descarga, juntamente com a própria válvula, é permitir o fornecimento de água para suprir as necessidades dos usuários dos sistemas prediais de distribuição de água, a eficiência em relação ao consumo de água de cada um dos acabamentos testados influencia diretamente o desempenho ambiental desses.

As categorias de impacto ambiental analisadas foram: consumo de água, consumo de energia e potencial de aquecimento global. O estudo considerou um período de 20 anos para cada um dos cenários. As medições de consumo de água ocorreram em dois períodos, sendo que o período inicial contou com 71 dias de medições e o final com 54 dias de medições, excluindo sábados e domingos. Essa diferença se deu por problemas que ocorreram durante as medições como vazamentos nas bacias sanitárias que impediram que as medições continuassem.

O estudo permitiu traçar o perfil semanal de consumo de água das torneiras de lavatório e das bacias sanitárias instaladas em um bloco de salas de aulas de uma Universidade, atendendo o primeiro objetivo específico. Identificou-se que os perfis de ambos os equipamentos apresentaram um comportamento semelhante, sendo os maiores consumos no início da semana, chegando a consumos próximos de zero nos finais de semana, período esse que o bloco de salas de aula em estudo não recebe estudantes.

A substituição dos acabamentos de válvula de descarga de simples acionamento por acabamentos de duplo acionamento (economizadores) apresentou bons resultados na

redução do consumo de água. Foi possível determinar o consumo de água médio diário das bacias sanitárias com acabamento simples (1485,359 L/dia) e com acabamento de duplo acionamento nas válvulas de descarga (1081,204 L/dia), satisfazendo o segundo objetivo específico. Essa troca implicou em uma redução média de 26,97% no consumo de água das bacias sanitárias na fase de operação.

Apesar dessa diminuição no consumo, o número de acionamentos das bacias sanitárias manteve-se constante mesmo após a troca dos acabamentos, o que reforça o desempenho dos acabamentos de duplo acionamento na diminuição do consumo de água.

Os indicadores de consumo *per capita* apresentados mostraram-se menores do que aqueles encontrados na literatura. Uma explicação possível para esse fato é que nem todas as pessoas que utilizam o bloco de salas de aula fazem uso dos banheiros, pois esse bloco situa-se próximo de outros blocos de salas de aula da instituição e de um shopping center, localizado em terreno adjacente à Universidade.

As análises e comparações realizadas, satisfazendo o terceiro e quarto objetivos específicos, demonstraram que é ambientalmente viável a substituição dos acabamentos de válvulas de descarga de simples acionamento por acabamentos de duplo acionamento nas três categorias de impacto analisadas: consumo de água, consumo de energia e potencial de aquecimento global. A fase de uso nos três cenários concentrou os maiores gastos de água, energia e as maiores emissões no ar de gases que contribuem para as mudanças climáticas, exceto para o cenário 3 onde a fase de operação foi a que apresentou o maior potencial de aquecimento global. O cenário que incluiu o sistema de reúso apresentou menores impactos ambientais quando comparado ao cenário 1, onde os acabamentos das válvulas de descarga instalados eram os de simples acionamento, exceto para a categoria potencial de aquecimento global. Se a porcentagem de água cinza gerada nos lavatórios fosse maior, os impactos gerados nesse cenário possivelmente seriam menores. O gasto energético para a produção dos componentes do cenário 3 estão diretamente relacionadas aos grandes impactos gerados por esse cenário na categoria potencial de aquecimento global. A argamassa e o cimento utilizados no sistema *wetland* também contribuíram diretamente para essa categoria de impacto nesse cenário.

O estudo reforça a importância de se levar em consideração as questões ambientais e o consumo de água na escolha dos equipamentos hidráulicos prediais, à medida que uma melhor gestão dos recursos hídricos é fundamental para a economia de água, seja ela por meio da conscientização dos usuários ou pela adoção de equipamentos economizadores.

5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Nessa dissertação a inexistência de dados referentes ao volume de água consumido na fase de produção dos acabamentos das válvulas de descarga foi uma limitação encontrada pois esses dados também não estavam disponíveis na literatura.

O excesso de vazamentos devido à falta de manutenção dos equipamentos hidrossanitários instalados no bloco onde o estudo foi realizado tornou-se um fator limitante à medida que alguns dias de medições necessitaram ser descartados. A recorrente falta de água principalmente no segundo período de medições também afetou esse estudo pois nesses períodos as medições eram interrompidas sem previsão de retorno do abastecimento.

Por meio do uso do *software* SimaPro e da base de dados *Ecoinvent Centre* (2016) foi possível considerar nesse estudo dados a que não se teria acesso, entretanto a limitação se faz presente na origem estrangeira de algum desses dados. A utilização dessa base de dados tornou o estudo mais completo, porém parte dos dados podem não refletir a realidade em que esse estudo foi realizado. Essa limitação tende a ser superada com o passar do tempo à medida que bancos de dados nacionais forem sendo criados.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Uma sugestão para o desenvolvimento de trabalhos futuros é a realização do estudo considerando novos cenários com a reciclagem dos diferentes materiais que compõem os cenários analisados.

A realização de um estudo considerando um novo cenário que utilize água pluvial juntamente com a água cinza proveniente dos lavatórios para o reúso nas bacias sanitárias também é uma sugestão para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

ABIKO, A. K. *et al.* **Eficiência Energética e Habitação de Interesse Social no Estado de São Paulo**. Sumário Técnico Resumido. São Paulo. 2010.

ACVBRASIL. 2017. Disponível em: <<http://www.acvbrasil.com.br/software/simapro>>. Acesso em: 31 mar. 2017.

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS (EPA). **Water Recycling and Reuse: The Environmental Benefits**, 1998. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/region9/water/recycling/>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS; FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO; SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Conservação e Reúso da Água em Edificações**, 2005. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/conservacao-e-reuso-de-aguas-em-edificacoes-2005/>>. Acesso em: 22 out. 2016.

ÁGUAS DE JOINVILLE. Esgoto. 2018. Disponível em: <http://www.aguasdejoinville.com.br/site/?page_id=111%20&mode=index>. Acesso em: 04 maio 2018.

AIT-KADI, M. Water for Development and Development for Water: Realizing the Sustainable Development Goals (SDGs) Vision. **Aquatic Procedia**, v. 6, p. 106-110, 2016.

ALEXANDRE, A. C.; KALBUSCH, A.; HENNING, E. Avaliação do impacto da substituição de equipamentos hidrossanitários convencionais por equipamentos economizadores no consumo de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental** [online], v. 22, n.5, p.1005-1015. 2017.

ALMEIDA, G. S. **Metodologia para Caracterização de Efluentes Domésticos para fins de Reúso**: Estudo em Feira de Santana, Bahia, 2007. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007. 226 p.

ALVES, W. C.; ROCHA, A. L.; GONÇALVES, R. F. Aparelhos Sanitários Economizadores. In: GONÇALVES, R. F (Coord.). **Uso Racional da Água em Edificações**. Vitória: ABES, 2006. p. 267-322.

