

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

DESEMPENHO AMBIENTAL DE SISTEMA DE REÚSO DE ÁGUA CINZA EM RESIDÊNCIA DE INTERESSE SOCIAL

* Renato Madeiros Campos¹
Eduardo Borges Cohim¹

ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF GRAY WATER REUSE SYSTEM IN SOCIAL INTEREST RESIDENCE

Recibido el 14 de junio de 2019; Aceptado el 18 de septiembre de 2020

Abstract

The decentralized reuse of domestic sewage, especially in urban centers, has become popular in recent years. Among the solutions that stand out, both because the reduction in water use and the volume of sewage generated, the reuse of gray water (GW) is increasingly viewed as an outlet in terms of minimizing environmental impacts. In this sense, this work had the objective of quantifying and evaluating the environmental impacts of GW reuse implementation in a social interest residence located in the city of Feira de Santana (Bahia; Brazil). The study-case was conducted for a residence from the My Home My Life Brazilian Program, using the Life Cycle Analysis tool. The impact categories used in the assessment were Cumulative Energy Demand and IPCC 100. The calculated environmental impact for the GW was $0.84 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ and $0.11 \text{ kg}\cdot\text{CO}_2\text{eq}\cdot\text{m}^{-3}$, respectively, disregarding positive impacts on sewage collection and treatment. When compared to the Integrated Water Supply System of Feira de Santana (WSS-FSA), the system proposed in this study shows a reduction of approximately 75% of the impacts, both in accumulated energy demand and in equivalent CO_2 emissions per m^3 of water delivered. For every 4.2 houses with GW reuse studied, the volume of water saved would be enough to fuel another similar residence. The reuse of GW has shown to be feasible when compared to the drinking water provided by the WSS-FSA, mainly considering the reduction in the volume of sewage generated.

Keywords: environmental impact, greywater reuse; houses, Life cycle assessment, management of water resources.

¹ Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Brasil.

* Autor correspondiente: Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Av. Transnordestina, s/n, Novo Horizonte, Feira de Santana, Bahia. 44036-900. Brasil. Email: renatocampos.ec@gmail.com

Resumo

O reúso descentralizado dos esgotos domésticos, principalmente nos centros urbanos, tem se popularizado nos últimos anos. Dentre as soluções que se destacam, tanto pela redução no uso de água quanto do volume de esgoto gerado, o reúso de água cinza (AC) é cada vez mais visto como uma saída, em termos de minimização dos impactos ambientais. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo quantificar e avaliar os impactos ambientais da implantação do reúso de AC em uma residência de interesse social, localizada na cidade de Feira de Santana (Bahia; Brasil). O caso estudado neste artigo foi o de uma residência pertencente ao programa brasileiro Minha Casa Minha Vida, tendo como ferramenta a análise ciclo de vida. As categorias de impacto usadas na avaliação foram o *Cumulative Energy Demand* e o IPCC 100. O impacto ambiental calculado para a AC foi de 0.84 kWh·m⁻³ e 0.11 kg·CO₂eq·m⁻³ respectivamente, desconsiderando os reflexos positivos na coleta e tratamento de esgoto. Quando comparado ao Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Feira de Santana (SIAA-FSA), o sistema proposto neste estudo apresenta uma redução de aproximadamente 75% dos impactos, tanto em demanda acumulada de energia quanto em emissões equivalentes de CO₂ por m³ de água entregue. Para cada 4.2 casas com o reúso de AC estudado, o volume de água economizado seria o suficiente para abastecer mais uma residência semelhante. O reúso de AC se mostrou viável quando comparado com a água potável fornecida pelo SIAA-FSA, principalmente levando em conta a redução no volume de esgoto gerado.

Palavras chave: impacto ambiental, reúso de água cinza, residência, avaliação do ciclo de vida, gestão de recursos hídricos.

Introdução

Globalmente, mais pessoas vivem em áreas urbanas do que em áreas rurais, de forma que até 2050, 68% da população mundial será urbana (UN, 2018). Apesar do aumento da urbanização ter proporcionado um avanço socioeconômico e melhorado o bem-estar social, também trouxe impactos adicionais aos recursos hídricos e ecossistemas que os sustenta (Paterson, 2015). Nesse sentido, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) adotados pelos países membros das nações unidas como metas a serem alcançadas até o ano de 2030, abordam temas relacionados à gestão de recursos hídricos, em especial no item 6.1 que visa, até 2030, reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a falta de água, aumentando a eficiência no uso deste recurso em todos os setores, incluindo o uso de fontes antes descartadas (CNODS, 2017; UN, 2015).

