



# A7<sup>th</sup> Academic

INTERNATIONAL WORKSHOP  
ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

“CLEANER PRODUCTION FOR ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS”

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

GNOATTO, E. L.<sup>a</sup>, KALBUSCH, A.<sup>a,\*</sup>, HENNING, E.<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

\*Autor correspondente, [andreza.kalbusch@udesc.br](mailto:andreza.kalbusch@udesc.br)

### RESUMO

Este artigo 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 do 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 e, no terceiro cenário, analisou-se 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 e consumo de energia. As medições nos equipamentos hidrossanitários disponíveis ocorreram em duas etapas, inicialmente com acabamentos de simples acionamento e no período seguinte, com acabamentos de duplo acionamento nas válvulas de descarga. Em seguida foi realizada a avaliação dos impactos ambientais com o auxílio do programa computacional SimaPro 8.3.0. A substituição dos aparelhos de descarga reduziu o consumo de água na fase de operação das bacias sanitárias em média 26,97%. 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. O reúso da água cinza no cenário 3 diminuiu a quantidade de água consumida nas bacias sanitárias. Os resultados mostraram que é ambientalmente viável a substituição dos acabamentos de válvulas de descarga de simples acionamento por acabamentos de duplo acionamento nas bacias sanitárias do campus.

**Palavras-chave:** Avaliação do Ciclo de Vida. Acabamento de válvulas de descarga. Sistemas economizadores de água.

### 1. Introdução

O mundo está enfrentando grandes problemas ambientais como a destruição da camada de ozônio, o aquecimento global e o acúmulo de resíduos (SHARMA *et al.*, 2011). O setor da construção civil tem peso significativo e grande influência sobre o consumo total de recursos naturais e sobre as emissões lançadas no ambiente (CABEZA *et al.*, 2014) sendo responsável por impactos ambientais, tanto do ponto de vista dos materiais quanto da energia consumida (PEREZ; CABEZA, 2017). Esse setor apresenta elevados impactos ambientais pela extração de grandes quantidades de matérias-primas não renováveis,

“CLEANER PRODUCTION FOR ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS”

Barranquilla - Colombia - June 21<sup>st</sup> and 22<sup>nd</sup> - 2018

elevado consumo energético e elevadas emissões de gases do efeito estufa (TORGAL; JALALI, 2010). Em escala mundial, a indústria da construção civil consome 60% das matérias-primas extraídas da litosfera (BRIBIÁN *et al.*, 2011) e exige até 40% da demanda total de energia de um país industrializado (ASDRUBALI *et al.*, 2013).

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 (DING, 2014). A busca por esse desenvolvimento resultou em pressões ambientais crescentes visando melhorar a eficiência da utilização de recursos e reduzir significativamente a geração de resíduos e as emissões atmosféricas (NORGATE *et al.*, 2007).

Segundo Pérez e Cabeza (2017) ferramentas robustas devem ser usadas para lidar com essas questões ambientais. A Avaliação do Ciclo de Vida, aplicada no setor de construção, é uma técnica que permite avaliar o impacto do processo de construção em todos os seus estágios, podendo ser aplicada em diferentes escalas e para diferentes fins (PEREZ; CABEZA, 2017). Esse método aborda os aspectos ambientais e potenciais impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de um produto, incluindo os estágios de produção, uso e disposição final (WEILER *et al.*, 2017).

O objetivo deste artigo é avaliar os impactos ambientais de três cenários com diferentes soluções para a disponibilização de água em bacias sanitárias nos banheiros de um bloco de salas de aula de uma Universidade localizada no Sul do Brasil, por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). São analisados o consumo de água e o consumo de energia, conforme método apresentado a seguir.

## 2. Método

Neste trabalho foram analisados, por meio da ACV, três cenários (Fig.1): no cenário 1, as válvulas de descarga das bacias sanitárias possuíam acabamentos simples; no cenário 2, os acabamentos das válvulas eram de duplo acionamento e no cenário 3 foi analisada a instalação de acabamentos de duplo acionamento nas válvulas de descarga, além de um sistema de reúso da água cinza proveniente dos lavatórios nas bacias sanitárias. Essa análise ocorreu em todos os banheiros de um bloco de sala de aulas de uma Universidade no Sul do Brasil.