AMARAL, B. M. do; HOFFMAN, C.; VIEIRA, G. C. G.; PAGOTTO, L. D. Desperdício de água por bacias sanitárias e sistemas de descarga na FEEC. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, v. 5, n. 2, 2009.

ANDRADE, H. H. B. de; NOLASCO, M. A. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema intensificado de tratamento de esgoto sanitário por *Wetland* construído**. Qualificação de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade da Escola de Artes Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

AROCHA, J. S.; MCCANN, L. M. J. Behavioral economics and the design of a dual-flush toilet. **Journal of the American Water Research Association**, v. 105, n. 2, 2013.

ASDRUBALI, F.; BALDASSARRI, C.; FTHENAKIS, V. Life cycle analysis in the construction sector: Guiding the optimization of conventional Italian buildings. **Energy and Buildings**, v. 64, p. 73-89, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13969** – Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8160** – Sistemas prediais de esgoto sanitário – Projeto e execução. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14040** – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15857** – Válvula de descarga para limpeza de bacias sanitárias – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575 – 1**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14044** – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações. Versão corrigida: 2014. Rio de Janeiro, 2014.

ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; DIAS, I. C. S.; GADELHA, C. L. M. Viabilidade econômica e aceitação social do aproveitamento de águas pluviais em residências na cidade de João Pessoa. **CEP**, v. 58059, p. 900, 2008.

AVERY, L. M.; FRAZER-WILLIAMS, R. A. D.; WINWARD, G.; SHIRLEY-SMITH, C.; LIU, S.; MEMON, F. A.; JEFFERSON, B. Constructed wetlands for grey water treatment. **Ecohydrology & Hydrobiology**, v. 7, n. 3, p. 191-200, 2007.

BANCO NACIONAL DE INVENTÁRIOS DO CICLO DE VIDA – SICV BRASIL. 2017. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/banco-nacional/o-que-e-sicv/>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

BRAGA, L. G.; RIBEIRO JÚNIOR, L. U. Avaliação técnica e econômica para o reuso de água cinza em uma instituição de ensino no município de Itajubá. **Revista Científica da FEPI**, v.4, n.1, 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas; Federação das Indústrias de São Paulo; Sindicato da Indústria da Construção Civil de São Paulo. **Conservação e Reuso da Água em Edificações**. São Paulo, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005**. Diário Oficial da União, Brasília – DF, 09 mar. 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/838F10BD/Resol548_ReusoDiretoAgu a1.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2017.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução nº54/2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Disponível em:<http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=37&Itemid=>>. Acesso em: 18 mar. 2017.

BRASIL. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. Brasília, DF: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2015.

BRE GLOBAL. **Methodology for Environmental Profiles of Construction Products**. 2008. Disponível em:<http://www.greenbooklive.com/filelibrary/environmental_profiles/Methodology_for_Environmental_Profiles_2008_SD6050.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2017.

BRIBIÁN, I. Z.; USÓN, A. A.; SCARPELLINI, S. Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complemente for building certification. **Building and Environment**, v. 44, p. 2510–2520, 2009.

BRIBIÁN, I. Z.; CAPILLA, A. V.; USÓN, A. A. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. **Building and Environment**, v. 46, n. 5, p. 1133-1140, 2011.

BS 7543 – British Standards Institution. **Guido to durability of buildings and buildings elements, products and components**. 2003.

BUENO, C.; FABRICIO, M. M.; ROSSIGNOLO, J. A. Avaliação de ciclo de vida de componentes construtivos como ferramenta de decisão no processo de projeto. In: Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, 2., 2011, Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro, 2011. Disponível em:<
<http://www.iau.usp.br/ocs/index.php/sbqp2011/sbqp2011/paper/viewFile/318/225>>. Acesso em: 17 maio 2016.

CABEZA, L. F. *et al.* Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, p. 394-416, 2014.

CAMPOLINA, J. M.; SIGRIST, C. S. L.; MORIS, V. A. da S. Uma Revisão de Literatura sobre *softwares* utilizados em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n.2, p. 735-750, maio-ago. 2015.

CAMPOS, F. H. A. **Análise do ciclo de vida na construção civil**: um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto. 2012. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

CARVALHO, N. L.; HENTZ P.; SILVA, J. M.; BARCELLOS, A. L. Reutilização de águas residuárias. **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria. Revista Monografias Ambientais – REMOA**, v. 14, n. 2, p. 3164 – 3171, 2014.

CASTRO, A. L.; SILVA, F. B.; ARDUIN, R. H.; OLIVEIRA, L. A.; BECERE, O. H. Análise da viabilidade técnica da adaptação de dados internacionais de inventário de ciclo de vida para o contexto brasileiro: um estudo de caso do concreto para paredes moldadas no local. *In: Congresso Brasileiro de Concreto, 2015, Bonito – MS. Anais...* Bonito, 2015.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos**. Qualitymark, Rio de Janeiro, 2002.

CHANG, N., QI, C., YANG, Y. J. Optimal expansion of a drinking water infrastructure system with respect to carbon footprint, cost-effectiveness and water demand. **Journal of Environmental Management**, v. 110, 2012. p. 194-206.

CHANG, J.; LEE, W.; YOON, S. Energy consumptions and associated greenhouse gas emissions in operation phases of urban water reuse systems in Korea. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 728-736, 2017.

CHRISPIM, M. C.; NOLASCO, M. A. Greywater treatment using a moving bed biofilm reactor at a university campus in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 290-296, 2017.

CMBAQUA. CMB Indústria e Comércio de artefatos plásticos. Disponível em: <<http://www.cmbaqua.com.br/>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

COHIM, E.; GARCIA, A.; KIPERSTOK, A.; DIAS, M. C. Consumo de Água em Residências de Baixa Renda - Estudo de caso. *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 25, 2009, Recife. Anais...* Recife: 2009.

COROMINAS, L.; FOLEY, J.; GUEST, J. S.; HOSPIDO, A.; LARSEN, H. F.; MORERA, S.; SHAW, A. Life cycle assessment applied to wastewater treatment: state of the art. **Water Research**, v. 47, n. 15, p. 5480-5492, 2013.

CRAWFORD, R. **Life cycle assessment in the built environment**. Taylor & Francis, 2011.

DECA. Acabamentos para válvulas de descarga. Disponível em: <<http://deca.com.br/produtos/ambiente/banheiro-604296/categoria/sistemas-de-descarga-604741/tipo/acabamento-para-valvula-604902>>. Acesso em: 29 jun. 2017.

DEPARTAMENTO DE OBRAS – UDESC. Implantação dos Blocos no CCT. Mensagem recebida por <eloisegnoatto@gmail.com> em 24 maio 2017.

DING, G. K. C. Life cycle assessment (LCA) of sustainable building materials: An overview. Eco-efficient construction and building materials. Life cycle assessment (LCA) eco-labelling and case studies. **Woodhead Publishing Limited**, Cambridge, p. 38-62, 2014.

