



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LUCAS CAITANO DA SILVA

**ESTIMATIVA DA EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA DO
SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE CARUARU**

CARUARU

2018

LUCAS CAITANO DA SILVA

**ESTIMATIVA DA EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA DO SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE CARUARU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada junto ao Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste – CAA, da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, como requisito para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Tecnologia Ambiental

Orientador: D.Sc. Saulo de Tarso Marques Bezerra

CARUARU

2018

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

S586e Silva, Lucas Caitano da.
Estimativa da emissão de gases do efeito estufa do sistema de abastecimento de água de Caruaru. / Lucas Caitano da Silva. – 2018.
38 f. il. : 30 cm.

Orientador: Saulo de Tarso Marques Bezerra.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2018.
Inclui Referências.

1. Abastecimento de água. 2. Meio ambiente. 3. Energia elétrica. 4. Salinização. I. bezerra, Saulo de Tarso Marques (Orientador). II. Título.

CDD 620 (23. ed.) UFPE (CAA 2018-315)

LUCAS CAITANO DA SILVA

**ESTIMATIVA DA EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA DO SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE CARUARU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada junto ao Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste – CAA, da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, como requisito para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 18/12/2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. D.Sc. Saulo de Tarso Marques Bezerra (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof. D.Sc. Gilson Lima da Silva
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Profa. M.Sc. Isaura Macêdo Alves
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

*Aos meus pais,
Luciana Terezinha e Ailton Caitano,
meus exemplos de força e superação.*

AGRADECIMENTOS

À mulher da minha vida, minha mãe, Luciana Terezinha da Mata, por se dedicar incansavelmente em amar e proteger seus filhos. Ao meu pai, José Ailton Caitano da Silva, por ser fonte de inspiração e me lembrar todos os dias quem eu preciso ser. Ao meu irmão, Luan Vinicius Caitano da Silva, por ser mais que amigo, por estar presente e por me mostrar que sempre podemos ser pessoas melhores.

Aos meus avós (*In memoriam*), por estarem sempre comigo nas lembranças.

A todos os meus familiares, tios e tias, primos e primas, que de alguma forma me ajudaram nas conquistas.

A minha outra família que a vida me deu, André Medeiros, Gabriela de Omena, Mathaus Ranie, Mariana Monteiro, Nayade Torres, Thaciana Rodrigues, Thaise Suanne, Sabrina Correa e Sofia Chalegre, por acreditarem em mim, por serem meu porto seguro várias vezes, por me empurrarem a sempre continuar.

Aos meus amigos, Alice, Raquel, Ariely, Flaviane, Deborah, Sabrina S., Eylla, Joyce, Manuelle, Weberton, Elyfas, Joana, Héricles, Ayane, Maysa, Hercília, Cibele, Heglantini, Raiane, Rayra, Tulio, Vinicius, Rita e Twitter, pela parceria, pelas risadas e por me aguentar todos os dias. A Jefferson, por já ter sido um dos principais motivos de ir à universidade. A Ivaldo, por fazer parte de quem sou hoje.

Ao meu orientador Prof. D.Sc. Saulo de Tarso Marques Bezerra, por ser o principal autor da minha formação através do exemplo de profissional, nada disso seria realizado sem a sua paciência, disponibilidade e empenho.

À Profa. M.Sc. Isaura Macêdo Alves, por ser uma madrinha pra esta pesquisa, por sua solicitude, paciência e parceria ao passar todos os ensinamentos. Essa conquista também é sua.

Ao GAMA, em nome do Prof. D.Sc. Gilson Lima da Silva, por ampliar os conhecimentos a respeito do ACV através de seus cursos, palestras e pesquisas. Em especial a José Vitor e Armando, pelo suporte e apoio técnico e por não medir esforços em ajudar.

A todos que fazem parte da UFPE – CAA, desde seu corpo docente até sua administração e direção, por proporcionar uma educação cada vez mais democrática e acessível no agreste do estado.

À COMPESA, em nome do senhor José Leonardo Lemos da Silva, pelo apoio em ceder os todos os dados necessários para a realização dessa pesquisa.

A todos que de alguma forma direta ou indiretamente contribuíram para minha formação.

“Modernity has failed us”
(The 1975).

RESUMO

As mudanças climáticas estão causando alterações na quantidade e qualidade das fontes de água para abastecimento na maioria das regiões subtropicais secas do mundo. O consumo de energia elétrica exacerbado aumenta a demanda por recursos naturais e obriga os países a modificarem as suas matrizes energéticas, impulsionando a redução da produção por meio de fontes de combustíveis fósseis, responsáveis por grande parte das emissões de CO₂ na atmosfera. O setor de saneamento é um dos principais consumidores de energia elétrica e há uma lacuna em analisar os impactos provocados pelo elevado consumo através de programas que quantifiquem e busquem soluções para reduzir a degradação ambiental associada. Agir na eficiência dos sistemas de distribuição de água brasileiros, pois representa uma oportunidade significativa de redução dos custos de operação e manutenção, do consumo de energia elétrica bem como da emissão de gases de efeito estufa – GEE das empresas de saneamento. O presente trabalho tem como objetivo aplicar a ferramenta de gestão ambiental, Avaliação do Ciclo de Vida – ACV, seguindo as normas da ABNT NBR ISO 14040:2009 e NBR ISO 14044:2009, para quantificar os encargos energéticos e as emissões de GEE do sistema de abastecimento de água da cidade de Caruaru-PE. Após análise, pôde-se concluir que a etapa de maior impacto foi a captação e adução da Adutora do Prata e que o consumo de energia elétrica de 0,677 kWh para cada metro cúbico de água produzido e distribuído foi responsável por mais de 88% das emissões de GEE do sistema.

Palavras-chave: Meio ambiente. Sistema de distribuição de água. Avaliação de ciclo de vida. Energia elétrica.

ABSTRACT

Climate change can quantitatively and qualitatively distort the sources of freshwater in most dry subtropical regions of the world. Exacerbated consumption of electricity can increase demand and force the country to change the current energetic matrix and resort to production from fossil fuel sources, responsible for most of the CO₂ emissions in the atmosphere. The sanitation sector is one of the main consumers of electricity and there is an absence in analyzing the impacts caused by high consumption through programs that quantify and seek solutions to reduce the associated environmental degradation. Acting in the efficiency of the water distribution systems represents a significant opportunity to reduce the costs of operation and maintenance, the consumption of electric energy as well as the emission of greenhouse gases – GHG. The present work aims to apply the environmental management tool, Life Cycle Assessment – ACV, following the norms of NBR ISO 14040:2009 and NBR ISO 14044:2009, to quantify the energy costs and the GHG emissions of the Caruaru's water supply system. After analysis, it was possible to conclude that the stage of greatest impact was the catchment and adduction of the Prata Adductor and that the consumption of electric energy of 0,677 kWh for each cubic meter of produced and distributed water was responsible for more than 88% of the GHG emissions of the system.