Sistemas centralizados para o fornecimento, coleta, transporte e tratamento de águas residuais tem sido a solução globalmente aceita por muitas décadas, garantindo melhorias necessárias para a segurança sanitária no passado. Porém, frente ao crescimento da população urbana e da escassez de recursos hídricos, a recuperação e reutilização descentralizada é cada vez mais indicada para conservar e ampliar as fontes de água disponíveis (Opher e Friedler, 2016). O próprio termo “água residual” atualmente está sendo gradualmente substituído por “água usada”, incluindo a água cinza, crescentemente vista como um recurso a ser recuperado (Ceconet *et al.*, 2019), sobretudo nas cidades.

Nesse âmbito, os edifícios têm um papel crucial na gestão sustentável da água, respondendo pela maior parte da demanda direta desse recurso (Stephan e Stephan, 2017). A redução do consumo de água é um importante indicativo de sustentabilidade nas edificações, sendo o uso de fontes alternativas uma das medidas mais importantes para o uso racional dos recursos hídricos (Marinoski, 2015). Dentre as soluções descentralizadas que se destacam na redução do consumo urbano da água e minimização dos volumes coletados e tratados de esgoto, o reúso de água cinza é considerado por muitos autores como a melhor opção em termos de redução de impactos ambientais (Gross *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2009; Matos *et al.*, 2014; Opher e Friedler, 2016).

O termo Água Cinza (AC) é usado para representar todo o esgoto produzido em uma residência, excetuando-se as águas vindas do vaso sanitário, também conhecida como água negra (Marinoski, 2015). Em geral, a AC é menos poluída do que o total de águas residuais domésticas, principalmente a vinda dos chuveiros e lavatórios, por ter baixa concentração de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), nitrogênio e fósforo (Bodnar *et al.*, 2014; Edwin *et al.*, 2014; Gross *et al.*, 2015). O tratamento e reúso local desses efluentes tem o potencial de beneficiar os usuários, reduzindo investimentos em infraestrutura e manutenção, além de reduzir a pressão sobre os corpos d'água naturais. No entanto, alguns autores alertam para os riscos e desafios em potencial que não podem ser ignorados para uma reutilização segura (Maimon e Gross, 2018; Penn *et al.*, 2017). Destacam-se os riscos microbiológicos e os aspectos estéticos relacionados principalmente à aparência (cor e turbidez) e ao odor desagradável decorrente da exaustão de oxigênio dissolvido na AC acumulada por mais de 120 horas (Silva, 2018).

Tal condição impõe a necessidade de uma estação de tratamento de água cinza (ETAC) visando adequá-la aos padrões estéticos e microbiológicos preconizados. Entretanto, estudos epidemiológicos e com o uso de análise quantitativa de risco microbiológico para avaliação do reúso de AC em irrigação e descarga de bacia sanitária demonstram que o risco é desprezível (Busgang *et al.*, 2015; Benami *et al.*, 2016; Shi *et al.*, 2018)

O reúso de AC promove tanto a redução da demanda do sistema de abastecimento de água, quanto a diminuição do volume de efluente coletado e tratado pelo sistema de esgoto público, minimizando o consumo de energia associado não apenas ao sistema de abastecimento de água, mas também à coleta, transporte e tratamento de esgoto (Marinoski e Ghisi, 2019).

Em sistemas individualizados, os *Wetlands* Construídos são os mais usados no tratamento de água cinza ou esgotos domésticos, principalmente por apresentar baixa demanda energética, operação simples e menores custos de investimento e operação, em comparação com os sistemas mais complexos (Garcia *et al.*, 2010; Rozkošný *et al.*, 2014).

No *Wetland* Construído de Fluxo Vertical (WCFV), escolhido para esta análise, a alimentação intermitente do leito filtrante promove a entrada de oxigênio atmosférico no sistema,

favorecendo a degradação aeróbia e a nitrificação (Pelissari et.al, 2013; Rozkošný *et al.*, 2014). O uso de fontes alternativas no abastecimento urbano de água, como o reúso de AC, deve se tornar uma alternativa cada vez mais viável num futuro próximo. Entretanto, soluções aparentemente sustentáveis podem não ser ambientalmente vantajosas, sendo necessário estudos que produzam indicadores ambientais, a fim de avaliar e comparar a eficiência de cada alternativa, comparando-as com a opção convencional disponível.

Nesse sentido, devido a escassez de estudos práticos semelhantes, este trabalho teve o objetivo de quantificar e avaliar os impactos ambientais da adoção do reúso de água cinza, tratada em WCFV para uma residência de interesse social localizada na cidade de Feira de Santana - BA - Brasil, ampliando as informações sobre esta tecnologia e oferecendo elementos que permitam o estudo dessa corrente como fonte alternativa de água.