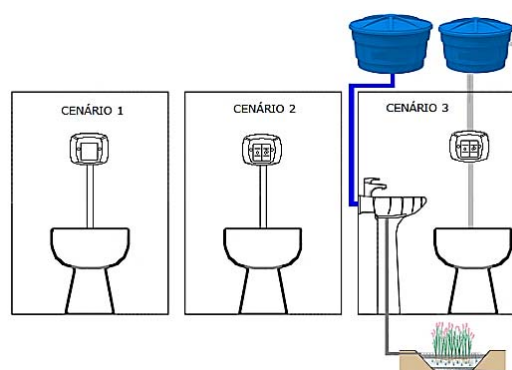


Fig. 1. Cenário analisados.

Inicialmente foram realizadas medições do volume de água consumido nos equipamentos hidrossanitários instalados nos banheiros femininos e masculinos por meio de *smart meters*. As medições foram feitas em dois períodos: com acabamentos de simples acionamento nas válvulas de descarga das bacias sanitárias, e no período seguinte com acabamentos de duplo acionamento nas válvulas de descarga. Esses acabamentos foram doados por uma empresa de Joinville – SC.

Os dados necessários para a aplicação da metodologia ACV foram fornecidos pela empresa fabricante dos acabamentos das válvulas de descarga, retirados de bancos de dados como o *Ecoinvent* e da literatura. Como apoio para o desenvolvimento do estudo de ACV dos acabamentos das válvulas de descargas foi utilizado o *software* SimaPro 8.3.0.

O período de medições com o acabamento simples foi de 27/03/2017 a 03/07/2017 e o período de medições com o acabamento duplo foi de 08/08/2017 a 22/10/2017. Nos dois períodos de medições foram excluídas as medições dos finais de semana e feriados escolares. As medições nos lavatórios ocorreram no mesmo período e com a mesma duração. 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% (FIORAVANTE *et al.*, 2006; LOPES *et al.*, 2008; LIAO *et al.*, 2016).

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. O sistema de reúso de águas cinzas foi utilizado somente nas bacias sanitárias e possuía abastecimento auxiliar por água potável.

O uso do sistema *wetland* subsuperficial de fluxo vertical para o tratamento das águas residuárias foi escolhido com base em sua alta eficiência de tratamento (HOFFMANN *et al.*, 2010), por não necessitar de habilidades operacionais muito especializadas para sua manutenção e apresentar baixo consumo energético (PLATZER *et al.*, 2007). O modelo utilizado juntamente com um sistema de desinfecção por meio do clorador flutuante também foi adotado por Marinoski *et al.* (2018).

Segundo Avery *et al.* (2007) os sistemas *wetland* são uma opção de baixa tecnologia, útil para o tratamento de águas cinzas domésticas visando a reutilização. A área do sistema de tratamento *wetland* foi calculada de acordo com a Eq.1 (VIEIRA; GHISI, 2016).

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

onde:  $A_{WET}$  é a área superficial do sistema *wetland* construído (m<sup>2</sup>),  $G_{cinza}$  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) e  $H$  é a altura útil do sistema *wetland* (mm).

As características do sistema *wetland* utilizadas 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 e Ghisi (2016). Adotou-se uma taxa de perdas devido a 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 de acordo com Vieira e Ghisi (2016), chegando a um valor de 7% do volume do afluente.

O sistema de reúso de águas cinzas é composto por um reservatório inferior e um superior, 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 *et al.* (2018).

### 2.1 Impactos ambientais considerados

O método adotado foi desenvolvido por Kalbusch e Ghisi (2016) no qual as fases do ciclo de vida consideradas se dividem em: produção, uso e disposição final. Na fase de produção foram levadas em consideração a extração dos materiais e seu beneficiamento. A fase de uso envolveu os impactos provocados pela utilização e possível manutenção até a disposição final, que englobou os impactos referentes ao descarte (KALBUSCH; GHISI, 2016).

As entradas consideradas foram os fluxos de água, energia e matérias-primas. As categorias de impactos analisadas foram consumo de água e consumo de energia total. As categorias foram selecionadas em função da sua importância ambiental e da aplicação em estudos anteriores de ACV no setor da construção civil.

O consumo de energia é uma das categorias de impacto mais analisadas, sendo avaliada em diversos estudos relacionados com a economia de água (LEE; TANSEL, 2012; WAKEEL; CHEN, 2016; CHANG *et al.*, 2017) e em estudos de ACV (ORTIZ *et al.*, 2009). O consumo de água foi avaliado pois o intuito da troca dos acabamentos das válvulas de descarga é economizar água. Além disso, algumas pesquisas

apontam a importância de se considerar o consumo de água em estudos de ACV (BRIBIÁN *et al.*, 2009; LEE; TANSEL, 2012).