Keywords: Environment. Water distribution system. Life cycle assessment. Electricity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fases da Avaliação do Ciclo de Vida	17
Figura 2: Caruaru - Pernambuco	22
Figura 3: Esquema do sistema de abastecimento de água de Caruaru-PE.....	23
Figura 4: Fluxograma da fronteira do sistema estudado	27
Figura 5: Emissões de gases de efeito estufa do SAA Caruaru em 2016.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características das EEAB da Adutora do Prata em 2016.....	23
Tabela 2: ICV dos produtos químicos para o ano de 2016	25
Tabela 3: ICV do consumo de energia elétrica para o ano 2016.....	26
Tabela 4: Resultados do consumo específico e emissão de GEE da etapa de captação.....	29
Tabela 5: Resultados do consumo específico e emissão de GEE na etapa de tratamento.....	31
Tabela 6: Resultados do consumo específico e emissão de GEE na etapa de distribuição.....	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
CAA	Campus Acadêmico do Agreste
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
EEAB	Estação Elevatória de Água Bruta
ETA	Estação de Tratamento de Água
GAMA	Grupo de Gestão Ambiental Avançada
GEE	Gases do Efeito Estufa
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
IPCC	<i>The Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos Específicos.....	15
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1	Avaliação de Ciclo de Vida	16
3.2.1	Definição	16
3.2.2	Metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida	17
3.2.2.1	Definição do Objetivo e Escopo.....	18
3.2.2.2	Análise do Inventário do Ciclo de Vida	19
3.2.2.3	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida.....	19
3.2.2.4	Interpretação dos Resultados.....	20
4.	METODOLOGIA	22
4.1	Estudo de Caso.....	22
4.2	Aplicação da ACV	24
4.2.1	Aquisição dos Dados e Inventário do Ciclo de Vida.....	25
4.2.2	Definição de Objetivo e Escopo	26
4.2.3	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida.....	27
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
6.	CONCLUSÃO	34
	REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

A mudança climática, nos próximos anos, pode reduzir significativamente a disponibilidade de água de superfície e subterrânea na maioria das regiões subtropicais secas do mundo. Além disso, pode interferir na qualidade e na vazão nos ecossistemas de água doce, uma das principais fontes de captação para abastecimento. Isto significa dizer que a mudança climática também tem efeito na qualidade da água bruta, e pode alterar a propriedade da potabilidade, requisitada para fins de abastecimento, mesmo com os tratamentos convencionais utilizados atualmente (IPCC, 2014).

Estima-se que, até 2050, mais de 4,8 bilhões de pessoas viverão em áreas que apresentam uma potencial escassez de água por pelo menos um mês ao ano. Paralelamente a essa escassez, provocada pelas mudanças climáticas, o aumento da demanda por recursos hídricos também pode piorar a situação da disponibilidade. Devido ao crescimento populacional, ao desenvolvimento econômico e às mudanças nos padrões de consumo, a demanda mundial tem aumentado a uma taxa de aproximadamente 1% por ano e continuará a aumentar de forma significativa durante as próximas duas décadas (UNESCO, 2018).

O aumento da demanda de água, também implica num aumento da demanda energética, pois energia e água são insumos que estão intrinsecamente conectados, principalmente nas suas etapas de produção. A energia é necessária para captação, distribuição e tratamento de água; enquanto a água é imprescindível na extração de combustíveis fósseis, cultivo de biocombustíveis e refrigeração das termelétricas. A dificuldade de disponibilidade e o alto custo de cada um desses recursos podem interferir na viabilidade econômica do desenvolvimento dos recursos energéticos ou hídricos. A baixa disponibilidade de água pode afetar a produção de energia em usinas hidrelétricas ou de outros recursos energéticos, analogamente, a carência energética pode inibir a captação, adução e tratamento de água nos sistemas de distribuição de água. Uma análise dessa ligação entre água e energia pode auxiliar nas decisões de gerenciamento desses recursos (HEALY *et al.*, 2015).

O aproveitamento eficiente desses recursos se faz necessário nesse cenário emblemático da disponibilidade hídrica. No Brasil, o índice de perdas de água na distribuição é de 38,1% de todo o volume produzido (SNIS, 2016). As perdas nos sistemas provocam um desperdício de energia elétrica, além do dano no faturamento para as empresas de saneamento (GOMES, 2005).

As companhias de água consomem, aproximadamente, de 2 a 10% de todo o consumo de

energia elétrica de um país (PELLI; HITZ, 2000). No Brasil, o setor de água e esgoto consome cerca de 2,5% do consumo total de eletricidade, o equivalente a mais de 10 bilhões de kWh/ano, dos quais cerca de 90% dessa energia é consumida pelos conjuntos motor-bomba (BEZERRA *et al.*, 2015). É comum que as despesas com energia elétrica dos sistemas de bombeamento ultrapassem os custos de investimento das instalações ao longo da sua vida útil. Numa análise do aspecto ambiental, a produção dessa energia desperdiçada pode acarretar na emissão desnecessária de gases de efeito estufa que causam impactos em grande escala na variação climática (SNIS, 2016).

Empresas de saneamento buscam soluções alternativas afim de contornar esse problema. Visando atingir uma redução de perdas de água e o aumento da eficiência energética, é possível que apenas com a atuação de programas de avaliação da cadeia produtiva, novas despesas com ampliação de sistemas de distribuição sejam descartadas, já que há um melhor aproveitamento da infraestrutura civil e eletromecânica existente. Além disso, esses programas se propõem também a alcançar um aumento no retorno financeiro para as empresas, pois é possível encontrar possíveis medidas para diminuir os encargos de produção de água (SNIS, 2015).

A preocupação com impactos ambientais causados por sistemas de produtos manufaturados ou serviços impulsionou uma busca por técnicas e métodos de avaliação desses sistemas. Entre as técnicas mais estudadas e utilizadas, está a Avaliação do Ciclo de Vida – ACV (ABNT, 2009a).

Essa técnica aplicada em um sistema de abastecimento de água permite melhorar a compreensão de todo o processo de produção afim de encontrar soluções econômicas para reduzir a degradação ambiental e o consumo de energia associada (PEREIRA, 2008; GUANAIS, 2015). Nesse contexto, este trabalho se faz relevante devido à contribuição científica para o entendimento da aplicação do ACV em sistema de abastecimento de água, como auxílio na busca de respostas para questões relacionadas à sustentabilidade ambiental e econômica.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Aplicar uma Avaliação do Ciclo de Vida – ACV para quantificar os impactos causados pelas etapas de captação, adução, tratamento e distribuição de água do sistema de abastecimento da cidade de Caruaru-PE.

2.2 Objetivos Específicos

- Selecionar o método mais apropriado para avaliação do SAA de Caruaru;
- Elaborar o Inventário de Ciclo de Vida (ICV) para as etapas analisadas;
- Avaliar os encargos energéticos e ambientais associados à produção e distribuição de água do sistema.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Avaliação de Ciclo de Vida

3.1.1 Definição

A Avaliação de Ciclo de Vida – ACV se destaca entre as ferramentas de gerenciamento ambiental. Pois, de acordo com Pereira (2008), Buckley et al. (2011) e Gutierrez (2014), indica os impactos ao meio ambiente causados durante todo ou parte de um ciclo de vida ou cadeia de produção de um bem ou serviço, a depender da abordagem escolhida, por meio do levantamento e quantificação da energia e dos materiais necessários (entradas) e dos resíduos e emissões liberados ao meio ambiente (saídas).

A ACV ao ser usada como instrumento de gestão, aponta as melhorias no ciclo de vida analisado e permite que o responsável decida a melhor alternativa a ser escolhida considerando o desempenho ambiental e aspectos técnicos (GUTIERREZ, 2014). Essa técnica ainda permite uma comparação quantitativa entre diferentes sistemas que possuem a mesma função, para isso os resultados são todos relacionados com uma única unidade funcional, sendo o ACV um dos mais abrangentes métodos para avaliar o desempenho ambiental dos bens e serviços (MERON *et al.*, 2016; PITUCO, 2017).

