

Análise dos impactos ambientais proporcionados pelas perdas de água em sistemas de distribuição de água

Analysis of the environmental impacts provided by water losses in water distribution systems

DOI:10.34117/bjdv7n3-499

Recebimento dos originais: 08/02/2021

Aceitação para publicação: 01/03/2021

Sabrina da Silva Corrêa

Mestra em Engenharia Civil e Ambiental

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

Endereço: Rua Siqueira Campos, 282, Bairro Centro, Cachoeirinha - PE, Brasil

E-mail: sabrinna_s.c@hotmail.com

Lucas Caitano da Silva

Mestrando em Engenharia civil e Ambiental

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

Endereço: Rua águas belas, 345, Bairro Boa vista 2, Caruaru – PE, Brasil

E-mail: lucas.caitano1@gmail.com

Andreia Azevedo Abrantes de Oliveira

Mestra em Engenharia civil e Ambiental

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

Endereço: Rua Santa Clara, 210, Bairro Maurício de Nassau, Caruaru - PE, Brasil

E-mail: andreiazvdo92@gmail.com

Júlia Daniele Silva de Souza

Mestranda em Engenharia civil e Ambiental

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

Endereço: Rua João Cordeiro de Souza, 184, Bairro Vassoural, Caruaru - PE, Brasil

E-mail: juliadaniele_souza@hotmail.com

Thaise Suanne Guimarães Ferreira

Mestra em Engenharia civil e Ambiental

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

Endereço: Segunda travessa santo Antônio, 329, Bairro Santo Antônio, Belo Jardim - PE, Brasil

E-mail: thaisesuanne14@gmail.com

RESUMO

Considerando a importância do setor de saneamento para o desenvolvimento social e econômico de Pernambuco, o elevado consumo de energia elétrica do setor e os potenciais impactos ambientais associados à distribuição de água, objetiva-se, com essa pesquisa, avaliar quais seriam os impactos positivos proporcionados pela redução das perdas de água nos sistemas de distribuição abastecidos pelo Reservatório do Prata, localizado no Agreste Pernambucano. A quantificação das emissões de gases de efeito estufa do sistema foi

realizada por meio da metodologia ACM0002, aprovada pelo Conselho Executivo do Mecanismo de Desenvolvimento. A avaliação dos impactos ambientais foi realizada em quatro cenários para o sistema adutor com diferentes índices de perdas. A pesquisa propõe um estudo que colabora com a construção de conhecimentos e competências direcionados para a sustentabilidade ambiental, por meio do desenvolvimento e da multiplicação de estudos voltados à sustentabilidade hídrica e energética do estado de Pernambuco. A aplicação da metodologia proposta deverá possibilitar uma melhor visão e entendimento do processo de produção e transporte de água do sistema de abastecimento que capta da principal fonte hídrica da região, agindo pontualmente na promoção da importância da redução das perdas de água e sua influência na redução das emissões de GEE.

Palavras-Chave: Abastecimento de água, Perdas de água, Emissões de CO₂.

ABSTRACT

Considering the importance of the sanitation sector for the social and economic development of Pernambuco, the high energy consumption of the sector and the potential environmental impacts associated with the distribution of water, become necessary sustainable strategies such as environmental management practices. This study quantifies the environmental impact of the water losses in the emission of greenhouse gases from the elevation stations of the Prata's Adductor System by means of calculations using the emission factor of the methodology ACM0002, approved by the Executive Board of the Clean Development. The environmental impact evaluation was performed in four scenarios for the adductor system with different loss index. The results show that the costs associated with water losses in distribution networks are high, since resources such as electricity are used to produce and pump water that is not actually delivered to the consumer. The evaluation of the environmental impacts was realized in four sets for the adductor system with different losses rates. The search purpose a collaboration study with the construction of knowledge and skills directed for the regional environmental sustainability, by a development and the multiplication of studies turned to a hydric and energetic sustainability of state of Pernambuco. The applications of purpose methodology should possibility a better vision and understand for the process of water's production and transport of supply system that captures of the main hydric font of region, acting on time in the promotion of importance of reduction water's losses and the influence of reduction of GEE's emissions.

Keywords: Water supply, Water Losses, CO₂ emissions.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, a urbanização, o desenvolvimento industrial e a agricultura estão aumentando o consumo de água e energia, logo, torna-se evidente que as próximas décadas serão marcadas por uma demanda mais intensa por esses recursos. A análise destes problemas possibilita uma visão crítica, em busca de soluções que preservem os benefícios gerados por esses recursos, sem comprometer a qualidade dos serviços e a preservação dos recursos naturais.