### 2.2 Quantificação dos impactos ambientais

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 Eq.2, desenvolvida por Kalbusch e Ghisi (2016).

$$CA = C_{Apr} + C_{Au} + C_{Ad} \quad (2)$$

onde:  $CA$  é o consumo de água total ( $m^3$ ),  $C_{Apr}$  é o consumo de água na fase de produção do equipamento ( $m^3$ ),  $C_{Au}$  é o consumo de água na fase de uso do equipamento ( $m^3$ ) e  $C_{Ad}$  é o consumo de água na fase disposição final do equipamento ( $m^3$ ).

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 energia necessária ao transporte desses dispositivos. A Eq.3 desenvolvida por Kalbusch e Ghisi (2016) mostra o modo como o cálculo foi feito.

$$CE = EE_{pr} + CE_u + CE_d \quad (3)$$

onde:  $CE$  é o consumo de energia total (MJ),  $EE_{pr}$  é a energia embutida na fase de produção do equipamento (MJ);  $CE_u$  é o consumo de energia na fase de uso do equipamento (MJ) e  $CE_d$  é o consumo de energia na fase de disposição final do equipamento (MJ).

### 2.3 Cenários analisados

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. O horizonte de tempo de utilização do sistema considerado foi de 20 anos conforme estudos realizados na área de sistemas hidráulicos (CHANG *et al.*, 2012; VIEIRA; GHISI, 2016; MARINOSKI *et al.*, 2018).

Os três cenários são analisados em função da 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. 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).

No sistema de reúso foram considerados os consumos energéticos para provimento de água potável, para o recalque de água cinza e para a coleta e tratamento de esgoto sanitário gerado (MARINOSKI *et al.*, 2018). 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  $0,55\text{kWh}/m^3$  e em sistemas de esgotamento sanitários foi de  $0,34\text{kWh}/m^3$  (BRASIL, 2015).

Nesse estudo foram considerados 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 não levando em consideração a reciclagem dos materiais conforme adotado por Kalbusch e Ghisi (2016). Como o cenário considerado ao fim da vida útil dos acabamentos das válvulas de descarga é a disposição em aterro, o consumo de água considerado nesta etapa é o do transporte.

Para comparar as diferenças entre o consumo e frequência de acionamentos nos dois períodos 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).

### 3. Resultados e Discussão

O maior consumo de água registrado levando em consideração todos os equipamentos hidrossanitários instalados no bloco de sala de aula foi de 3112,568 litros/dia. No período inicial de medições o consumo de água no edifício como um todo foi superior ao consumo do 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.

Os consumos médios para as bacias sanitárias dos banheiros femininos e masculinos para os dois períodos de medições estão descritos na Tab.1. Houve uma diminuição no consumo de água tanto nos banheiros femininos ( $p$ -valor  $< 0,05$ ) quanto nos banheiros masculinos ( $p$ -valor  $< 0,05$ ). Os indicadores de consumo mostraram-se baixos quando comparados 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.

**Tab. 1**—Consumo médio das bacias sanitárias (BS) dos banheiros femininos (BF) e masculinos (BM) nos dois períodos de medições, desvio padrão ( $\sigma$ ) e indicador de consumo.

Equipamento	Período de medições	Consumo médio de água (L/dia)	Indicador de consumo médio (L/aluno/dia)
BS – BF	Primeiro	931,933 ( $\sigma = 344,572$ )	0,536 ( $\sigma = 0,198$ )
	Segundo	702,460 ( $\sigma = 233,199$ )	0,409 ( $\sigma = 0,143$ )
BS – BM	Primeiro	553,366 ( $\sigma = 202,909$ )	0,317 ( $\sigma = 0,118$ )
	Segundo	378,740 ( $\sigma = 168,640$ )	0,218 ( $\sigma = 0,093$ )

Apesar do consumo de água ter diminuído nas bacias sanitárias, o número de acionamentos não sofreu grandes alterações (Tab.2). Esse fato ressalta a atuação dos acabamentos das válvulas de descarga na diminuição do consumo de água nas bacias sanitárias. Os resultados são corroborados pelo Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney com  $p$ -valor = 0,9146 para as bacias sanitárias femininas e  $p$ -valor = 0,4868 para as bacias sanitárias masculinas.