Para os sistemas de abastecimento de água, a metodologia se aplica em diferentes etapas da cadeia de abastecimento de água, podendo incluir desde a produção (captação, tratamento e dessalinização), distribuição e consumo, até a coleta, tratamento e recuperação de águas residuais (MERON *et al.*, 2016).

De acordo com Brondani (2014), há várias possibilidades para a aplicação de ACV em um sistema; não se restringindo apenas a uma análise geral de toda a cadeia de impactos de um processo, este modo de avaliação é conhecido como “do berço-ao-túmulo”, porém o ACV pode também ser realizada em quaisquer partes do ciclo de vida. As abordagens podem ser:

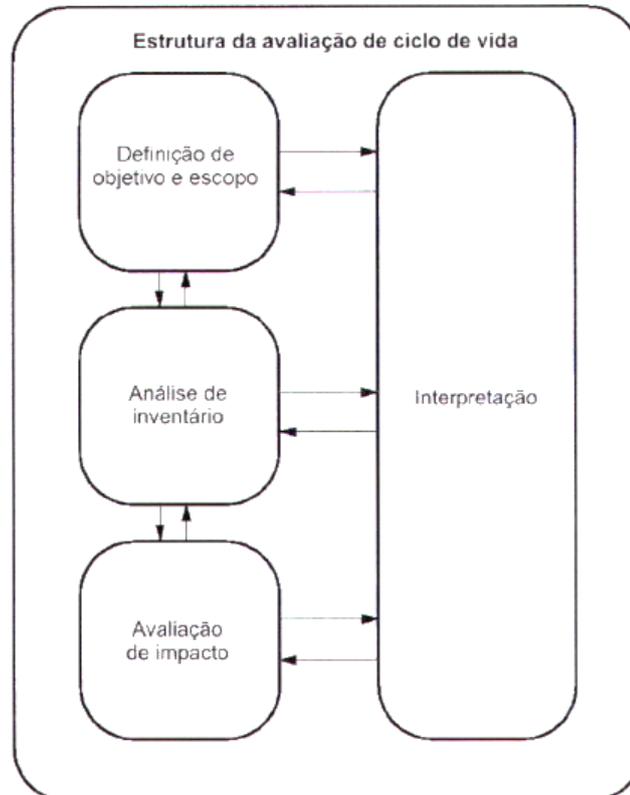
- **“Do berço-ao-portão” (*cradle-to-gate*):** nesse caso o escopo que envolve desde a extração de recursos, incluindo algumas operações de fabricação ou operações de serviço, mas exclui todas as fases subsequentes ao sistema produtivo ou operacional;
- **“Do portão ao túmulo” (*gate-to-grave*):** escopo que inclui processos de distribuição, consumo e o descarte final do produto.

- **“Do portão ao portão” (gate-to-gate):** escopo que envolve um processo em que todas as fases de produção ocorrem dentro de um local que pode ou não ser geometricamente especificado. Mas no caso de dados genéricos, a especificação geográfica pode ser mais geral. Não estão incluídos os processos que acontecem fora dos portões do local definido;
- **“Do berço-ao-túmulo” (cradle-to-grave):** abrange todas as etapas do ciclo de vida, desde a extração de matérias primas até a disposição final do produto.

3.1.2 Metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida

A metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida, regulamentada pela NBR ISO 14044:2009b, está estruturada em quatro fases: I) definição do objetivo e escopo; II) análise do inventário; III) avaliação de impactos; e por fim, IV) interpretação de resultados. A estrutura está ilustrada conforme a figura 1:

Figura 1: Fases da Avaliação do Ciclo de Vida



Fonte: Adaptado NBR ISO 14040:2009

A ACV é uma metodologia aprovada para a avaliação dos possíveis impactos dos sistemas econômicos ao meio ambiente, devido as suas duas essenciais propriedades: a de abrangência, pois é possível analisar todo o ciclo de vida, do berço ao túmulo, relacionado ao sistema estudado; e o de análise multicritérios, já que possibilita avaliar uma multiplicidade de impactos ambientais (ELORRI *et al.*, 2014).

3.1.2.1 Definição do Objetivo e Escopo

A definição do objetivo irá direcionar as ações que irão ser realizadas. Para isso, alguns aspectos devem estar incluídos, de forma clara, nessa definição, são elas: os propósitos pretendidos, as razões para realização do estudo, o público-alvo (a quem se pretende comunicar os resultados do estudo) e qualquer outro aspecto considerado relevante para a definição (BRONDANI, 2014).

O escopo concerne na aplicabilidade do estudo, ou seja, a depender do objeto e do uso pretendido, será definido de onde os dados serão coletados, como poderão ser atualizados, como as informações podem ser manejadas e onde os resultados poderão ser aplicados. O sistema de produto, a sua função e – no caso de estudos comparativos dos sistemas – a sua unidade funcional são parâmetros importantes que precisam ser considerados e estabelecidos para se descrever a fronteira do sistema e o nível de detalhamento presentes no escopo (NBR ISO 14044/2009; BRONDANI, 2014).

A função do sistema está estritamente ligada à sua unidade funcional. Esses parâmetros descrevem e quantificam a finalidade que o produto desempenha na sociedade. Essa unidade básica servirá de referência e guiará a normalização dos dados de entrada e de saída do sistema, ou seja, o consumo de recursos e os efeitos ambientais do produto serão apresentados para uma mesma unidade funcional. O que torna sua escolha de extrema importância, pois permite que as comparações entre produtos e processos sejam consideradas na mesma base (PEREIRA, 2008).

De acordo com Pereira (2008), as fronteiras do sistema estabelecem as etapas que serão consideradas no estudo, bem como os seus processos e os fluxos ambientais de entrada e de saída. A aquisição de matéria prima, processamento, uso, reuso e reciclagem e tratamento dos resíduos são todas as etapas incluídas em um ciclo de vida ideal. Entretanto, a falta de disponibilidade de dados ou recursos, pode limitar a inclusão de algumas dessas fases durante a definição escopo. Assim, os processos incluídos e excluídos devem ser definidos nesta etapa.

Devido ao caráter iterativo do ACV, o objetivo e o escopo do estudo podem ser reavaliados e sofrer alterações devido a limitações ou restrições não previstas, ou ainda complementações como resultado de informações adicionais. Todas as modificações ocorridas e suas justificativas precisam ser documentadas (NBR ISO 14044/2009).

3.1.2.2 Análise do Inventário do Ciclo de Vida

A coleta de dados e informações de caráter ambiental relacionados ao gasto de energia, emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos derivados da produção de um produto, isto é, as entradas e saídas de um sistema, compõem o Inventário do Ciclo de Vida – ICV (ABNT 2009).

Os procedimentos para coleta desses dados podem variar a depender do escopo definido, da unidade de processo, ou ainda da aplicação finalidade pretendida do estudo. Há duas possibilidades para a origem dos dados coletados: diretamente dos locais de produção, em registro de produção dentro das fronteiras do sistema; ou podem ser coletados da literatura, em artigos científicos e literatura técnica ou de outros estudos de ACV (ABNT 2009; BRONDANI, 2014).

Segundo Brondani (2014), o ICV deve ser iniciado com a preparação de uma esquematização por meio de um fluxograma do sistema em estudo, contendo cada etapa do processo. Dessa forma o recolhimento dos dados de entrada e saída do sistema para cada uma das etapas fica mais claro. O que se obtém por fim é uma lista com os consumos de energia e de materiais e as quantidades de emissões poluentes ao meio ambiente para a unidade funcional do escopo.