Metodologia

Descrição dos objetos do estudo

Para este estudo foi escolhido um empreendimento de interesse social pertencente ao Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), que é uma iniciativa do governo federal brasileiro, visando atender ao déficit habitacional urbano para famílias com renda até R\$ 1.800,00 por mês, segundo a Caixa Econômica Federal (CEF) (CEF, 2019). Tratando-se de uma residência com dois quartos, banheiro, cozinha, sala e área de serviço, possuindo os seguintes equipamentos sanitários: 1 vaso sanitário, 1 lavatório, 1 chuveiro, 1 pia de cozinha, 1 tanque de lavar roupa e 1 máquina de lavar.

Baseado no projeto arquitetônico da residência, foram executados os projetos de instalações hidrossanitárias, tanto para o Cenário 1 (sistema convencional de instalações de água fria e esgoto sanitário), como para o Cenário 2 (coleta de esgoto prevendo separação das correntes de AC e sistema independente de abastecimento com AC tratada). As modificações objetivaram a separação de parte da AC, além da separação do abastecimento, nos pontos de vaso sanitário e uso externo. O dimensionamento das instalações foi feito de acordo com as normas brasileiras, NBR 5626/2020 e NBR 8160/1999. Os projetos foram executados com o auxílio do software *QiBuilder*, que tem como base os roteiros e parâmetros estabelecidos nas normas citadas.

Sistema de aproveitamento de AC

Na Tabela 1 são apresentados os usos finais de água em residências de padrão socioeconômico semelhante à que é analisada neste estudo. Uma característica comum à maior parte dos estudos encontrados sobre usos finais de água em residências urbanas, é um volume maior de efluente gerado no chuveiro e lavatório do que a vazão demandada pelo uso do vaso sanitário e outros (aqui entendido como uso externo). Este foi um aspecto considerado durante o dimensionamento, evitando sistemas superdimensionados.

Foram adotados os dados encontrados por Marinoski *et al.* (2014), devido à semelhança das residências estudadas com as analisadas neste trabalho. Com base nesses dados, o volume diário a ser tratado foi determinado em função do consumo dos equipamentos sanitários escolhidos, vaso sanitário com demanda de 98.8 L·dia⁻¹, usos externos com 19,9 L·dia⁻¹ e mais 10% como margem de segurança, somando 128.4 L·dia⁻¹.

Tabela 1. Usos finais de água em residências

Fonte	Chuveiro	Lavatório	Vaso sanitário	Outros	Tanque e Máquina de Lavar Roupa	Cozinha
Vieira (2012)*	24%	5%	26%	1%	26%	18%
Botelho (2013)**	17%	3%	23%	3%	42%	12%
Cunha (2013)	13%	7%	11%	8%	43%	18%
Marinoski <i>et al.</i> (2018)	30%	3%	21%	5%	18%	23%
Marinoski <i>et al.</i> (2014)***	30%	4%	20%	7%	19%	20%

Notas: * Casas com renda menor do que 3 salários mínimos; ** Valores referentes à residência R2; *** Média das residências de faixa de renda 1.

Assim, previu-se o aproveitamento da AC bruta originária do chuveiro e do lavatório, direcionando-a à ETAC e, após tratamento, encaminhando-a a um reservatório superior de reúso que alimenta a torneira de uso externo e a bacia sanitária. Todo o sistema é independente do de abastecimento de água potável, evitando-se conexão cruzada (Figura 1).