**Tab.2.** Número de acionamentos das bacias sanitárias dos banheiros femininos e masculinos e desvio padrão para os dois períodos de medições e desvio padrão ( $\sigma$ ).

BACIAS SANITÁRIAS	Nº acionamentos médio (acionamentos/dia)	
	Período 1	Período 2
BF	116 ( $\sigma = 43$ )	118 ( $\sigma = 38$ )
BM	70 ( $\sigma = 26$ )	66 ( $\sigma = 27$ )

#### 3.1 Aplicação da metodologia ACV nos cenários analisados

As informações referentes aos dois modelos analisados foram obtidas junto à empresa Docol Metais Sanitários. A Tab.3 apresenta a composição dos dois tipos de acabamentos e as distâncias das matérias-primas que compõem esses acabamentos até o local de produção na cidade de Joinville –SC.

**Tab. 3.** Composição dos acabamentos das válvulas de descarga Docol.

Descrição	Composição (kg)	Distância considerada (km)
Acabamento para válvula de descarga <i>Clássica Chrome</i>	ABS – 0,124	19.000
	Latão – 0,017	527
	Elastômero – 0,00007	92
Acabamento para válvula de descarga <i>Clássica Chrome Salváguas</i>	ABS – 0,130	19.000
	Latão – 0,017	527
	Aço Inox 304 – 0,044	124
	Elastômero – 0,00007	92

De acordo com o fabricante, no processo de manufatura dos acabamentos simples e de duplo acionamento não há controle do volume de água consumido. O volume médio de água consumido

diariamente nas bacias sanitárias com acabamentos simples calculado foi de 1485,359 L/dia ( $\sigma = 528,456$  L/dia) e o volume médio consumido nas bacias sanitárias com acabamento duplo foi de 1081,204 L/dia ( $\sigma = 379,260$  L/dia). A substituição dos acabamentos das válvulas de descarga reduziu em média 26,97% o consumo de água na etapa de operação das bacias sanitárias. A média dos valores obtidos para o consumo diário de água nos lavatórios no segundo período de medições foi de 336,815 litros/dia ( $\sigma = 128,766$  litros/dia), isto representa 31,15% do volume total necessário para atender a demanda diária das bacias sanitárias com acabamentos duplos nas válvulas de descarga (cenário 3).

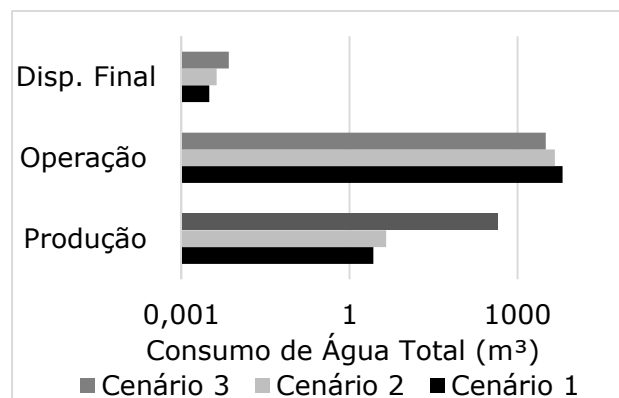
O consumo de energia elétrica fornecido pela fabricante, na fase de manufatura, foi de 0,28 kWh/unidade para o acabamento de simples acionamento e de 1,25 kWh/unidade do acabamento de duplo acionamento da válvula de descarga. A fonte energética utilizada para a produção dos acabamentos em estudo é exclusivamente elétrica.

A potência mecânica da motobomba utilizada no sistema convencional é igual a 0,75 CV. Foi considerado o consumo diário médio dos banheiros do Bloco K no período inicial igual a 2,089 m<sup>3</sup>/dia, com funcionamento de 4 horas/dia. O consumo de energia para bombeamento de água é igual a 4,370 MJ/m<sup>3</sup>. Para o segundo cenário, a motobomba era a mesma utilizada no cenário 1, sendo seu consumo de energia igual a 5,373 MJ/m<sup>3</sup> para um consumo de água diário médio de 1,699 m<sup>3</sup>. A motobomba utilizada 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 m<sup>3</sup>/dia considerado neste estudo foi de 4,517 MJ/m<sup>3</sup>.