3.1.2.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida

A Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida – AICV é a terceira fase de uma ACV, deve ser planejada com cautela afim de cumprir com o objetivo do estudo. Nesta se avaliam os resultados dos indicadores para diferentes categorias de impacto decorrentes das entradas e saídas presentes no inventário. O conjunto de resultados irá representar o perfil de AICV, que por traduzir em problemas ambientais, possibilita reduzir a complexidade e o volume de dados inventariados (NBR ISO 14044:2009; GUANAIS, 2015).

Pereira (2008) diz que embora o inventário já forneça resultados bastante consideráveis quanto aos impactos decorrentes do processo, é essencial a sua análise visando realizar uma comparação mais coerente. A AICV consiste em alguns elementos obrigatórios, utilizados para identificação e seleção das categorias de impactos ambientais, classificação e devida caracterização, e elementos opcionais usados para normalização e ponderação.

A NBR ISO 14044:2009 elucida ainda que os elementos obrigatórios traduzem os resultados do ICV em indicadores de categorias e agrupam entre as categorias de impacto escolhidas, já os elementos opcionais servem para normalizar e ponderar os resultados do indicador por meios de técnicas mais subjetivas de análise de qualidade dos dados.

Conhecidos como métodos da AICV, os modelos de caracterização possuem aspectos particulares e podem ser realizados em dois tipos de abordagem: *midpoint* (ou clássico) e *endpoint* (ou de danos). No *midpoint* todos os resultados listados do ICV são reunidos em categorias de impacto conforme uma mesma característica semelhante a cadeia de causa e efeito do mecanismo ambiental; já a modelagem *endpoint* fundamenta-se em caracterizar as implicações das categorias de *midpoint* (ou categorias intermediárias) em danos no ponto final do percurso ambiental, ou seja, conecta os resultados do inventário com o respectivo impacto sobre as áreas de proteção final como o homem, fauna e flora (CAVALETT *et al.*, 2013; GOEDKOOPT; SPRIENSMA, 2001).

Esses métodos estão presentes nos softwares destinados a estudos de ACV. Entretanto, por não existir uma metodologia definitiva para definir o método mais adequado para a AICV pretendida, a escolha deverá ser feita com base nas questões ambientais associadas ao ciclo de vida desde que sejam relevantes ao objetivo do estudo (GUANAIS, 2015).

3.1.2.4 Interpretação dos Resultados

A quantificação final é realizada durante a etapa de interpretação dos resultados obtidos, a quarta e última fase da ACV. De acordo com a NBR ISO 14040:2009, a interpretação é definida como a fase na qual as apurações da análise do inventário e da avaliação de impacto combinadas com a definição do escopo e objetivo, de forma coerente, possibilitam alcançar conclusões e recomendações.

Para Guanais (2015), esta fase precisa ser realizada em interação com as três anteriores. Dessa forma, caso os resultados das fases prévias não forem convenientes com o objetivo e âmbito, previamente definidos, deverão, portanto, sofrer alterações incluindo desde melhorias

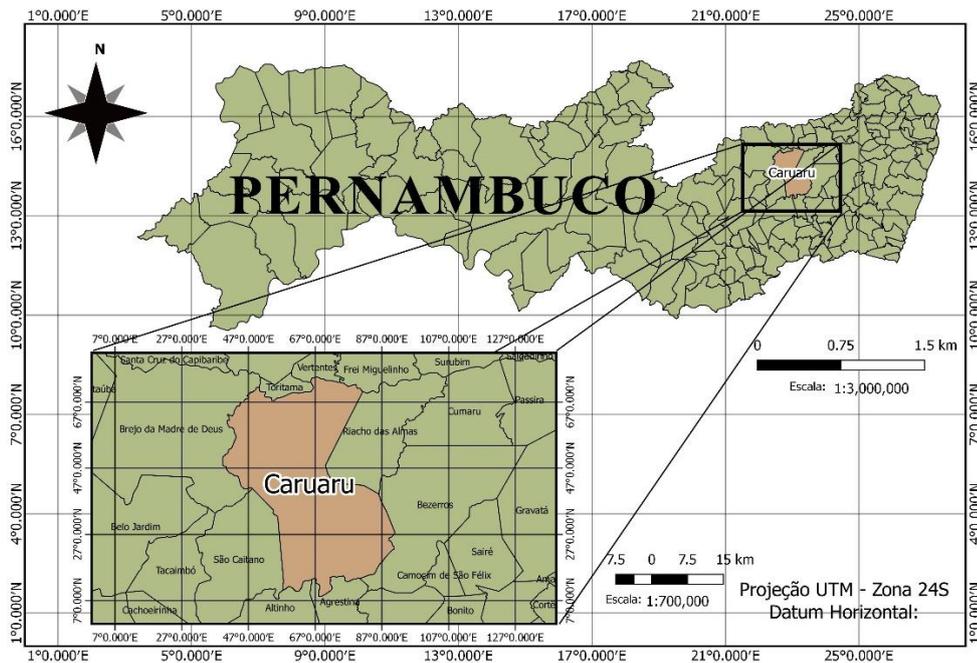
no inventário, na coleta de dados ou mudanças nos limites. Após as adequações pertinentes, a interpretação e o estudo de impacto se repetem como processos interativos até que obtenha resposta compatível com o objetivo e escopo definido.

4. METODOLOGIA

4.1 Estudo de Caso

A cidade de Caruaru está cerca de 130 km a oeste do Recife. Inserida na bacia hidrográfica do Rio Ipojuca e do Rio Capibaribe, Caruaru, de clima semiárido, apresenta verões quentes e secos e invernos brandos com chuvas consideráveis. A empresa responsável pelo abastecimento da cidade é a Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA. A captação de água é feita nas bacias do rio Capibaribe, do Una e, recentemente, do rio Pirangi, enquanto a etapa de tratamento se concentra na mesorregião do agreste de Pernambuco e na microrregião do Vale do Ipojuca.

Figura 2: Caruaru - Pernambuco



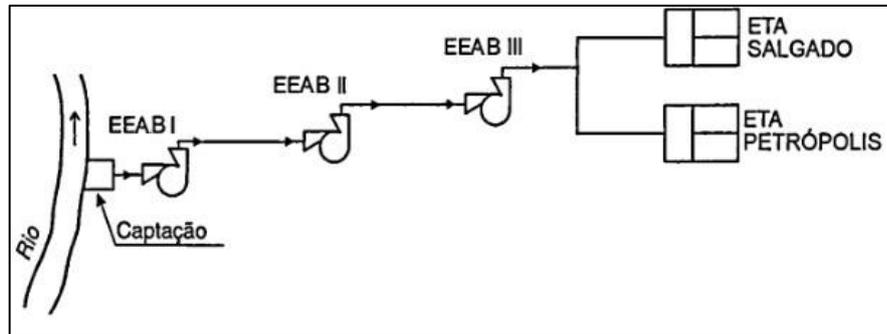
Fonte: Autor

O estudo de caso corresponde aos subsistemas de captação e tratamento do principal sistema de abastecimento de água de Caruaru (Figura 2), que é composto pelo reservatório do Prata, adutora do Prata e as duas estações de tratamento de água – ETA Petrópolis e ETA Salgado. A vazão de captação, em 2016, pelo sistema foi de aproximadamente 700 L/s.

O reservatório do Prata está na cidade de Bonito, no agreste do estado, e possui capacidade de armazenamento de 42,1 milhões de m³. A barragem foi construída em 1998 no

rio Una, inserida em uma bacia hidrográfica de 151 km² (COMPESA, 2016). Em 2016, o reservatório foi responsável pelo abastecimento de cerca de 550 mil pessoas em 6 cidades: Agrestina, Altinho, Cachoeirinha, Caruaru, Ibirajuba, Santa Cruz do Capibaribe.