DOCOL METAIS SANITÁRIOS. Disponível em:
<<https://www.docol.com.br/pt/produto/banheiro/acabamentos>>. Acesso em: 02 mar. 2017a.

DOCOL METAIS SANITÁRIOS. Informações referentes aos acabamentos das válvulas de descarga da Docol. Mensagem recebida por <eloisegnoatto@gmail.com> em 10 maio 2017b.

EDWIN, G. A.; POYYAMOLI, G.; NANDHIVARMAN, M.; PRASATH, R. A.; BORUAH, D. Constructed Wetlands for the Treatment of Grey Water in Campus Premises. In: **Implementing Campus Greening Initiatives**. Springer International Publishing, p. 337-349, 2015.

ELETROSUL, 2005. **Projeto Casa Eficiente**. Disponível em: <<http://www.eletrosul.gov.br/ampnbs/casa-eficiente-home#top-ce>>. Acesso em: 30 out. 2017.

ENVIRONMENT AGENCY. **Greywater for domestic users: an information guide**. 2011. Disponível em:
<http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/ENVIRONMENT%20AGENCY%202011%20Greywater%20for%20Domestic%20Users.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2017.

ERIKSSON, E. H. **Potential and problems related to reuse of water in households**. Ph. D. Thesis. Technical University of Denmark, Department of Environmental Science and Engineering, 2002.

FABRÍCIO, T. N. R.; SILVA, A. C. da; NEPOMUCENO, N. de A. S. Avaliação do Ciclo de Vida do Gesso Utilizando o Software SimaPro®. **Revista Espacios**, v. 38, n. 16, p. 17, 2017.

FANE, S.; REARDON, C. **Wastewater reuse**. 2013. Disponível em: <<http://www.yourhome.gov.au/sites/prod.yourhome.gov.au/files/pdf/YOURHOME-Water-WastewaterReuse.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

FASOLA, G. B.; GHISI, E.; MARINOSKI, A. K.; BORINELLI, J. F. Potencial de economia de água em duas escolas em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 65-78, out./dez. 2011.

FERREIRA, J. V. R. **Análise de Ciclo de Vida dos Produtos**. Instituto Politécnico de Viseu, 2004. Disponível em: < www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/jvf/Gestão Ambiental - Análise de Ciclo de Vida.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2016.

FIGUEIREDO, C. R. **Equipamentos hidráulicos e sanitários**. Universidade de Brasília. Brasília, 2007. 92 p.

FIORAVANTE, E. F.; SOUZA, L. de M. de; DUTRA, E. G. Perfis dos Proprietários de Veículos Automotores. *In: Encontro Nacional de Estudos Populacionais – ABEP*, 15, 2006, Caxambú – MG. **Anais ...** Caxambú, 2006.

FUCHS, V. J.; MIHELIC, J. R.; GIERKE, J. S. Life cycle assessment of vertical and horizontal flow constructed wetlands for wastewater treatment considering nitrogen and carbon greenhouse gas emissions. **Water Research**, v. 45, n. 5, p. 2073-2081, 2011.

FURTADO, J. M. dos S. **Comparação de Métodos e Ferramentas de Análise de Impacto de Ciclo de Vida, aplicados a processos químicos alternativos**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2014.

GUANAIS, A. L. R.; COHIM, E. B.; MEDEIROS, D. L. Avaliação energética de um sistema integrado de abastecimento de água. *Eng. Sanit. Ambient.* [online], v. 22, n. 6, p.1187-1196, 2017.

GOMES, M. M.; FUCAL, S.; SILVA, S. R. da. Avaliações do consumo de água em uma edificação escolar sustentável no Recife – PE. **Anais da Mostra de Extensão, Inovação e Pesquisa**, v.3, 2016.

GONÇALVES, O. M. *et al.* **Medidas de racionalização do uso da água para grandes consumidores**. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água - PNDCA. DTA B3. Brasília, 1999.

GOOGLE MAPS. Dados cartográficos 2017. Disponível em: <maps.google.com.br>. Acesso em: 22 maio 2017.

HAFNER, A. V. **Conservação e reúso de água em edificações – experiências nacionais e internacionais**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

HAMBY, D.M. 1994. A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 32, n. 2, p.135-154.

HAMZO, S. T. **Avaliação da economia de água obtida pelo uso de dispositivo seletivo de descarga em bacias sanitárias com caixa acoplada**. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2005. 79 p.

HEADLEY, T. R.; DAVISON, L.; HUETT, D. O.; MÜLLER, R. Evapotranspiration from subsurface horizontal flow wetlands planted with *Phragmites australis* in sub-tropical Australia. **Water research**, v. 46, n. 2, p. 345-354, 2012.

HEIJUNGS, R.; HUPPE, G.; LANKREIJER, R. M.; UDO DE HAES, H. A.; WEGENER SLEESWIJK, A. **Environmental Life Cycle Assessment of Products: Guide**, v.1. Centre of Environmental Science, Leiden, 1992.

HEIJUNGS, R.; GUINÉE, J. Software as a bridge between theory and practice in life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 1, n. 3-4, p. 185-189, 1993.

HENNING, E.; KONRATH, A. C.; KALBUSCH, A.; ZOLDAN, I. M.; CORREA, N. M. Aplicação de Gráficos de Controle em Redes de Abastecimento Predial de Água. **Ciência & Engenharia**, v. 25, n. 2, 2016.

HERRMANN, I. T.; MOLTESEN, A. Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? – A comparative assessment of SimaPro and GaBi. **Journal of Cleaner Production**, v. 86, p. 163-169, 2015.

HINZ, R. T. P.; DALLA VALENTINA, L. V.; FRANCO, A. C. Sustentabilidade ambiental das organizações através da produção mais limpa ou pela Avaliação do Ciclo de Vida. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 2, n. 2, p. 91-98, 2006.

HOUGHTON, J. T.; MEIRA FILHO, L.G.; CALLANDER, B. A.; HARRIS, N.; KATTENBERGE, A.; MASKELL, K. **Climate Change 1995 - The Science of Climate Change: Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. 1995.

INMETRO. Programa de Análise de Produtos – Relatório Final: **Sistemas de Descargas**. 2014. Disponível em:<
http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/sistemas_de_descarga.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2017.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p, 2007.

JEFFERSON, B.; LAINE, A.; PARSONS, S.; STEPHENSON, T.; JUDD, S. Technologies for domestic wastewater recycling. **Urban Water**, v. 1, n. 4, p. 285-292, 2000.

JEONG, H.; MINNE, E.; CRITTENDEN, J. C. Life cycle assessment of the City of Atlanta, Georgia's centralized water system. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, n. 6, p. 880–891, 2015.