### 3.2 Consumo de água

No cenário 1 o consumo de água total foi de 6342,673 m<sup>3</sup> no período de 20 anos, apresentando o maior consumo de água dentre os três cenários analisados. O cenário 2 apresentou um consumo de água total de 4634,514 m<sup>3</sup>, e no cenário 3 o consumo foi de 3624,007 m<sup>3</sup> para o mesmo período. A substituição dos acabamentos das válvulas de descarga de simples por duplo acionamento representa uma economia anual de 85,41 m<sup>3</sup> de água e com a implantação do sistema de reúso essa economia alcança 135,93 m<sup>3</sup> de água por ano, considerando 16 bacias sanitárias instaladas no edifício e 207 dias letivos.

O consumo de água para os 3 cenários divididos nas fases de produção, operação e disposição final (Fig.2) é apresentado em escala logarítmica. A fase de operação apresenta o maior consumo de água em todos os três cenários, consumindo 99,96% da água no cenário 1, 99,90% no cenário 2 e 87,75% no cenário 3, corroborando com o estudo realizado por Kalbusch e Ghisi (2016) onde a fase de uso foi a que apresentou maior contribuição nos dois cenários analisados.



**Fig. 2.** Consumo de água total por fase para os três cenários analisados ao longo de 20 anos.

Apesar do cenário 1 apresentar consumo 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%. O sistema de reúso reduziu o volume de água consumido no cenário 3, pois parte da água necessária para o funcionamento das bacias sanitárias era proveniente dos lavatórios. No cenário 3, a fase de produção, apresentou consumo de água superior quando comparada a essa mesma fase nos outros dois cenários. Esse fato está relacionado à maior quantidade de componentes que demandam maior quantidade de água para serem produzidos, e conseqüentemente há um maior consumo de água para o transporte.

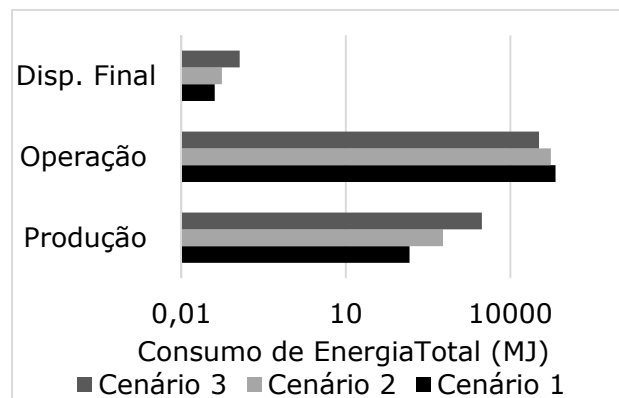
O consumo de água na fase de produção dos cenários 2 e 3, que contavam com acabamentos de duplo acionamento nas válvulas de descarga foi superior ao consumo de água nessa mesma fase do cenário 1, no qual estavam instalados acabamentos de acionamento simples nas válvulas de descarga. Os resultados foram análogos aos encontrados por Kalbusch e Ghisi (2016) em um estudo envolvendo outros equipamentos hidrossanitários.

### 3.3 Consumo de energia

O menor consumo energético para o horizonte de tempo de 20 anos ocorreu no cenário 3 (Fig.3). O cenário 1, foi o que apresentou maior consumo de energia, devido a um maior gasto energético para o bombeamento e tratamento da água utilizada e do esgoto produzido. O cenário 3 possui um sistema de reúso de água cinza que afeta diretamente o consumo de água desse cenário.

O consumo de energia total subdividido nas fases de produção, operação e disposição final está apresentado em escala logarítmica. O maior consumo de energia deu-se na fase de operação para todos os cenários analisados, que contemplava as etapas de bombeamento e tratamento da água e do esgoto produzido. Essa fase representou 99,78% de toda a energia consumida no cenário 1, 98,94% no cenário 2 e 91,73% no cenário 3.

Na 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.