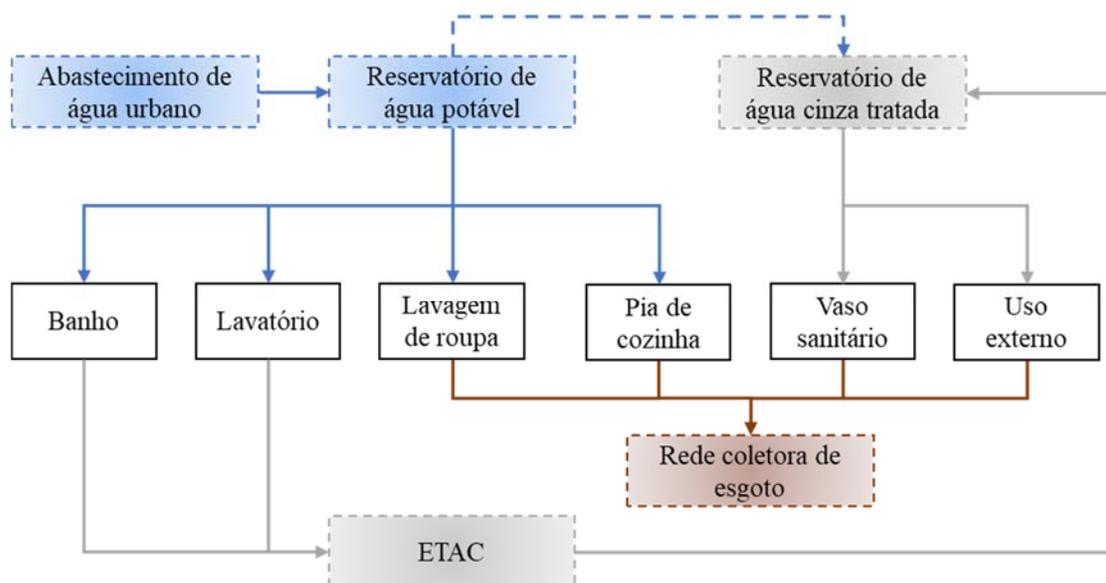


Figura 1. Fluxos hídricos na edificação

Tomando como referência o trabalho de desenvolvido por Gross *et al.* (2007), foi dimensionada uma *Wetland* Construída de Fluxo Vertical (WCFV) com recirculação, resultando em uma ETAC mais compacta do que as WCFV convencionais. A taxa de aplicação diária usada foi de $500 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, resultando em uma área superficial de 0.26m^2 .

Para a obtenção dos quantitativos de material, foram executados os detalhes construtivos, incluindo a ETAC proposta e as instalações hidrossanitárias de água fria e esgoto sanitário. Visando a diminuição do impacto ambiental gerado na etapa de implantação, foram escolhidos materiais reutilizados, tratando-se de tambores de polietileno usados como reservatório de recirculação, reservatório inferior de AC tratada e na construção da WCFV.

Como visto na Figura 2, foram necessárias duas bombas no projeto, sendo a primeira responsável pela adução da AC entre o primeiro reservatório e a WCFV. Nesse processo metade da vazão bombeada, após passar pelo leito filtrante, segue para o reservatório final enquanto o restante retorna para o início, promovendo a recirculação da AC. A segunda bomba recalca a AC tratada para o reservatório superior.

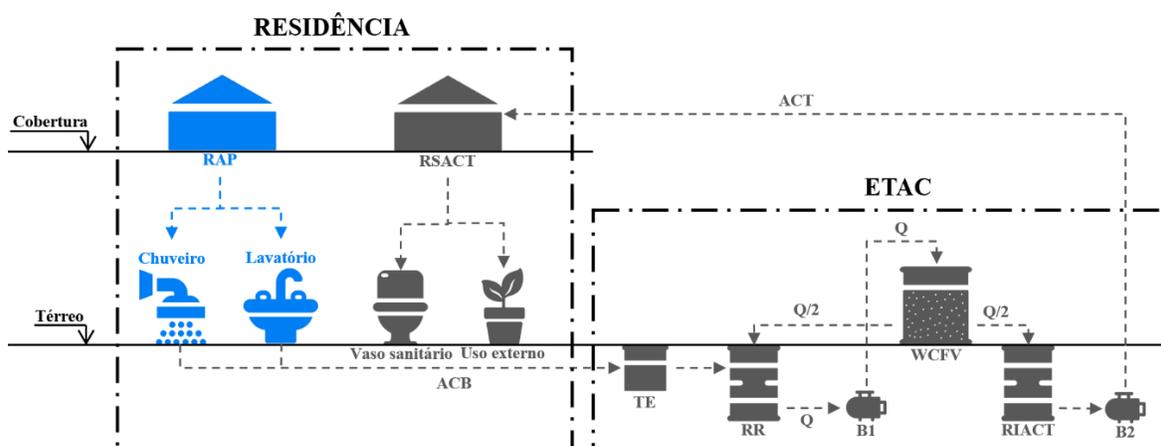


Figura 2. Detalhe construtivo da ETAC. Notas: RAP: reservatório de água potável; RSACT: reservatório superior de água cinza tratada; ACB: água cinza bruta; ACT: água cinza tratada; TE: tanque de equalização; RR: reservatório de recirculação; RIACT: reservatório inferior de água cinza tratada; B1: bomba 1; B2: bomba 2.

O tempo de funcionamento das bombas foi determinado em função do volume recalcado diariamente e da vazão estabelecida pelo fabricante. No caso da bomba 1, a vazão diária de AC foi duplicada, já que apenas metade da AC bombeada segue para o reservatório inferior de água tratada, enquanto o restante volta ao reservatório de recirculação. O leito filtrante adotado para a WCFV foi pedra britada N° 0, considerando uma troca do material por eventuais manutenções durante a vida útil do sistema.