Figura 3: Esquema do sistema de abastecimento de água de Caruaru-PE



Fonte: Autor

A captação do sistema é feita por gravidade em uma adutora de 100 metros de comprimento levando até a primeira Estação Elevatória de Água Bruta – EEB1, localizada próxima a barragem. A partir deste ponto, o sistema de adução do Prata é feito por recalque, onde há o transporte de água bruta para a segunda Estação Elevatória de Água Bruta – EEB2 e em seguida para a terceira Estação Elevatória de Água Bruta – EEB3, e por fim, para as duas Estações de Tratamento de Água – ETA Petrópolis e ETA Salgado. Algumas características das estações elevatórias estão apresentadas na tabela a seguir.

Tabela 1: Características das EEAB da Adutora do Prata em 2016

Unidade	Quantidade de conjuntos motor-bomba	Fabricante	Modelo	Potência (CV)	Altura Manométrica (m)
EEAB I	3 + 1 Reserva	Motor Gevisa / Bomba KSB	KSB RDL 300/500	750	98,00
EEAB II	3 + 1 Reserva	Motor Gevisa / Bomba Flowserve	Flowserve, 10LNH 22	750	95,92
EEAB III	3 + 1 Reserva	Motor Gevisa / Bomba Flowserve	Flowserve, 10LNH 22	750	130,00

Fonte: Autor, adaptado Compesa (2016)

A crise hídrica do ano de 2015, provocou o colapso da barragem de Jucazinho em novembro do mesmo ano. Em 2016, para manter o abastecimento da cidade, a Companhia necessitou operar apenas com o sistema Adutor do Prata. Este conjunto de estações elevatórias, inserido no sistema de abastecimento de água da cidade de Caruaru, apresenta uma das dez maiores despesas com energia elétrica para a empresa, segundo dados fornecidos pela própria empresa COMPESA (2016). Isto aponta a necessidade em analisar os impactos causados pelo consumo energético dessas unidades.

O tratamento da água bruta é realizado em etapas convencionais de clarificação (coagulação, floculação, decantação e filtração), desinfecção e reservação, por fim, segue para a etapa de distribuição. Os produtos químicos utilizados foram: Sulfato de Alumínio (coagulante) e o Cloro (desinfetante).

4.2 Aplicação da ACV

O trabalho adotou como procedimentos metodológicos as etapas normatizadas pelas NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) e NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b). Através do *software* de ACV desenvolvido pela empresa holandesa Pré Consultant, SimaPro 8.4.1.4 (licença Faculty), realizou-se os cálculos necessários, seguindo a metodologia descrita pela ISO 14040/2009. Este *software* – bastante utilizado em estudos de ACV aplicados a SAA, como em Guanais (2015), Mahgoub et al. (2010), Lemos et al. (2013), Barjoveanu et al. (2014) e Alves (2018) – permite modelar o processo estudado, implantando um inventário (seja a partir dos bancos de dados de ACV disponíveis ou criado pelo próprio usuário manualmente) e calculando os impactos por meio de diferentes métodos de AICV (PILLOT et al., 2016).

A licença do *software* foi adquirida pelo Grupo de Gestão Ambiental Avançada (GAMA). O grupo GAMA foi fundado em 2010 e desenvolve atividades de pesquisa e extensão na área de gestão ambiental, principalmente nas áreas de: sustentabilidade ambiental e qualidade, mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL), inventário de emissões atmosféricas, tratamento de efluentes industriais, sistemas de gestão ambiental, gerenciamento de resíduos sólidos, projetos de ecoeficiência e educação ambiental.

Este estudo se caracterizou pela avaliação do tipo “Do berço-ao-portão” (*cradle-to-gate*), ou seja, o objetivo do estudo foi analisar uma parte do processo, desde a extração de recursos proveniente da etapa de captação, tratamento até a distribuição pronta para o consumo, mas

exclui-se todas as fases seguintes, como uso, coleta e tratamento de esgoto e emissão de esgoto tratado.

4.2.1 Aquisição dos Dados e Inventário do Ciclo de Vida

A coleta dos dados operacionais do sistema de abastecimento de água em estudo foi realizada diretamente com a empresa responsável, a COMPESA, por meio de relatórios internos, e destes foram retiradas informações a respeito do consumo de energia elétrica e os produtos químicos para elaborar o inventário conforme a fronteira do sistema.

Inventário de Ciclo de Vida dos produtos químicos das ETA

Para o ICV dos produtos químicos utilizados pelas duas ETA, foram levados em consideração a quantidade e o tipo utilizado durante o tratamento de água ao longo do ano de 2016. De acordo com a própria COMPESA, os produtos utilizados nos processos de tratamento foram Cloro Liquefeito e Sulfato de Alumínio.

Através do banco de dados no *Ecoinvent* – o qual agrupa informações a respeito do material existente, energia, processos, transporte e equipamentos utilizados em um processo – foi obtido a quantidade de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) proveniente do tipo e da quantidade de produto químico utilizado em quilograma por metro cúbico de água tratada (Kg/m³). Os dados inventariados e analisados pelo *Ecoinvent* incorporam ao processo a energia consumida na fabricação desses produtos e, portanto, as emissões de GEE consequentes, informações consideradas na etapa da AICV. A seguir encontra-se os processos inseridos no *software* SimaPro e a quantidade inventariada.

Tabela 2: ICV dos produtos químicos para o ano de 2016

Produto Químico	Processo no SimaPro	Quantidade	Unidade
Cloro Liquefeito	<i>Chlorine, liquid {GLO} market for Alloc Def, U</i>	203.400	kg
Sulfato de Alumínio	<i>Aluminium sulfate, powder {GLO} market for Alloc Def, U</i>	1.212.290	kg

Fonte: Autor

Inventário de Ciclo de Vida da energia elétrica consumida

Para o ICV do consumo de energia elétrica, os dados foram adquiridos das estações elevatórias de água bruta e das unidades setoriais das estações de tratamento para o ano de 2016. A partir dos dados fornecidos pela COMPESA foi possível formular o inventário do consumo energético em cada etapa do processo, conforme tabela 3.

Tabela 3: ICV do consumo de energia elétrica para o ano 2016

Etapa do processo	Processo no SimaPro	Quantidade	Unidade
Captação	<i>Electricity, medium voltage {BR} market for Alloc Def, U</i>	37.356.198	kWh
Tratamento	<i>Electricity, medium voltage {BR} market for Alloc Def, U</i>	3.828.891	kWh
Distribuição	<i>Electricity, medium voltage {BR} market for Alloc Def, U</i>	14.000	kWh

Fonte: Autor

4.2.2 Definição de Objetivo e Escopo

De acordo com as normas da série NBR ISO 14040:2009, uma das etapas da aplicação da ACV é a definição do objetivo e escopo. Devido ao caráter subjetivo e iterativo de uma metodologia de ACV, o objetivo e escopo podem ser alterados durante a realização do estudo, mas deve-se atentar para que permaneçam consistentes com a aplicação pretendida (ALVES, 2018).

Objetivo da ACV

Para a aplicação pretendida desta pesquisa, estabeleceu que o objetivo foi avaliar os potenciais impactos de aquecimento global associados ao ciclo de vida do sistema de abastecimento de água da cidade de Caruaru-PE.