Diversas pesquisas no mundo estão sendo desenvolvidas considerando o nexo água-energia, seja a partir de uma perspectiva de segurança da água ou de segurança energética (VENKATESH e BRATTEBO, 2011). Energia e água são insumos que estão intrinsecamente conectados. A energia é imprescindível para tratar e transportar água para os diversos usuários (residências, agricultores, empresas, indústrias, etc.), enquanto a água é indispensável como matéria-prima para a construção, operação e manutenção das usinas termoelétricas, além de ser fonte de energia primária das usinas hidrelétricas. Essas usinas são responsáveis pela geração de cerca de 95% da energia elétrica consumida no Brasil (EPE, 2016).

Estima-se que as companhias de água consomem 2 a 10% de todo o consumo de energia elétrica de um país (PELLI e 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 13 bilhões de kWh/ano, dos quais cerca de 90% dessa energia é consumida pelos conjuntos motor-bomba (BEZERRA et al., 2015). Ao longo da vida útil dos projetos é comum que os custos com energia elétrica excedam os custos de investimento das instalações. O aumento da eficiência energética dos sistemas de distribuição de água representa uma oportunidade significativa para reduzir o consumo de energia elétrica, os custos de operação e manutenção, o aumento da produtividade e a redução da emissão de gases de efeito estufa – GEE.

O consumo de energia na maioria dos sistemas, em todo o mundo, pode ser reduzido em pelo menos 25% por meio de ações voltadas para o aumento da eficiência, o que equivale a toda a energia usada na Tailândia (JAMES et al., 2002). A cada R\$ 1 economizado por meio da eficiência, ou seja, na conservação de energia, resulta em uma economia de R\$ 8 em investimentos em geração (ABES, 2005). Nas últimas décadas, impulsionados pela diminuição da disponibilidade hídrica, necessidade de sustentabilidade ambiental e pelo aumento dos custos com energia elétrica, as empresas de saneamento estão sendo submetidas a pressões pelo aumento da eficiência dos seus processos.

Sistemas ineficientes de bombeamento e políticas públicas de gestão da água ineficazes são um dos fatores que contribuem para a ineficiência energética em sistemas de água. A redução dos vazamentos e o aumento da eficiência do uso da água proporcionam melhorias menos onerosas em comparação com estratégias de investimento em infraestruturas adicionais, além disso, podem evitar os custos relacionados ao aumento de consumo da energia, necessidades de combustível para usinas de energia, além de danos ambientais (GUANAIS, 2015).

Portanto, as empresas de abastecimento de água devem buscar continuamente níveis elevados de eficiência e estarem aptas a fornecer o melhor serviço aos usuários. Além de impactar diretamente no faturamento, as perdas afetam a imagem das empresas junto à sociedade, aos agentes financiadores, aos órgãos ambientais e ao poder público (SOUZA et al., 2020).

Sendo assim, objetiva-se, com essa pesquisa, avaliar quais seriam os impactos positivos proporcionados pela redução das perdas de água nos sistemas de distribuição abastecidos pelo Reservatório do Prata, localizado no Agreste Pernambucano.

2 METODOLOGIA

A presente pesquisa propõe a aplicação do cálculo de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) das estações elevatórias do Sistema Adutor do Prata. O reservatório do Prata, que tem capacidade para acumular 42 milhões de m³ de água, é, atualmente, a única fonte de abastecimento de mais de 530 mil pessoas no Agreste Pernambucano.

O cálculo de emissão de Gases de Efeito Estufa será realizado por meio do fator de emissão da metodologia ACM0002, aprovado pelo Conselho Executivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). A sistemática de cálculo dos fatores de emissão de CO₂ resultantes da geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) do Brasil foi desenvolvida pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) em cooperação entre os Ministérios da Ciência e Tecnologia (MCT) e de Minas e Energia (MME), tendo como base as diretrizes da metodologia ACM0002, aprovada pelo Conselho Executivo do MDL, em Bonn, Alemanha. Cabe ao ONS explicitar as práticas operativas do SIN, reguladas pela ANEEL.

A emissão é contabilizada multiplicando a energia líquida (produzida e cedida à rede interligada) pelo fator de emissão de linha de base do projeto. Esse fator é uma estimativa da emissão se o projeto não atendesse ao MDL, dada por uma combinação da margem de construção (que estipula a geração por novas usinas) com a margem de operação (que estipula a contribuição pelas usinas despachadas).