Avaliação de impactos ambientais

Para avaliação dos impactos ambientais relacionados aos sistemas estudados, foi realizada uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) baseada nas Normas Brasileiras: NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044, com a seguinte estrutura:

- Objetivo e escopo: O estudo tem o objetivo de quantificar o impacto ambiental relacionado ao reúso de AC na residência estudada para atendimento das demandas externas e da bacia sanitária, comparando-o com o da água do sistema público, estimado por Guanais *et al.* (2017). O inventário de ciclo de vida foi elaborado considerando os acréscimos de materiais decorrentes da instalação do sistema de reúso, considerando a separação dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário além da ETAC e do sistema de recalque para o reservatório superior. A vida útil média adotada para o sistema foi de 25 anos.
- Unidade funcional: a unidade funcional escolhida foi 1 m³ de AC usada na residência, visando facilitar a comparação com a água fornecida pelo sistema integrado de abastecimento local.
- Fronteiras do estudo: Foi considerada tanto a construção quanto a operação do sistema, desde a captação, tratamento e reúso da AC, incluindo o consumo de energia elétrica e os materiais necessários para a implantação da ETAC e adequação dos sistemas hidrossanitários.
- Categorias de impacto: foram utilizadas o *Cumulative Energy Demand* (CED) que determina a energia primária incorporada em função dos fatores de ponderação presentes no banco de dados Ecoinvent e, o IPCC 100^a que verifica os efeitos cumulativos das emissões para um horizonte temporal de 100 anos, quantificando os impactos ambientais em função de kg-CO₂eq (IPCC, 2014). Os métodos escolhidos estão presentes na versão 9 do *SimaPro*, que foi usado nesse trabalho.
- Tipo e fonte de dados: os dados para elaboração do inventário foram obtidos por meio de projeto elaborado e detalhado, pesquisa bibliográfica, dados de fabricantes e medições diretas. Para cálculo da ACV o software utilizado foi o *SimaPro 9*, com dados secundários do banco de dados do Ecoinvent.

Resultados

Levando em conta o consumo diário de AC tratada, a economia gerada pelo sistema proposto seria de 42.6 m³ por ano. Este valor representou aproximadamente 24% da água tratada usada nesta residência.

Através das metodologias de ACV, foi determinado o impacto ambiental do sistema, tanto em energia incorporada quanto em CO₂ equivalente, como exposto na Tabela 2.

Tabela 2. Inventário e avaliação ambiental

Item	Unidade	Quantidade	CED (kWh)	CED	IPCC 100a (kg·CO ₂ eq)	IPCC 100a
PVC Esgoto						
50 mm	kg	3.59	91.17	17.7%	10.52	13,9%
PVC rígido soldável						
25 mm	kg	4.30	109.20	21.3%	12.60	16,6%
32 mm	kg	2.56	65.01	12.7%	7.50	9,9%
40 mm	kg	2.04	51.93	10.1%	5.99	7,9%
Bomba hidráulica						
Recalque	kg	2.40	53.40	10.4%	13.28	17,5%
Recirculação	kg	0.37	8.23	1.6%	2.05	2,7%
Reservatório						
Cilíndrico 150 L	kg	4.50	96.61	18.8%	9.03	11,9%
Construção civil						
Concreto	kg	64.32	10.79	2.1%	7.97	10,5%
Brita Nº 0	kg	504.00	20.99	4.1%	5.39	7,1%
Transporte						
Transporte de material	kg.km	12 033.38	6,51	1.3%	1.38	1,8%
TOTAL			513.86	100.0%	75.72	100.0%
Total por m ³ , incluindo a fabricação e implantação do sistema de reúso de AC (vida útil de 25 anos)			0.48	57.1%	0.07	64.8%
Energia elétrica (baixa tensão)	kWh·m ⁻³	0.17	0.36	42.9%	0.04	35.2%
Impacto total incluindo a operação			0.84	100.0%	0.11	100.0%

A participação da etapa de implantação correspondeu à maior parte do impacto ambiental, chegando a 56.4% da energia primária incorporada e 63.7% das emissões de CO₂eq, ao contrário do que foi encontrado por outros autores (Marinoski *et al.*, 2019; Silva, 2018). Ainda nesta fase, os materiais com plástico em sua composição (reservatório e os tubos de PVC), representaram 80.6% do impacto energético e 60.3% do CO₂eq, demonstrando a necessidade de otimização no uso destes materiais.