Escopo da ACV

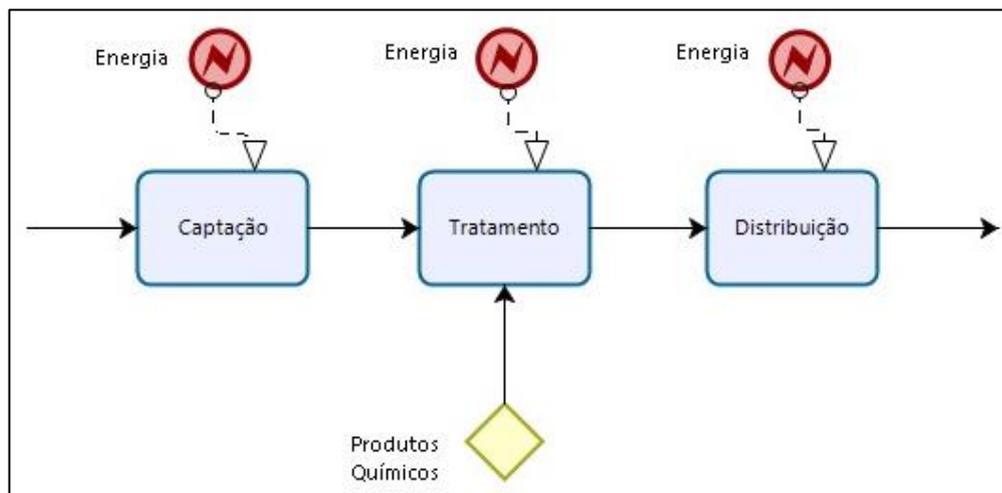
Sistema Estruturado – O escopo tem como sistema estudado um sistema de abastecimento de água, nas etapas de captação, adução, tratamento e distribuição composto pelas adutoras, estações elevatórias e estações de tratamento de água.

Função – O sistema analisado tem como função captar e tratar água para abastecimento da cidade de Caruaru.

Unidade Funcional – A unidade funcional analisada foi estabelecida como o volume de 1 metro cúbico de água captada e tratada.

Fronteira do Sistema – foram avaliados os impactos decorrentes da fase de captação de água de operação das ETA e de distribuição, etapas que delimitam a fronteira do sistema (Figura 3) e que incluem o consumo de energia elétrica e a utilização de produtos químicos para o ano de 2016.

Figura 4: Fluxograma da fronteira do sistema estudado



Fonte: Autor

4.2.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida

Os modelos de caracterização são conhecidos como métodos de AICV que apresentam metodologias e características específicas. Apesar da escolha do método ser subjetiva quanto a análise que pretende realizar, o conjunto específico de categorias de impacto é a característica mais importante para a etapa de AICV (LOPES, 2014; ALVES, 2018).

Os métodos utilizados para a AICV foram o de CML-IA (*baseline*) versão 4.2 e Demanda Acumulada de Energia (*Cumulative Energy Demand – CED*) versão 1.09, que operam em acordo com a série de normas da ISO 14040.

A Intensidade Energética, um dos indicadores de impacto escolhidos, é calculada por meio do banco de dados do *Ecoinvent* utilizando o método de cálculo da Demanda de Energia Acumulada. Este método permite quantificar o consumo energético primário direto do *software* SimaPro, e representa o todo o conteúdo energético utilizado de todos os diferentes recursos energéticos (renováveis e não renováveis) (FRISCHKNECHT et al., 2015). A Intensidade Energética será apresentado para cada etapa do sistema em unidades de kWh/m³.

O método CML-IA, criado em estudos feitos por cientistas holandeses do Centro de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden, permite uma análise com um vasto número de categorias de impacto, sendo uma vantagem por se apresentar robusto (ALVARENGA et al., 2012). Entre as principais estão: Acidificação, Eutrofização, Aquecimento Global, Depleção de Recursos Abióticos, Depleção da Camada de Ozônio, Ecotoxicidade, Toxicidade Humana, Uso do Solo, Oxidação Fotoquímica, Radiação Ionizante e Formação Fotoquímica de Ozônio. A escolha deste método é motivada por oferecer a melhor prática para os indicadores de *midpoint* (CAVALETT et al., 2013) e apresentar um modelo de caracterização e categorias de impacto condizentes com objetivo deste estudo. Entretanto, a categoria de impacto de *midpoint* escolhida foi apenas a Mudança Climática, pois resulta na emissão de GEE associado a unidade funcional, o qual resume o contexto desta aplicação de ACV e objetivo deste trabalho.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De posse do inventário, utilizou-se o *software* Simapro® e a base de dados do Ecoinvent v3.3 para calcular os resultados do estudo e avaliar a Demanda Acumulada de Energia (apresentados como valores de Intensidade Energética) e os impactos através do método de análise CML-IA (*baseline*). Apresenta-se a seguir a última etapa da ACV, os resultados obtidos e discussão.

A captação do sistema de abastecimento de água de Caruaru, por meio de uma vazão média de 0,7 m³/s, obteve um volume total captado de 22.075.200 m³ em 2016. Como nesta etapa do SAA, há apenas o bombeamento realizado pelos conjuntos motor-bomba das estações elevatórias e o consequente consumo de energia elétrica, a única entrada de recurso no sistema é a eletricidade. O consumo de energia elétrica apenas desta etapa representou 90,67% de todo sistema, e uma correlação de 1,69 kWh/m³, o que resultou em uma intensidade energética – ou seja, consumo energético primário – de 1,75 kWh/m³, conforme apresentado na tabela 4.

Tabela 4: Resultados do consumo específico e emissão de GEE da etapa de captação.

CAPTAÇÃO								
Saída conhecida para a esfera tecnológica. Produtos e co-produtos								
Água Captada	Quantidade						Unidade	
	22.075.200						m ³	
Entradas conhecidas da natureza (recursos)								
Material	Quantidade	Unidade	Correlação	Unidade	Intensidade Energética	Unidade	Emissão de GEE correlacionada	Unidade
Eletricidade	37.356.198,00	kWh	1,692	kWh/m ³	1,75	kWh/m ³	0,317	kCO ₂ eq/m ³

Fonte: Autor

Esses resultados são compatíveis com outros casos próximos, como os apresentados em Guanais (2017) para o SAA de Feira de Santana, que apresentou uma demanda acumulada de energia de 1,11 kWh/m³. A alta porcentagem também é apontada no estudo realizado por Mass (2009), no qual os sistemas de água da Califórnia apresentaram expressivos consumos de energia devido à alta demanda energética para captar e transportar a água por maiores distâncias e alturas.

Segundo a COMPESA (2016), o índice de perdas de água no sistema foi de 12,19%, portanto o volume de água tratado no ano de 2016 é menor que o volume captado, 19.383.485

m³. Como o SAA de Caruaru conta com duas Estações de Tratamento de Água, os resultados obtidos para esta etapa serão analisados individualmente.

A ETA Petrópolis se apresentou como a principal estação de tratamento durante o ano analisado com 71,48% de todo volume de água tratado. Entretanto, a proporção do consumo de energia para a etapa tratamento se demonstrou um pouco maior, sendo 82,66% destinada para esta unidade. Essa estação foi responsável pela emissão de 1.306.866 kgCO₂eq, o que corresponde a 76,54% do montante associado ao tratamento. Os valores para ETA Petrópolis estão reunidos na tabela 5.