KALBUSCH, A. **Método para Avaliação do Impacto Ambiental da Substituição de Equipamentos Convencionais por Equipamentos Economizadores de Água a partir da Avaliação do Ciclo de Vida**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

KALBUSCH, A.; GHISI, E. Método para quantificação do consumo energético no ciclo de vida de equipamentos hidrossanitários. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.12, n.3, p. 57-73, jul-set. 2012. Disponível em:
 <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212012000300005>. Acesso em: 05 abr. 2016.

KALBUSCH, A.; GHISI, E. Comparative life-cycle assessment of ordinary and water-saving taps. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 4585-4593, 2016.

KAMMERS, P. C.; GHISI, E. Usos finais de água em edifícios públicos localizados em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.6, n.1. p. 75-90, jan-mar. 2006.

KAMINAGAKURA, C. **Avaliação dos principais fatores intervenientes no consumo de água em unidades de alimentação e nutrição como subsídio para o seu uso racional**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.

- KULAY, L. A.; VIÑAS, R. S.; HESPANHOL, I. Environmental performance evaluation of hot water supplying systems for domestic use. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 2, p. 386-401, 2015.
- LASSIO, J. G. G. de; HADDAD, A. N. Life cycle assessment of building construction materials: case study for a housing complex. **Revista de la Construcción**, v. 15, n. 2, 2016.
- LEE, M.; TANSEL, B. Life cycle based analysis of demands and emissions for residential water-using appliances. **Journal of Environmental Management**, v. 101, p. 75-81, 2012.
- LEMOS, D.; DIAS, A. C.; GABARRELL, X.; ARROJA, L. Environmental assessment of an urban water system. **Journal of Cleaner Production**, v. 54, p. 157-165, 2013.
- LIAO, H.; LI, Y.; BROOKS, G. Outlier Impact and Accommodation Methods: Multiple Comparisons of Type I Error Rates. **Journal of Modern Applied Statistical Methods**, v. 15, n. 1, p. 23, 2016.
- LIMA, R. F. de S. **Potencialidades dos Wetlands construídos empregados no pós-tratamento de esgotos: experiências brasileiras**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- LIU, A.; GIURCO, D.; MUKHEIBIR, P. Urban water conservation through customised water and end-use information. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 3164-3175, 2016.
- LOPES, R. J. F.; OLIVEIRA, I. L. de; MATOS, S. N. Tecnologia da Informação como Ferramenta Empresarial para a Gestão Ambiental. *In: Congresso Internacional de Administração*, 2009, Ponta Grossa – PR. **Anais...** Ponta Grossa, 2009.
- LOPES, T. de S.; FERREIRA, D. M.; PEREIRA, R. A.; VEIGA, G. V. da; MARINS, V. M. R. de. Comparação entre distribuições de referência para a classificação do estado nutricional de crianças e adolescentes com síndrome de Down. **Jornal de Pediatria**, v. 84, n. 4, p. 350-356, 2008.
- MACHADO, A. S.; CONCEIÇÃO, D. M. S.; VIARO, V. L.; KIPERSTOK, A. Caracterização e perfil de consumo de água de um sanitário masculino da EPUFBA. *In: Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 1., 2010, Salvador – BA. **Anais...** Salvador, 2010.

MANHÃES, G. S.; ARAUJO, R. de S. Sustentabilidade nas Construções. **Humanas Sociais & Aplicadas**, v. 4, n. 11, 2014.

MARCH, J. G.; GUAL, M.; OROZCO, F. Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain). **Desalination**, v. 164, n. 3, p. 241-247, 2004.

MARINHO, M.; GONÇALVES, M. do S.; KIPERSTOK, A. Water conservation as a tool to support sustainable practices in a Brazilian public university. **Journal of Cleaner Production**, v. 62, p. 98-106, 2014.

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

MARINOSKI, A. K. **Método para avaliação do impacto ambiental da implantação de sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e água cinza em residências unifamiliars a partir da análise do ciclo de vida**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

MARINOSKI, A. K.; GHISI, E.; VIEIRA, A. S.; MENDES, T.; BITTENCOURT, D. L. Viabilidade ambiental de sistemas alternativos de água utilizando Análise de Ciclo de Vida. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 14, 2012, Juiz de Fora. **Anais ...** Juiz de Fora, 2012.

MARINOSKI, A. K.; RUPP, R. F.; GHISI, E. Environmental benefit analysis of strategies for potable water savings in residential buildings. **Journal of Environmental Management**, v. 206, p. 28-39, 2018.

MENEGASSI, L. F. de A. F. **Avaliação da aplicabilidade de indicadores de consumo como ferramentas de auxílio à racionalização do uso da água no campus universitário Trindade**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 108f p.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI); PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (IPCC); PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). **Mudança do Clima 1995: A ciência da mudança do clima**. Brasília, 2000.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI); SECRETARIA DE POLÍTICAS E PROGRAMAS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO (SEPED); COORDENAÇÃO GERAL DE MUDANÇAS GLOBAIS DE CLIMA (CGMC). **Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil**. Brasília, 2013.

MIYAZATO T.; OLIVEIRA, C. T. de A. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): aplicações e limitações no setor da construção civil. **V Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**. Recife, 2009.

MONTEIRO, R. C. de M. Viabilidade Técnica do Emprego de Sistemas tipo “Wetlands” para Tratamento de Água Cinza Visando o Reúso Não Potável. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C.; HUBELE, N. F. **Estatística aplicada à engenharia**. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 354 p.

MOORE, A. D. *et al.* Life cycle assessment of domestic hot water systems in Australia. **Renewable Energy**, v. 103, p. 187-196, 2017.

MOURAD, K. A.; BERNDTSSON, J. C.; BERNDTSSON, R. Potential fresh water saving using greywater in toilet flushing in Syria. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 10, p. 2447-2453, 2011.

MOURAD, A. L.; GARCIA, E. E. C.; QUEIROZ, G. de C.; GATTI, J. B.; COLTRO, L. (Org.); JAIME, S. B. M. **Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão**. Campinas: CETEA/ITAL, 2007. 75 p.

MUTHU, Subramanian Senthilkannan (Ed.). **The Carbon Footprint Handbook**. CRC Press, 2015.

NORGATE, T. E.; JAHANSHAH, S.; RANKIN, W. J. Assessing the environmental impact of metal production processes. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 8, p. 838-848, 2007.

NOUTSOPOULOS, C.; ANDREADAKIS, A.; KOURIS, N.; CHARCHOUSI, D.; MENDRINO, P.; GALANI, A.; MANTZIARAS, I.; KOUMAKI, E. Greywater characteristics and loadings—treatment to promote onsite reuse. **Journal of Environmental Management**, 2017.

OCHSENDORF, J. *et al.* **Methods, impacts, and opportunities in the concrete building life cycle**. MIT Concrete Sustainability Hub, 2011.

OLIVEIRA, L. H. de. As bacias sanitárias e as perdas de água nos edifícios. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 4, p. 39-45, out./dez. 2002.