O impacto gerado na fase de operação corresponde à energia elétrica usada pelas bombas foi menor do que o associado à fase de implantação. Em termos de energia incorporada e CO₂eq, esta etapa correspondeu a 42.9% e 35.2% do impacto total respectivamente. Estes valores indicam que equipamentos mais eficientes e adequados ao porte de cada sistema podem influenciar diretamente no desempenho ambiental do processo.

Mundialmente, sistemas integrados de abastecimento de água apresentam intensidades energéticas que variam entre 0.09 kWh·m⁻³ e 6.99 kWh·m⁻³, essa grande variação é influenciada diretamente pela qualidade da água disponível e pela topologia do sistema, incluindo os desníveis

e distâncias (Lee *et al.*, 2017). Segundo Guanais *et al.* (2017), no Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Feira de Santana, a CED, demanda energética acumulada, na captação, tratamento e distribuição de água foi de $3.51 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$. Evidencia-se aqui que a AC tratada representa um percentual de cerca de 24% desse valor, demonstrando uma maior eficiência energética do reúso de AC em comparação com o sistema convencional de abastecimento, com uma redução de $2,67 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ de água.

Comparando o impacto energético encontrado a um estudo semelhante, vemos que o demonstrado, $0.84 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$, é três vezes menor do que o calculado por Silva (2018), de $2.74 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$, tratando-se de um sistema de reúso de AC em residência de padrão socioeconômico alto de Feira de Santana-BA.

Outro aspecto a ser considerado é que a parcela de AC reutilizada deixa de impactar na coleta e tratamento de esgoto, implicando em um ganho ambiental extra. Segundo Sipert *et al.* (2018), a energia primária incorporada no sistema de esgotamento sanitário de Feira de Santana - BA é de $0.76 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$, valor compatível com o de outros sistemas que variam entre $0.05 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ e $1.40 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ (LEE *et al.*, 2017).

No que concerne às emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), as vantagens do reúso de AC nas condições analisadas em relação ao uso da água do sistema público são evidentes. Observa-se que o valor encontrado, de $0.11 \text{ kg}\cdot\text{CO}_2\text{eq}\cdot\text{m}^{-3}$, quando comparado ao encontrado por Guanais (2015) para o Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Feira de Santana, $0.47 \text{ kg}\cdot\text{CO}_2\text{eq}\cdot\text{m}^{-3}$, representa uma redução de 76.6% nas emissões equivalentes de CO_2 .

Até o ano de 2019, segundo dados da CEF (2019), 18 872 residências da Faixa 1 (renda familiar de até R\$ 1.800,00 por mês) foram construídas ou entregues na cidade de Feira de Santana. Considerando um cenário de implantação de reúso de AC nestes empreendimentos, haveria uma economia de $803\,947 \text{ m}^3$ de água por ano, suficiente para abastecer de água 4 500 residências similares à avaliada neste estudo. Levando em conta a redução do custo energético associado ao fornecimento de água (Guanais *et al.*, 2017) e impacto na coleta e tratamento de esgoto (Sipert *et al.*, 2018) o ganho energético seria de 3.43 GWh por ano.

A proporção de habitações individuais e pertencentes a prédios no estado da Bahia é de, respectivamente, 92.6% e 7.4%. Tendo uma população projetada para Feira de Santana em 2018 de 609 913 habitantes e adotando um número médio de 4 pessoas por residência, tem-se número aproximado de 141 223 habitações individuais no município (IBGE, 2009; IBGE, 2010). Na Tabela 4 são apresentados os valores de economia gerados para diferentes percentuais de adesão ao reúso de AC, levando em conta os resultados encontrados neste trabalho, sua diferença em relação ao SIAA-FSA e a parcela de casas individuais estimada.

Tabela 3. Estimativa de economia por faixa de adesão das residências individuais

Economia Anual	Adesão			
	20%	30%	40%	50%
Água (1 000 000 m ³)	1.20	1.80	2.41	3.01
Energia (GWh)	3.22	4.84	6.45	8.06

Segundo IBGE (2010) 59.7% das residências possuem esgotamento sanitário adequado em Feira de Santana – BA. Considerando a redução no volume de esgoto coletado e tratado, para o cenário com 30% de adesão, teríamos ainda, uma redução anual de 0.82 GWh anualmente (SIPERT *et al.*, 2018). O número de residências da faixa de renda 1, com renda até 3 salários mínimos (Marinoski *et al.*, 2014), que poderiam ser abastecidas com o volume de água economizado seria de aproximadamente 10 000.

Os volumes calculados para a Tabela 4 consideram apenas a água tratada e entregue. No Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Feira de Santana, as perdas de água na estação de tratamento e rede de distribuição somam 50% do total captado (Guanais *et al.*, 2017). Portanto, a redução de impacto sobre o manancial local seria ainda maior, com a redução no consumo.