Tabela 5: Resultados para a etapa de tratamento ETA Petrópolis

TRATAMENTO - ETA Petrópolis						
Saída conhecida para a esfera tecnológica. Produtos e coprodutos						
Água Tratada	Quantidade					Unidade
	13.855.824					m ³
Entradas conhecidas da natureza (recursos)						
Material	Quantidade	Unidade	Correlação	Unidade	Emissão de GEE correlacionada	Unidade
Eletricidade	3.164.986	kWh	0,228	kWh/m ³	0,043	kgCO ₂ eq/m ³
Cloro Líquido	144.000	kg	0,010	kg/m ³	0,013	kgCO ₂ eq/m ³
Sulfato de Alumínio	879.140	kg	0,063	kg/m ³	0,039	kgCO ₂ eq/m ³

Fonte: Autor

Já a ETA Salgado, de acordo com informações da própria COMPESA, por ter sido interligada ao sistema apenas após o colapso de Jucazinho, tem menor participação no tratamento e nos encargos. Como nesta etapa, não há índice de perdas, a ETA Salgado realizou o tratamento dos 28,52% do volume de água restante. Sua demanda energética é menor também, 17,34%. Quando analisados os encargos energéticos necessários para tratar um metro cúbico de água, a ETA Salgado apresenta maior eficiência energética, com 0,120 kWh/m³, em comparação ao 0,288 kWh/m³ da ETA Petrópolis, conforme mostrados na tabela 6. As emissões resultantes foram de 400.602 kgCO₂eq no ano de 2016.

Tabela 6: Resultados para a etapa de tratamento ETA Salgado

TRATAMENTO - ETA Salgado			
Saída conhecida para a esfera tecnológica. Produtos e coprodutos			
Água Tratada	Quantidade		Unidade
	5.527.661		m ³
Entradas conhecidas da natureza (recursos)			

	Quantidade	Unidade	Correlação	Unidade	Emissão de GEE correlacionada	Unidade
Eletricidade	663.905	kWh	0,120	kWh/m ³	0,023	kgCO ₂ eq/m ³
Cloro Líquido	59.400	kg	0,011	kg/m ³	0,013	kgCO ₂ eq/m ³
Sulfato de Alumínio	333.150	kg	0,060	kg/m ³	0,037	kgCO ₂ eq/m ³

Fonte: Autor

Considerando a média ponderada entre as Estações de Tratamento, devido a diferença entre volumes tratados, para esta etapa de modo geral, a emissão total correlacionada com a unidade funcional foi de 0,088 kCO₂eq para cada metro cúbico de água tratado pelo SAA de Caruaru. A maior participação na emissão é determinada pelos produtos químicos utilizados, cerca de 58% das emissões advém do insumo de produtos químicos consumidos. Estudos como os de Lopes (2014) e Guanais (2015) atribuem a justificativa desses resultados ao banco de dados utilizado, pois a quantificação das emissões de GEE desses insumos foram feitos a partir dos dados globais, ou seja, com uma matriz energética que difere a da matriz estudada. A Intensidade Energética para a etapa de Tratamento é apresentada na tabela 7.

Tabela 7: Resultados do consumo específico e emissão de GEE na etapa de tratamento.

TRATAMENTO - GERAL								
Saída conhecida para a esfera tecnológica. Produtos e co-produtos								
Água Tratada	Quantidade						Unidade	
	19.383.485						m ³	
Entradas conhecidas da natureza (recursos)								
Material	Quantidade	Unidade	Correlação	Unidade	Intensidade Energética	Unidade	Emissão de GEE correlacionada	Unidade
Eletricidade	3.828.891	kWh	0,198	kWh/m ³	0,223	kWh/m ³	0,037	kCO ₂ eq/m ³
Cloro Líquido	203.400	kg	0,010	kg/m ³			0,013	kCO ₂ eq/m ³
Sulfato de Alumínio	1.212.290	kg	0,063	kg/m ³			0,038	kCO ₂ eq/m ³

Fonte: Autor

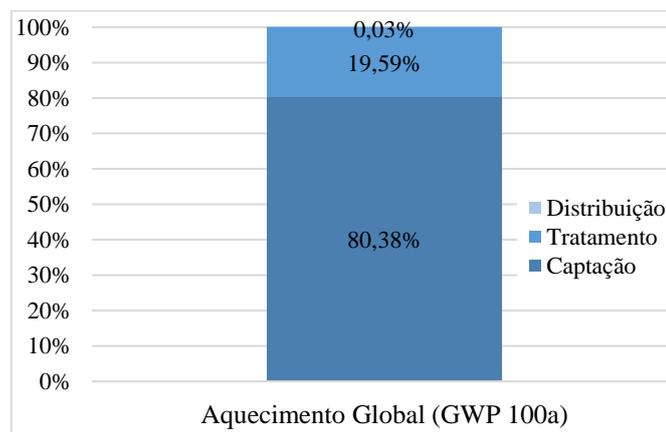
A etapa de distribuição apresenta o menor consumo de energia elétrica devido à vantajosa localização das estações de tratamento na cidade, o que permite que a maior parte da distribuição seja realizada por gravidade. Como indicado na tabela 8, a cada metro cúbico de água distribuído apenas 0,00075 kWh é demandado. A consequência disso é uma baixíssima emissão na operação do sistema de distribuição que, no ano de 2016, resultou em 2.626 kgCO₂eq.

Tabela 8: Resultados do consumo específico e emissão de GEE na etapa de distribuição.

DISTRIBUIÇÃO								
Saída conhecida para a esfera tecnológica. Produtos e co-produtos								
Água Distribuída	Quantidade						Unidade	
	19.383.485						m ³	
Entradas conhecidas da natureza (recursos)								
Material	Quantidade	Unidade	Correlação	Unidade	Intensidade Energética	Unidade	Emissão de GEE correlacionada	Unidade
Eletricidade	14.000,00	kWh	0,00072	kWh/m ³	0,00075	kWh/m ³	0,000135	kCO ₂ eq/m ³

Fonte: Autor

O sistema de abastecimento de água de Caruaru no ano de 2016 emitiu um total de 8.717.795 kgCO₂eq devido a produção e distribuição. A porcentagem de participação de cada etapa está apresentada na figura 5. O alto consumo na etapa de captação resultou em uma emissão de Gases do Efeito Estufa de mais de 80% da emissão total, sendo assim a etapa de maior impacto ambiental para o sistema de abastecimento de água de Caruaru. Esses resultados são coerentes com outros estudos como Barjoveanu *et al.* (2014), Jeong *et al.* (2015) e Sambito e Freni (2017) que apontam a baixa eficiência energética dos sistemas de bombeamento como a causa dos maiores impactos.

Figura 5: Emissões de gases de efeito estufa do SAA Caruaru em 2016.

Fonte: Autor

Para mensurar o impacto causado pelo total de emissões, de acordo com Lacerda (2009), para neutralizar 1 tonelada de CO₂ da atmosfera em 20 anos seria necessário o plantio de 7,14

árvores, ou seja, para o caso do SAA de Caruaru, estima-se a necessidade de mais 62 mil árvores para haver a neutralização desse total em 20 anos.

Considerando a média ponderada, já que a cada etapa a entrada de volume de água é diferente devido as perdas associadas, a cada metro cúbico captado, produzido e distribuído até os consumidores, há um consumo específico de energia de 0,677 e emissão correlacionada de 0,143 kCO₂eq. Os valores são próximos aos obtidos no estudo realizado por Alves (2018), a diferença pode ser justificada devido às diferenças do método de análise, versão do banco de dados Ecoinvent e do *software* SimaPro.

6. CONCLUSÕES

A Avaliação de Ciclo de Vida se destaca como uma ferramenta para o gerenciamento sustentável dos seus processos. Esta metodologia possibilita aos tomadores de decisão encontrar melhores alternativas para diminuição do impacto de um sistema de abastecimento de água.