OLIVEIRA, L. H. de; GONÇALVES, O. M. Metodologia para a implantação de programa de uso racional da água em edifícios. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, São Paulo: EPUSP, 1999. 14 p. Disponível em: < http://www.sef.usp.br/wp-content/uploads/sites/52/2015/08/PUERHE_%C3%81gua-BT_Oliveira.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2016.

OREGI, X.; HERNANDEZ, P.; GAZULLA, C.; ISASA, M. Integrating simplified and full life cycle approaches in decision making for building energy refurbishment: benefits and barriers. **Buildings**, v. 5, n. 2, p. 354-380, 2015.

ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 1, p. 28-39, 2009.

PAES, R. F. W. **Elaboração de projeto de aproveitamento de água de chuva, para edificação de centro de desenvolvimento tecnológico e capacitação de pessoas, com estudo de água potável poupada e viabilidade econômica de implantação**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). **Sumário para os tomadores de decisão do quinto relatório de avaliação (2014)**. Disponível em: < <http://www.iniciativaverde.org.br/biblioteca-nossas-publicacoes.php>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

PASSUELLO, A. C. B. *et al.* Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 7-20, out./dez. 2014.

PIANOSI, F., BEVEN, K., FREER, J., HALL, J.W., ROUGIER, J., STEPHENSON, D. B., WAGENER, T. Sensitivity analysis of environmental models: A systematic review with practical workflow. **Environmental Modelling & Software**, v. 79, p.214-232. 2016.

PROENÇA, L. C.; GHISI, E. Estimativa de usos finais de água em quatro edifícios de escritórios localizados em Florianópolis. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 95-108, jul./set. 2009.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

RACOVICEANU, A. I. *et al.* Life-cycle energy use and greenhouse gas emissions inventory for water treatment systems. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 13, n. 4, p. 261-270, 2007.

RIBEIRO, P. H. **Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

RISCH, E.; LOUBET, P.; NÚÑEZ, M.; ROUX, P. How environmentally significant is water consumption during wastewater treatment?: Application of recent developments in LCA to WWT technologies used at 3 contrasted geographical locations. **Water Research**, v. 57, p. 20-30, 2014.

ROEBUCK, R.; OLTEAN-DUMBRAVA, C.; TAIT, S. Whole life cost performance of domestic RWH systems in United Kingdom. **Water Environment Journal**, v. 25, p. 355-365, 2011.

ROSSI, M. A.; ELIAS, M. C. Aplicação de reuso de águas cinza em residências unifamiliar. *In: Safety, Health and Environment World Congress*, 15, 2015, Porto – PT. **Anais ...** Porto, 2015.

SADOFF, C. W.; HALL, J. W.; GREY, D.; AERTS, J. C. J. H.; AIT-KADI, M.; BROWN, C.; COX, A.; DADSON, S.; GARRICK, D.; KELMAN, J.; MCCORNICK, P.; RINGLER, C.; ROSEGRANT, M.; WHITTINGTON, D.; WIBERG, D. (2015). **Securing Water, Sustaining Growth**: Report of the GWP/OECD Task Force on Water Security and Sustainable Growth, University of Oxford, UK, 180 p.

SANTANA, V. M. **Análise ambiental e econômica de cenários de logística reversa de compressores de ar por meio da Avaliação de Ciclo de Vida**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

SAUTCHUK, C. *et al.* **Conservação e Reúso da água em Edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, jun. 2005.

SAUTCHUK, C. A.; GONÇALVES, O. M. Formulação de diretrizes para implantação de programas de conservação de água em edificações. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, São Paulo: EPUSP, 2005. 12 p. Disponível em: < http://www.pcc.poli.usp.br/files/text/publications/BT_00405.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2016.

SCHNEIDER MOTOBOMBAS. 2017. Tabela de Seleção de Bombas e Motobombas. Disponível em: < <http://www.schneider.ind.br/> >. Acesso em: 10 abr. 2017.

SHARMA, A. *et al.* Life cycle assessment of buildings: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 1, p. 871-875, 2011.

SIEGEL, S.; CASTELLAN JR, N. J. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento**. [Tradução: CARMONA, S. I. C.], ed. 2. Porto Alegre: Artmed, 2006.

SILVA, D. A. L.; CHABRAWI, A. M. R. O.; OLIVEIRA, J. A. de. Perspectivas do setor empresarial brasileiro quanto ao uso da ACV e a colaboração para o fortalecimento do SICV Brasil. **Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida**, v.1, n.1, p.112-137, 2017.

SILVA, L. M. **Estudo da demanda de água não potável e o desenvolvimento de um sistema de reúso de água cinza para habitações de interesse social**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo – Vitória, 2013.

SILVA, S. C. da. **“Wetlands Construídos” de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos**. 2007. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SILVA-AFONSO, A. *et al.* Feasibility Study of Water Saving Measures in Higher Education Buildings: A Case Study of the University of Aveiro. 2016.

SILVEIRA, M. L. G. da; COELHO, T. T.; KLAES, L. S.; SOUZA, R. de; LIZ, L. G. A. H. de. Gestão Universitária Sustentável: Estudo de Caso de Reúso de Águas Cinzas. In: **XIV Colóquio Internacional de Gestão Universitária – CIGU**. Florianópolis – SC. 2014.

SIMAPRO. 2017. Disponível em: < <https://simapro.com/about/>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

SOARES, S. R.; SOUZA, D. M. de; PEREIRA, S. W. A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil. *In*: SATTTLER, M. A.; PEREIRA, F. O. R. **Construção e Meio-Ambiente**: Coletânea Habitare. Porto Alegre: ANTAC, 2006. p. 96-127.

SOUZA, J. F.; FRAGUAS NETO, M. R.; SOUZA, M. A. S.; VENEU, D. M. Aproveitamento de água de chuva para usos não potáveis na Universidade Severino Sombra. **Revista Eletrônica TECCEN**, v. 9, n. 1, p. 35-46, 2016.
STAROSTKA-PATYK, M. New Products Design Decision Making Support by SimaPro Software on the Base of Defective Products Management. **Procedia Computer Science**, v. 65, p. 1066-1074, 2015.

SUSTENTARE, Soluções Tecnológicas. **Manual de Instruções SmartMeter FTS**. Florianópolis – SC, 2016.

TAMAKI, H. O. **A medição setorizada como instrumento de gestão de demanda de água em sistemas prediais** – Estudo de caso: Programa de Uso Racional da Água da Universidade de São Paulo. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. **A Sustentabilidade dos Materiais de Construção**. 2. ed. Minho: Tecminho, 2010.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC. Calendário Acadêmico 2017. Disponível em: < http://www1.udesc.br/arquivos/id_submenu/523/calendario_academico_2017.pdf>. Acesso em: 18 maio 2017.

VELAZQUEZ, L.; MUNGUÍA, N.; OJEDA, M. Optimizing water use in the University of Sonora, Mexico. **Journal of Cleaner Production**, v. 46, p. 83-88, 2013.