Para a avaliação do consumo de energia elétrica e da emissão de GEE foram propostos quatro cenários de investigação, com o objetivo de avaliar quais seriam os impactos proporcionados pela redução das perdas reais nos sistemas de abastecimento de água abastecidos pelo reservatório do Prata, entre os anos de 2011 e 2014. Nesse período, o reservatório abastecia as cidades de Agrestina, Altinho, Cachoeirinha, Ibirajuba e,

parcialmente, Caruaru, correspondendo cerca de 40% do seu abastecimento. Os cenários são:

Cenário 01: corresponde às condições de operação do sistema adutor e dos sistemas de distribuição de água no período de 2011 a 2014.

Cenário 02: admite uma redução das perdas de água no sistema, considerando o índice de 39%. Meta estabelecida pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) para o ano de 2010.

Cenário 03: considera um índice de perdas de água de 25%. Valor apresentado pela comunidade técnica e científica como aceitável para as condições do Brasil. De forma geral, valores abaixo de 25% indicam sistemas com bom gerenciamento de perdas (BEZERRA e CHEUNG, 2013).

E por fim, **Cenário 04** ao qual considera o valor “ideal” para o índice de perdas de água, 15%.

O cálculo das emissões de gases de efeito estufa foi baseado em fatores de emissão de efeito estufa, ponderados em cada mês, já levando em consideração os tipos de energia utilizada, conforme a Equação 1.

$$EGEE = \sum \frac{F \times E}{V} \quad (1)$$

Onde $EGEE$ é a emissão operacional de gases de efeito estufa (kgCO_2/m^3); F é o Fator de Emissão da Margem Combinada; E é a energia total usada no mês (kWh).

O fator de emissão de emissão de CO_2 (F) é calculado pela Equação 2 e engloba o fator de emissão da margem de construção e o fator de emissão da margem de operação. É calculado através de uma média ponderada e os valores dos pesos de cada margem depende do tipo de projeto usado para geração de energia. Para calcular o fator de emissão devido à margem de operação adota-se a Equação 3.

$$F = WO_i \times FO_y + (1 - WO_i) \times BM_{sy} \quad (2)$$

Onde WO_i é o valor de ponderação da margem de operação para um projeto do tipo i (adimensional); FO_y é o fator de emissão de linha de base associado à margem de operação no ano y (tCO_2/MWh); BM_{sy} é o fator de emissão da margem de construção para o sistema s no ano y (tCO_2/MWh). Para projetos de energia solar e eólica o valor padrão de

WO_i é 0,75 e 0,5 para outros tipos de projeto. Outros valores entre 0,25 e 0,75 podem ser utilizados, se justificados.

$$FO_y = \frac{\sum_{h \in y} [GP_h \times OM_{sh}]}{\sum_{h \in y} GP_h} \quad (3)$$

Onde GP_h corresponde a energia elétrica do projeto na hora h (MWh); OM_{sm} corresponde ao fator de emissão médio da margem de operação para o sistema s , no mês m e na hora h .

O fator de emissão da margem de operação para o sistema s , no mês m e na hora h é dada pela Equação 4.

$$OM_{sh} = \frac{\sum_{j \in s} [P_{jh} \times D_{jh} \times FT_{j(y-1)}] + \sum_{s'} [P_{(s's)h} \times I_{(s's)h} \times OM_{s'm}]}{\sum_{j \in s} [P_{jh} \times D_{jh}] + \sum_{s'} [P_{(s's)h} \times I_{(s's)h}]} \quad h \in m \quad (4)$$

Onde D_{jh} corresponde a geração de energia elétrica pela usina j na hora h (MWh), $I_{s's'h}$ é a transmissão de energia elétrica do sistema s para o sistema s' na hora h (MWh), P_{jh} é a fração de geração da usina j na hora h contida nos 10% superiores da ordem de despacho (adimensional), e OM_{sm} corresponde ao fator de emissão médio da margem de operação para o sistema s , considerando-se apenas a geração das usinas (tCO₂/MWh).

O cálculo do fator de emissão de CO₂ da margem de construção para o sistema s no ano y (tCO₂/MWh):

$$BM_{sy} = \frac{\sum_{j \in s} [R_{j(y-1)} \times G_{j(y-1)} \times FT_{j(y-1)}]}{\sum_{j \in s} [R_{j(y-1)} \times G_{j(y-1)}]} \quad (5)$$

Onde G_{jy} é a geração de energia elétrica pela usina j no ano y (MWh); R_{jy} corresponde a fração da usina j contida nos 20% mais novos de capacidade instalada, avaliada para o ano y .