Conclusão

A economia anual de água gerada pelo reúso de AC na residência estudada seria de 42.6 m³. Para cada 4.2 casas com o sistema de reúso de proposto, o volume de água economizado seria o suficiente para abastecer mais uma residência semelhante.

Os indicadores ambientais mostraram que a fase de implantação corresponde à maior parte da energia incorporada, porém, a energia elétrica de operação ainda é significativa, correspondendo a aproximadamente 43% da energia incorporada à água cinza e cerca de um terço das emissões equivalentes de CO₂.

Observou-se que os materiais plásticos (tubos e reservatório superior) da fase de implantação têm influência direta no impacto ambiental dos sistemas prediais de reúso de AC, sendo: 80.6% da energia primária incorporada e 60.3% das emissões de CO₂ equivalente.

O impacto ambiental encontrado para o sistema estudado foi de 0,84 kWh·m⁻³ e 0,11 kg·CO₂eq·m⁻³. Estes valores tendem a diminuir quando levado em conta a redução de demanda na coleta e tratamento de esgoto.

Quando comparado ao SIAA-FSA, o sistema proposto neste estudo apresenta uma redução dos impactos de aproximadamente 75%, tanto em demanda acumulada de energia quanto em emissões equivalentes de CO₂ por m³ de água entregue.

O tratamento e reúso de AC pelo sistema proposto se mostrou viável quando comparado com a água potável fornecida pelo sistema integrado de abastecimento local.

Recomenda-se o estudo de edifícios com outras tipologias, aumentando o poder de análise do reúso de AC em projetos residenciais de interesse social.

Referencias bibliográficas

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009) *NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida- Princípios e estrutura*. Rio de Janeiro, disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=316462>
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009) *NBR ISO 14044: Avaliação do Ciclo de Vida: Requisitos e Orientações*. Rio de Janeiro, disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=316461>
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020) *NBR 5626: Sistemas prediais de água fria e água quente — Projeto, execução, operação e manutenção*. Rio de Janeiro, disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=454684>
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1999) *NBR 8160: Sistemas prediais de esgoto sanitário – projeto e execução*. Rio de Janeiro, disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=5234>
- Benami, M., Gillor, O., Gross, A. (2016) Potential health and environmental risks associated with onsite greywater reuse: a review. *Built Environment*, **42**(2), 212-229.
- Bodnar, I., Szabolcsik, A., Baranyai, E., Uveges, A., Boros, N. (2014) Qualitative characterization of household greywater in the northern great plain region of Hungary. *Environmental Engineering and Management Journal*, **13**(11), 2717-2724.
- Botelho, G. L. P. (2013) *Avaliação do consumo de água em domicílios: fatores intervenientes e metodologia para setorização dos usos*. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento, Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- Busgang, A., Friedler, E., Ovadia, O., Gross, A. (2015) Epidemiological study for the assessment of health risks associated with graywater reuse for irrigation in arid regions. *Science of the Total Environment*, **538**, 230-239.
- Cecconet, D., Callegari, A., Hlavínek, P., & Capodaglio, A. G. (2019) Membrane bioreactors for sustainable, fit-for-purpose greywater treatment: a critical review. *Clean Technologies and Environmental Policy*, **21**(4), 745-762.
- CEF, Caixa Econômica Federal (2019) *Minha casa minha vida – Habitação Urbana*. Acesso em 19 de maio de 2019, disponível em: <https://www.caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/Paginas/default.aspx>
- CNODS, Comissão Nacional para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (2017) *Plano de Ação 2017-2019*. Acesso em 13 de maio de 2019, disponível em: <https://bit.ly/2QNUCCp>
- Cunha, K. F. (2013) *Caracterização e monitoramento do consumo de água em habitações de interesse social*. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- Edwin, G. A., Gopalsamy, P., Muthu, N. (2014) Characterization of domestic gray water from point source to determine the potential for urban residential reuse: a short review. *Applied Water Science*, **4**(1), 39-49.