VIEIRA, A. S. **Uso racional de água em habitações de interesse social como estratégia para a conservação de energia em Florianópolis, Santa Catarina**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

VIEIRA, A. S., GHISI, E. Water-energy nexus in low-income houses in Brazil: the influence of integrated on-site water and sewage management strategies on the energy consumption of water and sewerage services. **Journal of Cleaner Production**, v. 133, 2016. p. 145-162.

VILCHES, A.; GARCIA-MARTINEZ, A.; SANCHEZ-MONTAÑES, B. Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review. **Energy and Buildings**, v. 135, p. 286-301, 2017.

WAKEEL, M.; CHEN, B. Energy consumption in urban water cycle. **Energy Procedia**, v. 104, p. 123-128, 2016.

WILLERS, C. D.; RODRIGUES, L. B.; SILVA, C. A. da. Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais. **Scielo Brasil**, São Paulo, v.23, n.2, abr./jun. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132013000200016>. Acesso em: 09 abr. 2016.

YOSHIMURA, K. S. O.; YOSHIMURA, H. N.; WIEBECK, H. Avaliação do ciclo de vida de telha ecológica à base de papel reciclado. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 7, n. 2, 2012.

ZHANG, X.; SHEN, L.; ZHANG, L. Life cycle assessment of the air emissions during building construction process: a case study in Hong Kong. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 17, p. 160-169, 2013.

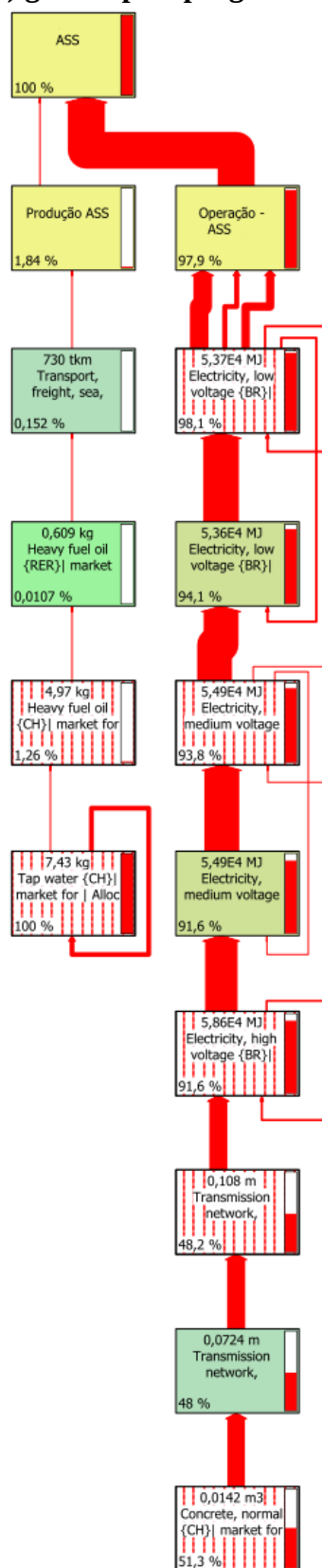
ZOLDAN, M. A. **Análise dos requisitos organizacionais para a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de produtos madeireiros**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2008.

3P TECHNIK. Disponível em: <<http://www.3ptechnik.de>>.

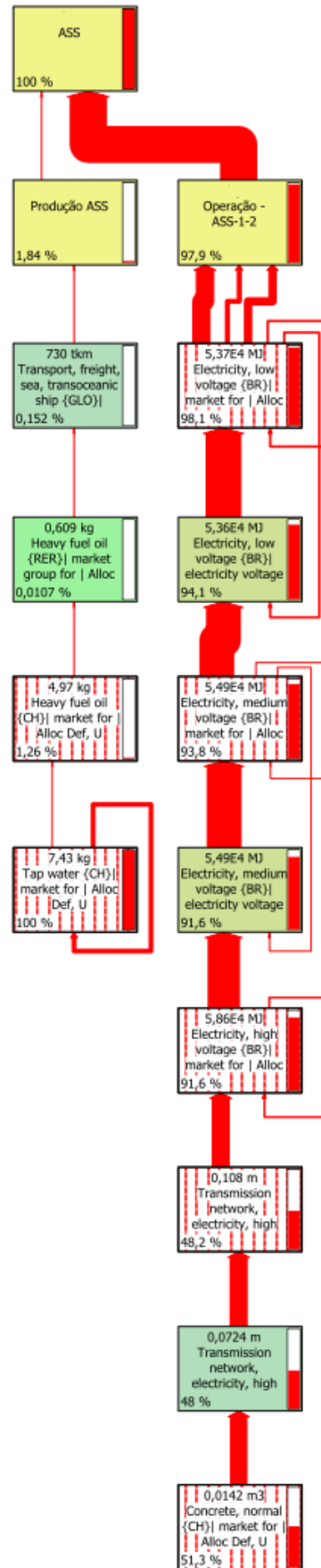
APÊNDICE A

Fluxogramas das categorias de impacto ambiental: consumo de água, consumo de energia e potencial de aquecimento global para os três cenários analisados.

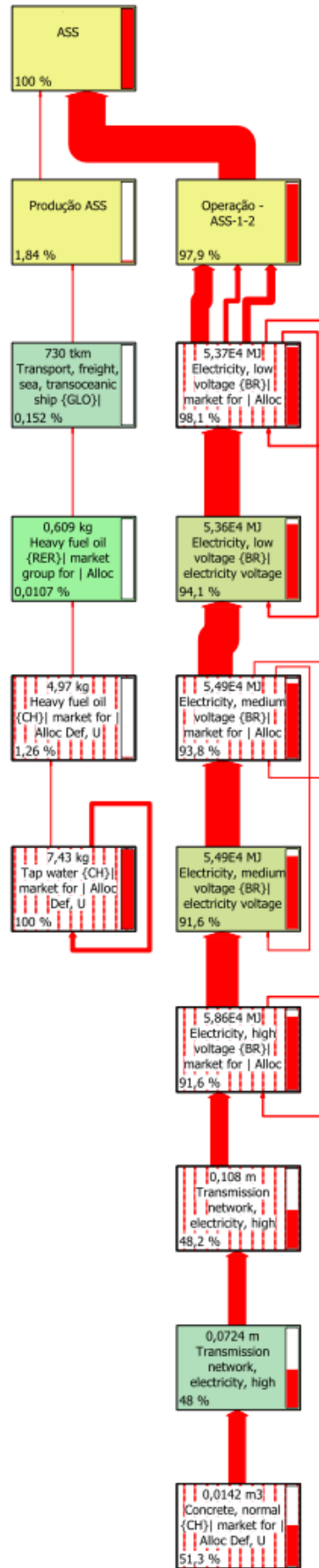
Figura A.1 – Fluxograma da categoria de impacto consumo de água para os cenários 1 (a), 2 (b) e 3 (c) gerado pelo programa SimaPro versão 8.3.0.