**Fig. 3.** Consumo de energia total para os três cenários analisados ao longo de 20 anos.

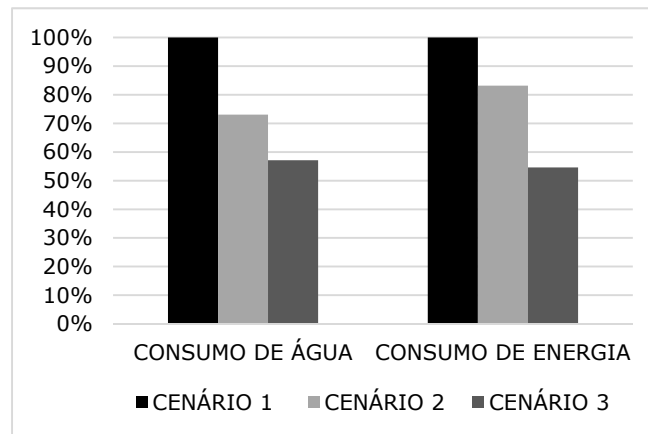
Kalbusch e Ghisi (2012) analisaram dois modelos de torneiras (convencional e com fechamento hidromecânico) e a fase de uso apresentou peso preponderante nos resultados, correspondendo a 64,60% do consumo energético da torneira convencional e 56,50% do consumo da torneira com fechamento hidromecânico.

Em estudo realizado por Lee e Tansel (2012) a produção é a etapa que mais consome energia tanto para as bacias sanitárias convencionais como para as economizadoras sendo que na produção da bacia sanitária economizadora o consumo é superior comparado à 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).

### 3.4 Comparação entre os impactos no ciclo de vida dos três cenários

O cenário 1 apresentou os maiores impactos nas categorias de impacto ambiental analisadas (Fig.4). Na categoria consumo de água o cenário 2 apresentou consumo 26,93% menor que o cenário 1. Um dos fatores que contribui para essa diferença foi a presença dos acabamentos de duplo acionamento no cenário 2. 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 água nos pontos de consumo.



**Fig. 4.** Comparação percentual entre as categorias de impacto para os três cenários analisados.

Os resultados mostraram 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 e o consumo de energia ao longo do ciclo de vida dos 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 redução na quantidade de água consumida e no consumo energético em relação ao cenário 2. 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.

#### 4. Conclusão

A escolha entre um produto e outro envolve muitas questões, entre elas as questões ambientais. A substituição dos acabamentos de válvula de descarga implicou em uma redução média de 26,97% no consumo de água na etapa de operação das bacias sanitárias. O número de acionamentos das bacias sanitárias manteve-se constante após a troca dos acabamentos, o que reforça o desempenho dos acabamentos de duplo acionamento na diminuição do consumo de água.

A análise realizada demonstrou que é ambientalmente viável a substituição dos acabamentos de válvulas de descarga de simples acionamento por acabamentos de duplo acionamento nas categorias de impacto analisadas. A fase de operação nos três cenários concentrou os maiores gastos de água e energia. O cenário que incluiu o sistema de reúso apresentou impactos ambientais menores quando comparado ao cenário 1, onde os acabamentos das válvulas de descarga instalados eram os de simples acionamento.

O estudo reforça a importância de se levar em consideração as questões ambientais e o consumo de água na escolha dos equipamentos hidráulicos prediais. A existência de um sistema de gestão dos recursos hídricos é fundamental para a economia de água em edifícios, mas outros impactos ambientais decorrentes da adoção de equipamentos economizadores de água não devem ser negligenciados.

#### Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, o Conselho Nacional Brasileiro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (número de concessão 460310 / 2014-3), à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina – FAPESC pelo apoio financeiro nesta pesquisa e à empresa Docol Metais Sanitários pela doação dos acabamentos das válvulas de descarga utilizados neste estudo.