O estudo confirmou que o alto consumo de energia elétrica é o grande responsável por mais de 88% das emissões de GEE do SAA de Caruaru. Dessa forma, é até intuitivo atribuir à etapa de captação, por apresentar maior encargo energético na produção, como a que apresenta maior encargo ambiental. Isso indica que atuar no aumento da eficiência energética dos sistemas de bombeamento pode implicar numa diminuição do impacto ambiental.

Na etapa de tratamento, a ETA Petrópolis apresentou maior emissão relativa na produção do metro cúbico, em relação a ETA Salgado. O estudo comprovou que a ETA Petrópolis emitia aproximadamente o dobro para produzir a mesma quantidade de água. Sendo assim, pode ser visto como uma desvantagem, em caráter ambiental, destinar maior volume de tratamento para essa unidade de tratamento.

Como a distribuição ao consumidor ser por gravidade, esta etapa apresentou o menor encargo energético do sistema e, portanto, apresentou o fator de emissão relativo. Assim, a distribuição pode ser considerada a etapa de menor impacto.

Os resultados demonstraram que o aumento da eficiência energética dos processos de produção e distribuição de água é imprescindível para o desenvolvimento sustentável do agreste pernambucano. Uma alta demanda de energia elétrica, a depender da matriz energética, acarreta na emissão de gases de efeito estufa. São essas emissões que causam impactos em escala global na variação climática. Ou seja, a não utilização sustentável do recurso energético pode, por consequência, agravar ainda mais a escassez hídrica e diminuir a fonte de abastecimento a população.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro. 2009a.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044**: Avaliação do Ciclo de Vida: Requisitos e Orientações. Rio de Janeiro: 2009b.
- ALVARENGA, R. A. F. de; SILVA JÚNIOR, V. P. da; SOARES, S. R. Comparison of the ecological footprint and a life cycle impact assessment method for a case study on Brazilian broiler feed production. **Journal of Cleaner Production**, v. 28, p. 25-32, 2012.
- ALVES, I. M. **Avaliação Energética e Ambiental do Ciclo de Vida de um Sistema de Abastecimento de Água**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru: 2018.
- BARJOVEANU, G. A.; COMANDARU, I. M.; RODRIGUEZ-GARCIA, G.; HOSPIDO, A.; TEODOSIU, C. Evaluation of water services system through LCA. A case study for Iasi City. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, n. 19, p. 449-462, 2014
- BEZERRA, S; T. M.; SILVA, S. A.; GOMES, H. P.; SALVINO, M. M. Energy Savings in Pumping Systems: Application of a Fuzzy System. **Ciência & Engenharia**, v. 24, p. 71-78, 2015.
- BRONDANI, M. **Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) da Produção de Bioetanol Hidratado em Pequena Escala: Abrangência Agrícola e Industrial**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria: 2014.
- BUCKLEY, C.; FRIEDRICH, E.; VON BLOTTNITZ, H.. Life-cycle assessments in the South African water sector: A review and future challenges. **Water Sa**, v. 37, n. 5, p. 719-726, 2011.

CAVALETT, O.; CHAGAS, M. F.; SEABRA, J. E. A.; BONOMI, A. Comparative LCA of ethanol versus gasoline in Brazil using different LCIA methods. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, p. 647-658, 2013.

COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento. **Diagnóstico técnico-operacional do SSA de Caruaru/PE**. Sistema Jucazinho e Prata. Junho, 2016.

ELORRI, I.; DALLE, A.; TIRUTA-BARNA, L.; BENETTO, E.; BAUDIN, I.; MERY, Y. Life Cycle Assessment of water treatment: what is the contribution of infrastructure and operation at unit process level? **Journal of cleaner production**, v. 65, p. 424-431, 2014.

FRISCHKNECHT, R.; WYSS, F.; BÜSSER KNÖPFEL, S.; LÜTZKENDORF, T.; BALOUKTSI, M. Cumulative energy demand in LCA: the energy harvested approach. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, n. 7, p. 957-969, 2015.

GOEDKOOP, M.; SPRIENSMA, R. The eco-indicator 99: A Damage rial ethod for Life Cycle Impact Assessment – Methodology Report. **Pré Consultants**, 2001. 132p. Disponível em: <<http://www.pre.nl>>. Acesso em: julho. 2018.

GOMES, H. P. Eficiência hidráulica e energética em saneamento. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental Rio de Janeiro-RJ**, 2005.

GUANAIS, A. L. S. R. **Avaliação Energética e das Emissões de Gases de Efeito Estufa do Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Feira de Santana**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana: 2015.

GUTIERREZ, K. G. **Análise e gerenciamento de impactos ambientais no tratamento de esgoto doméstico mediante avaliação de ciclo de vida**. Universidade Federal de Minas Gerais. Tese de Doutorado. Belo Horizonte: 2014.

HEALY, R. W.; ALLEY, W. M.; ENGLE, M. A; MCMAHON, P. B.; BALES J. D. **The water-energy nexus: an earth science perspective**. US Geological Survey, 2015.

IPCC Fifth Assessment Report (AR5). **Freshwater Resources**, Genebra, 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap3_FINAL.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2018.

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**, n. 20, p. 880-891, 2015

LACERDA, J. D.; COUTO, H. D.; HIROTA, M. M.; PASISHNYK, N.; POLIZEL, J. L. Estimativa da biomassa e carbono em áreas restauradas com plantio de essências nativas. **Emendabis Mensvram Silvarvm**, n. 5, p. 1-23, 2009.

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.

LOPES, T. A. S. **Avaliação do ciclo de vida de uma ETE composta por reator UASB seguido de Wetlands construídos**. Universidade Federal da Bahia. Dissertação de Mestrado. Salvador: 2014.

MAHGOUB, M. E. M.; VAN DER STEEN, N. P.; ABU-ZEID, K.; Vairavamoorthy, K. Towards sustainability in urban water: a life cycle analysis of the urban water system of Alexandria City, Egypt. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 10-11, p. 1100-1106, 2010.

MAAS, C. **Greenhouse gas and energy co-benefits of water conservation**. POLIS Project on Ecological Governance, University of Victoria, 2009.

MERON, N.; BLASS, V.; GARB, Y.; KAHANE, Y.; THOMA, G. Why going beyond standard LCI databases is importante: lessons from a meta analysis of potable water supply system LCAs. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, p. 1134-1147, 2016.

PELLI, T.; HITZ, H. U. Energy Indicators and Savings in Water Supply. **Journal AWWA**, v. 92, p. 55-62, 2000.

PEREIRA, C. L. F. **Avaliação de sustentabilidade ampliada de produtos agroindustriais. Estudo de caso: suco de laranja e etanol.** Universidade Estadual de Campinas. Dissertação de Mestrado. Campinas: 2008.

PILLOT, J.; CATEL, L.; AUGÉARD, B.; ROUX, P. Up to what point is loss reduction environmentally friendly?: The LCA of loss reduction scenarios in drinking water networks. **Water Research**, v. 104, p. 231-241, 2016.

PITUCO, M. M. **Sustentabilidade ambiental de um sistema de tratamento de águas residuais urbanas: uma avaliação do ciclo de vida.** 2017. Tese de Doutorado.

SAMBITO, M.; FRENI, G. LCA Methodology for the Quantification of the Carbon Footprint of the Integrated Urban Water System. **Water**, v. 9, n. 6, p. 395, 2017.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos. Ministério das Cidades, 2015.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos. Ministério das Cidades, 2016.

UNESCO The United Nations World Water Development Report 2018. Nature-based Solutions, Paris, 2018. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261424>>. Acesso em: 20 de mai. 2018.