(a) Cenário 1

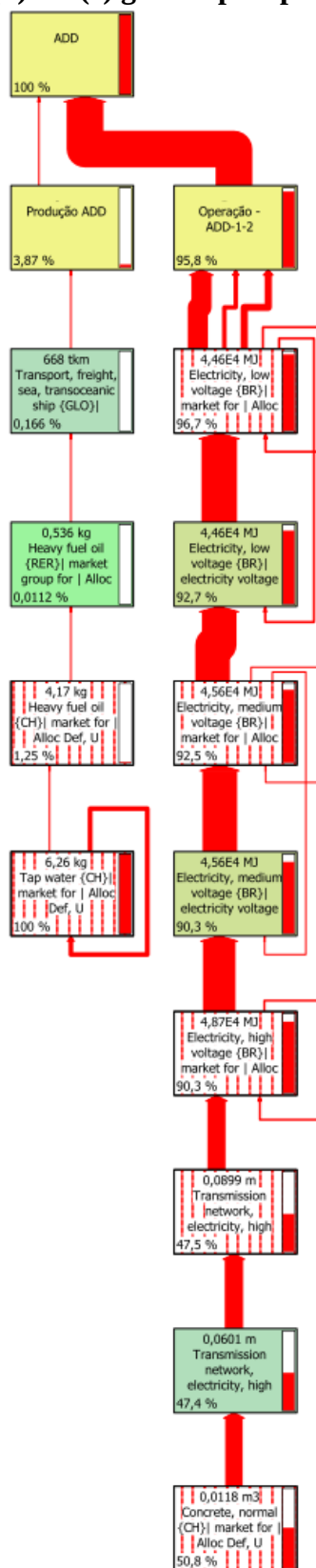


(b) Cenário 2

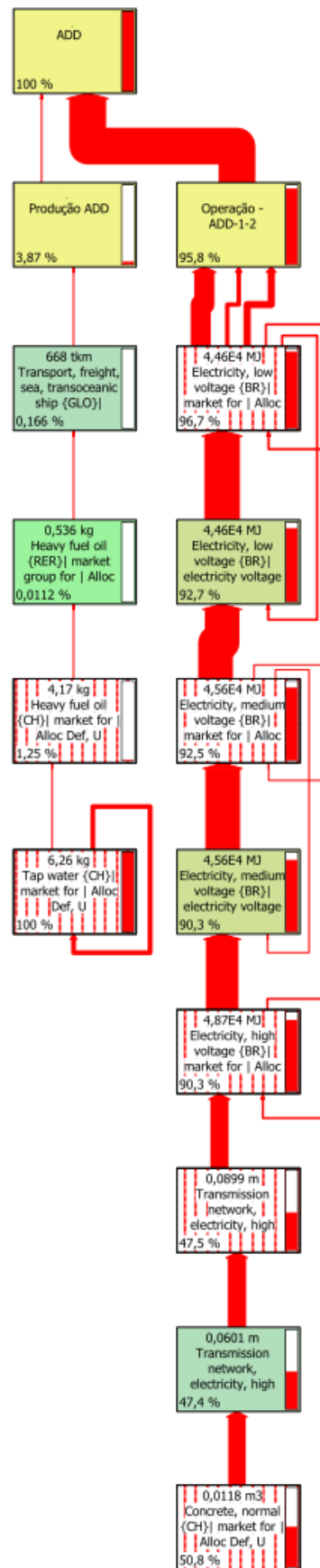


(c) Cenário 3

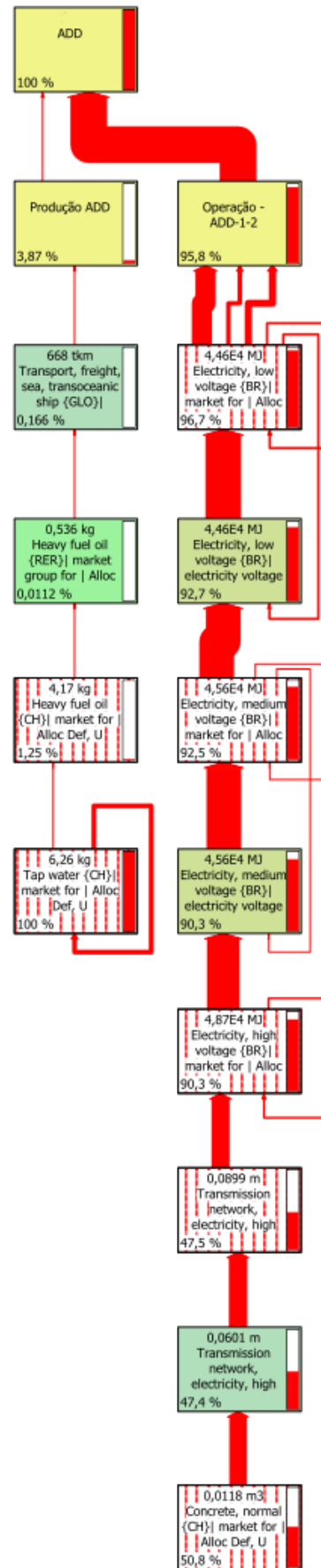
Figura A.2 – Fluxograma da categoria de impacto consumo de energia para os cenários 1 (a), 2 (b) e 3 (c) gerado pelo programa SimaPro versão 8.3.0.