#### Referências



- Asdrubali, F., Baldassarri, C., Fthenakis, V. 2013. Life cycle analysis in the construction sector: Guiding the optimization of conventional Italian buildings. *Energy and Buildings*, v.64, p.73-89.
- Avery, L.M., Frazer-Williams, R.A.D., Winward, G., Shirley-Smith, C., Liu, S., Memon, F.A., Jefferson, B. 2007. Constructed wetlands for grey water treatment. *Ecohydrology & Hydrobiology*, v.7, n.3, p.191-200.
- Brasil. 2015. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. Brasília, DF: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.
- Bribián, I.Z., Usón, A.A., Scarpellini, S. 2009. Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment*, v.44, p.2510-2520.
- Bribián, I.Z., Capilla, A.V., Usón, A. A. 2011. 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.
- Cabeza, L.F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G., Castell, A. 2014. 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.
- Chang, N., Qi, C., Yang, Y.J. 2012. Optimal expansion of a drinking water infrastructure system with respect to carbon footprint, cost-effectiveness and water demand. *Journal of Environmental Management*, v.110, p.194-206.
- Chang, J., Lee, W., Yoon, S. 2017. 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.
- Corominas, L., Foley, J., Guest, J.S., Hospido, A., Larsen, H. F., Morera, S., Shaw, A. 2013. Life cycle assessment applied to wastewater treatment: state of the art. *Water Research*, v.47, n.15, p.5480-5492.
- Ding, G.K.C. 2014. 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.
- Docol Metais Sanitários. 2017. Informações referentes aos acabamentos das válvulas de descarga da Docol. Mensagem recebida por <eloisegnoatto@gmail.com> em 10 mai. 2017.
- Fioravante, E.F.; Souza, L. de M. De; Dutra, E.G. 2006. Perfis Dos Proprietários De Veículos Automotores. *In: Encontro Nacional De Estudos Populacionais – Abep, 15, Caxambú – Mg. Anais ... Caxambú*.
- Headley, T.R., Davison, L., Huett, D.O., Müller, R. 2012. Evapotranspiration from subsurface horizontal flow wetlands planted with *Phragmites australis* in sub-tropical Australia. *Water Research*, v.46, n.2, p. 345-354.
- Henning, E., Konrath, A.C., Kalbusch, A., Zoldan, I.M., Correa, N.M. 2016. Aplicação de Gráficos de Controle em Redes de Abastecimento Predial de Água. *Ciência & Engenharia*, v.25, n.2.
- Hoffmann, H., Platzer, C., Winker, I.M., Von Muench, E. 2010. Constructed Wetlands for Greywater and Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries. Sustainable Sanitation and Ecosan Program of Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Germany.
- Kalbusch, A., Ghisi, E. 2012. Método para quantificação do consumo energético no ciclo de vida de equipamentos hidrossanitários. *Ambiente Construído*, v.12, n.3, p.57-73.

- Kalbusch, A., Ghisi, E. 2016. Comparative life-cycle assessment of ordinary and water-saving taps. *Journal of Cleaner Production*, v.112, p.4585-4593.
- Lee, M., Tansel, B. 2012. Life cycle based analysis of demands and emissions for residential water-using appliances. *Journal of Environmental Management*, v.101, p.75-81.
- Liao, H.; Li, Y.; Brooks, G. 2016. Outlier Impact and Accommodation Methods: Multiple Comparisons of Type I Error Rates. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, v.15, n.1, p. 23.
- Lopes, T. de S., Ferreira, D.M., Pereira, R.A., Veiga, G.V. da, Marins, V.M.R. de. 2008. 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.
- Marinoski, A.K., Rupp, R.F., Ghisi, E. 2018. Environmental benefit analysis of strategies for potable water savings in residential buildings. *Journal of Environmental Management*, v.206, p.28-39.
- Mourad, A.L., Garcia, E.E.C., Queiroz, G. De C., Gatti, J.B., Coltro, L. (Org.), Jaime, S.B.M. 2007. *Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão*. Campinas: CETEA/ITAL.
- Norgate, T.E., Jahanshahi, S., Rankin, W.J. 2007. Assessing the environmental impact of metal production processes. *Journal of Cleaner Production*, v.15, n.8, p.838-848.
- Ortiz, O., Castells, F., Sonnemann, G. 2009. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials*, v.23, n.1, p.28-39.
- 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.
- Sharma, A., Saxena, A., Sethi, M., Shree, V., Varun. 2011. Life cycle assessment of buildings: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.15, n.1, 871-875.
- Torgal, F.P., Jalali, S. 2010. *A Sustentabilidade dos Materiais de Construção*. 2. ed. Minho: Tecminho.
- Vieira, A.S., Ghisi, E. 2016. 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, p.145-162.
- Wakeel, M., Chen, B. 2016. Energy consumption in urban water cycle. *Energy Procedia*, v.104, p.123-128.
- Weiler, V., Harter, H., Eicker, U. 2017. Life cycle assessment of buildings and city quarters comparing demolition and reconstruction with refurbishment. *Energy and Buildings*, v.134, p.319-328.
- Perez, G., Cabeza, L.F. 2017. *Buildings Life Cycle Assessment*. Elsevier, p.275-290.
- Platzer, C., Hoffmann, H., Cárdua, W. 2007. The wetlands as an Ecosan component—experiences with its use and sizing in subtropical climates. P.L. Paulo (Ed.). *International Conference on Sustainable Sanitation: Food and Water Security for Latin America*, UFC/DEHA, Fortaleza-CE.