- García, J., Rousseau, D. P., Morato, J., Lesage, E. L. S., Matamoros, V., & Bayona, J. M. (2010). Contaminant removal processes in subsurface-flow constructed wetlands: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, **40**(7), 561-661.
- Gross, A., Maimon, A., Alfiya, Y., Friedler, E. (2015) *Greywater reuse*. CRC Press, USA, 1 pp.
- Guanais, A. L. R. (2015). *Avaliação energética e das emissões de gases de efeito estufa do Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Feira de Santana*. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia e Ambiental, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana.
- Guanais, A. L. R., Cohim, E. B., Medeiros, D. L. (2017) Avaliação energética de um sistema integrado de abastecimento de água. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **22**(6), 1187-1196.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2009) *Séries históricas estatísticas: características dos domicílios para o período de 2001–2009*. Acesso em 24 de maio de 2019, disponível em: <https://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=PD206>
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010) *Censo demográfico do Brasil do ano de 2010*. Acesso em 24 de maio de 2019, disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/feira-desantana/panorama>
- IPCC, Intergovernmental Panel On Climate (2014). *Climate change 2013: The physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Lee, M., Keller, A. A., Chiang, P. C., Den, W., Wang, H., Hou, C. H., Yan, J. (2017) Water-energy nexus for urban water systems: A comparative review on energy intensity and environmental impacts in relation to global water risks. *Applied Energy*, **205**, 589-601.
- Li, F., Wichmann, K., Otterpohl, R. (2009) Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the total environment*, **407**(11), 3439-3449.
- Maimon, A., Gross, A. (2018). Greywater: Limitations and perspective. *Current Opinion in Environmental. Science & Health*, **2**, 1-6.
- Marinoski, A. K. (2015) *Método para avaliação do impacto ambiental da implantação de sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e água cinza em residências unifamiliares a partir da análise do ciclo de vida*. Tese (doutorado) – Curso de Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Marinoski, A. K., Silva, A. S., Vieira, A. S., Ghisi, E. (2014). Usos Finais de Água em Habitações de Interesse Social no Sul do Brasil. *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, Maceió, Brasil, **15**, 2720-2729.
- Marinoski, A. K., Ghisi, E. (2019) Environmental performance of hybrid rainwater-greywater systems in residential buildings. *Resources, Conservation and Recycling*, **144**, 100-114.
- 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*, **206**, 28-39.
- Matos, C., Pereira, S., Amorim, E. V., Bentes, I., Briga-Sá, A. (2014) Wastewater and greywater reuse on irrigation in centralized and decentralized systems—An integrated approach on water quality, energy consumption and CO₂ emissions. *Science of the total environment*, **493**, 463-471.
- Opher, T., Friedler, E. (2016) Comparative LCA of decentralized wastewater treatment alternatives for non-potable urban reuse. *Journal of environmental management*, **182**, 464-476.
- Paterson, W., Rushforth, R., Ruddell, B., Konar, M., Ahams, I., Gironás, J., Mejia, A. (2015) Water footprint of cities: A review and suggestions for future research. *Sustainability*, **7**(7), 8461-8490.
- Pelissari, C., Descezaró, S. T., Sezerino, P. H., de Carvalho Junior, O., Wolff, D. B., & Philippi, L. S. (2013). Wetlands construídos de fluxo vertical empregado no tratamento de efluente de bovinocultura leiteira. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, **1**(2), 223-233.
- Penn, R., Schütze, M., Alex, J., Friedler, E. (2017) Impacts of onsite greywater reuse on wastewater systems. *Water Science and Technology*, **75**(8), 1862-1872.
- Rozkošný, M., Křiška, M., Šálek, J., Bodík, I., & Istenič, D. (2014). Natural technologies of wastewater treatment. *Global Water Partnership Central and Eastern Europe*.

- Shi, K. W., Wang, C. W., Jiang, S. C. (2018) Quantitative microbial risk assessment of Greywater on-site reuse. *Science of the Total Environment*, **635**, 1507-1519.
- Silva, H. D. A. (2018). *Avaliação da potencialidade no reúso doméstico da água cinza tratada para fins não potáveis*. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia e Ambiental, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana.
- Sipert, S., Cohim, E., Campos, R, Silva, H. (2019). Avaliação energética de um sistema de esgotamento sanitário: o caso de Feira de Santana-BA, p. 106-113. In: *Anais do V Simpósio Internacional de Inovação e Tecnologia*. São Paulo: Blucher. Acesso em 05 de julho de 2020, disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/avaliacao-energtica-de-um-sistema-de-esgotamento-sanitrio-o-caso-de-feira-de-santana-ba-33254>
- Stephan, A., Stephan, L. (2017) Life cycle water, energy and cost analysis of multiple water harvesting and management measures for apartment buildings in a Mediterranean climate. *Sustainable cities and society*, **32**, 584-603.
- UN, United Nations (2015) *Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento sustentável*. Acesso em 13 de maio de 2019, disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030>
- UN, United Nations (2018). *World urbanization prospects: The 2018 revision*. United Nations Department of Economics and Social Affairs, Population Division: New York, NY, USA.
- Vieira, A. S. (2012) *Uso racional de água em habitações de interesse social como estratégia para a conservação de energia em Florianópolis, Santa Catarina*. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.