(a) Cenário 1

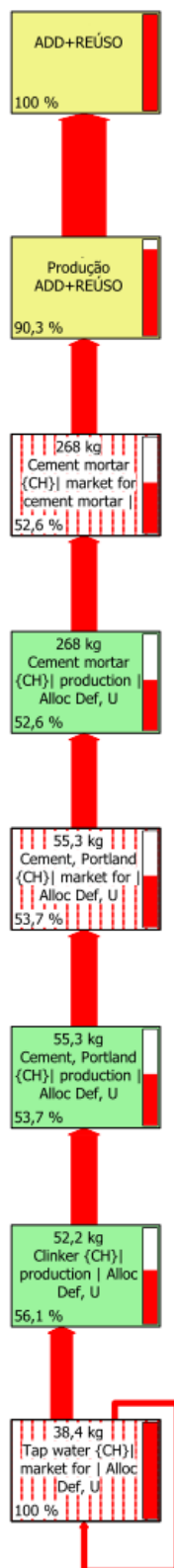


(b) Cenário 2

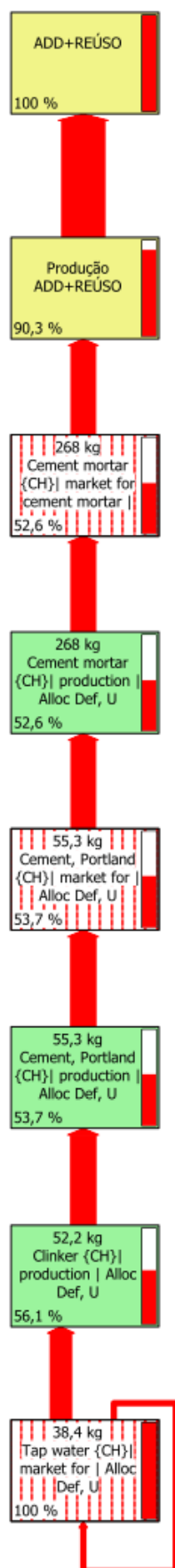


(c) Cenário 3

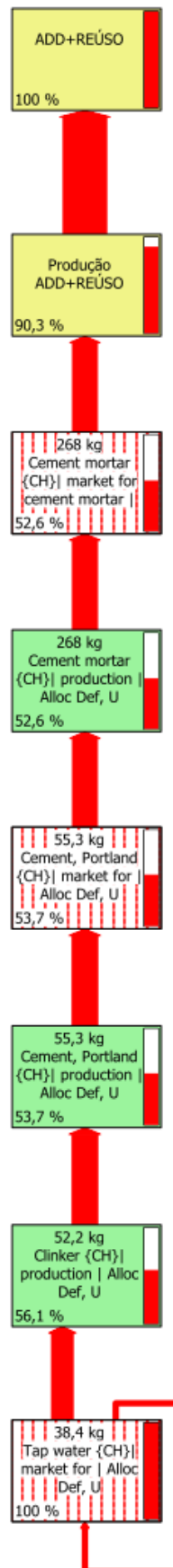
Figura A.3 – Fluxograma da categoria de impacto potencial de aquecimento global para os cenários 1 (a), 2 (b) e 3 (c) gerado pelo programa SimaPro versão 8.3.0.



(a) Cenário 1



(b) Cenário 2



(c) Cenário 3

APÊNDICE B

Quantitativo dos componentes utilizados no sistema de reúso de águas cinzas

Tabela B.1 – Quantitativo dos componentes utilizados no sistema de reúso das águas cinzas.

Descrição	Quant.	Unid.	Peso (kg/un.)	Peso total (kg)
Tubo PVC soldável para água – 60mm	13	m	0,900	11,70
Tubo PVC soldável para água – 50mm	1,5	m	0,767	1,15
Tubo PVC soldável para água – 40mm	81	m	0,420	34,02
Tubo PVC soldável para água – 32mm	10	m	0,302	3,02
Tubo PVC soldável para água – 25mm	41	m	0,189	7,75
Joelho 90° soldável 60 mm	6	unid.	0,070	0,42
Joelho 45° soldável 60 mm	2	unid.	0,060	0,12
Curva 90° soldável 60 mm	1	unid.	0,400	0,40
Tê soldável 60 mm	1	unid.	0,200	0,20
Bucha de redução soldável longa, 60x32 mm	1	unid.	0,600	0,60
Registro Gaveta 2"	1	unid.	1,740	1,74
Adaptador soldável 60mm X 2	2	unid.	0,110	0,22
Tê soldável 32 mm	1	unid.	0,060	0,06
Curva 45° soldável, 32 mm	2	unid.	0,080	0,16
Bucha de redução soldável curta, 32x25 mm	2	unid.	0,010	0,02
Tê soldável 25 mm	26	unid.	0,050	1,30
Joelho 90° soldável 25 mm	8	unid.	0,030	0,24
Joelho 90° roscável soldável 1/2"	30	unid.	0,022	0,66
Curva 90° soldável Tigre 25 mm	1	unid.	0,050	0,05
Engate flexível 1/2 X 30cm PVC	18	unid.	0,080	1,44
Nípel roscável 1/2"	36	unid.	0,010	0,36
Registro de Gaveta 3/4"	4	unid.	0,400	1,60
Cruzeta soldável 3/4"	2	unid.	0,042	0,08
Bucha de redução soldável longa, 60 x 40 mm	2	unid.	0,600	1,20
Tê soldável 40 mm	14	unid.	0,070	0,98
Joelho 90° soldável 40 mm	18	unid.	0,040	0,72
Adaptador soldável curto bolsa rosca 40 mm x 1.1/4	16	unid.	0,041	0,66
Registro de gaveta 1 ½"	4	unid.	0,888	3,55
Curva 90° soldável 40 mm	1	unid.	0,050	0,05
Registro Esfera VS soldável 50 mm	1	unid.	0,200	0,20
Registro Esfera VS soldável 40 mm	1	unid.	0,200	0,20
Joelho 90° soldável 50 mm	1	unid.	0,060	0,060
Joelho 90° soldável 40 mm	2	unid.	0,040	0,080

Tabela B.1 – Quantitativo dos componentes utilizados no sistema de reúso das águas cinzas (Continuação).

Válvula de retenção soldável 50mm	1	unid.	0,450	0,450
Válvula de retenção soldável 40mm	1	unid.	0,290	0,290
Curva 90° curta esgoto 100 mm	16	unid.	0,030	0,48
Joelho 90° esgoto 100 mm	4	unid.	0,090	0,36
Tê 100 mm esgoto	16	unid.	0,370	5,92
Joelho 90° esgoto 40mm	44	unid.	0,030	1,42
Joelho 90° para esgoto c/ anel 40mm	28	unid.	0,036	1,01
Te 90° esgoto 40mm	14	unid.	0,140	1,96
Caixa Sifonada 100x100x50mm	4	unid.	0,620	2,48
Bucha PVC longa para esgoto 50x40mm ou 2"x1.1/2"	8	unid.	0,032	0,26
Tê esgoto 50 mm	4	unid.	1,100	4,40
Junção red. simples 100x50mm	4	unid.	0,240	0,96
Joelho 45° curta de esgoto 50 mm	4	unid.	0,054	0,22
Tubulação PVC sold. esgoto 40mm	58	m	0,667	38,67
Tubulação PVC sold. esgoto 50mm	15	m	0,667	10,01
Tubulação PVC sold. esgoto 100mm	24	m	1,000	24,00
Motobomba ¼ cv	1,67	unid.	8,000	13,36
Realimentador	1,33	unid.	1,5	2,00
Conjunto Mangueira boia	1	unid.	3,2	3,20
Clorador flutuante	5,67	unid.	0,3	1,70
Reservatório superior	1	unid.	10,02	10,02
Reservatório inferior	1	unid.	10,02	10,02
Concreto (<i>wetland</i>)	0,165	m³		0,165
Argamassa assentamento	0,215	ton	----	0,215
Argamassa impermeabilizante	0,1355	ton	----	0,135
Areia (camada leito filtrante <i>wetland</i>)	0,99	ton	----	0,99
Brita (camada leito filtrante <i>wetland</i>)	0,891	ton	----	0,8910
Tijolos maciços	330	unid.	2,10	0,6930

ANEXO 1

Implantação de todos os Blocos da UDESC – CCT e localização do Bloco K.

Figura A.1 – Implantação de todos os Blocos da UDESC – CCT e localização do Bloco K.



Fonte: Adaptado Departamento de Obras – UDESC, 2017.