Previamente, é necessário fazer o cálculo do fator de emissão de CO₂. Em usinas termelétricas, esse fator é função da quantidade de combustível consumida por de geração de energia da usina e pelo fator de emissão do tipo de combustível (Eq. 6). O fator de emissão de CO₂ por tipo combustível fóssil é calculado pela Equação 7.

$$FT_{jy} = \sum_c \frac{[CC_{cyj} \times FC_c]}{G_{jy}} \quad (6)$$

$$FC_c = \frac{44}{11} \times CE_c \times FE_c \times OX_c \quad (7)$$

Onde FT_{jy} corresponde ao fator de emissão de CO_2 por usina termelétrica, CC_{cyj} equivale ao consumo de combustível c pela usina j (Uc), G_{jy} é a geração de energia elétrica pela usina j no ano y (MWh), FC_c corresponde ao fator de emissão de CO_2 por tipo de combustível fóssil, CE_c corresponde ao conteúdo de energia por unidade de combustível c (TJ/ Uc), FE_c é o fator de emissão de carbono por quantidade de energia do combustível c (tC/TJ), e OX_c corresponde ao fator de oxidação do combustível c (adimensional).

E por fim, a redução de emissão de GEE se dará através da redução do consumo de energia, visto que, as perdas no sistema, além de contribuir para o alto consumo de água e energia, aumentam, conseqüentemente, as emissões de gases de efeito estufa provenientes da geração de energia. Ao aplicar cenários de melhoria, os índices de perda de água serão reduzidos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1, tem-se os dados referentes aos sistemas de abastecimento de água avaliados na pesquisa, que correspondem aos municípios abastecidos pelo Reservatório do Prata durante o período avaliado na pesquisa (2011-2014). Os indicadores utilizados no presente estudo foram obtidos a partir de informações de domínio público disponibilizadas nos Diagnósticos dos Serviços de Água e Esgotos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. Esse sistema é composto por serviços de água, esgotos e manejo de resíduos sólidos, abrangendo aspectos operacionais, administrativos, econômico-financeiros, contábeis e de qualidade dos serviços. Para a água, as informações são processadas a partir de declarações anuais de responsabilidade das companhias estaduais, empresas e autarquias municipais, empresas privadas e, em muitos casos, pelas prefeituras municipais. O banco de dados permite identificar, com elevado grau de objetividade, os aspectos da gestão dos respectivos serviços nos municípios brasileiros.

Tabela 1. Dados dos sistemas de abastecimento de água avaliados

| Município | Ano de Referência | Volume de água produzido (1.000 m ³ /ano) | Índice de perdas na distribuição (%) | Consumo de energia elétrica (MWh/ano) |
|--------------|-------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Agrestina | 2014 | 1.470,94 | 45,46 | 36,53 |
| Agrestina | 2013 | 1.286,52 | 40,47 | 22,70 |
| Agrestina | 2012 | 1.111,23 | 35,69 | 6.684,79 |
| Agrestina | 2011 | 1.972,06 | 69,90 | 5.828,22 |
| Altinho | 2014 | 901,56 | 35,83 | 1.335,78 |
| Altinho | 2013 | 986,68 | 37,40 | 1.318,94 |
| Altinho | 2012 | 1.769,23 | 66,69 | 9.265,86 |
| Altinho | 2011 | 1.860,84 | 71,34 | 7.764,90 |
| Cachoeirinha | 2014 | 942,63 | 45,79 | 1,78 |
| Cachoeirinha | 2013 | 808,99 | 35,47 | 1,04 |
| Cachoeirinha | 2012 | 496,00 | – | 5.516,32 |
| Cachoeirinha | 2011 | 447,35 | – | 4.720,16 |
| Caruaru | 2014 | 28.188,02 | 53,56 | 109.662,02 |
| Caruaru | 2013 | 28.635,13 | 49,56 | 103.742,98 |
| Caruaru | 2012 | 27.593,11 | 51,50 | 37.963,48 |
| Caruaru | 2011 | 28.155,57 | 59,55 | 39.484,76 |
| Ibirajuba | 2014 | 142,53 | 24,27 | 257,45 |
| Ibirajuba | 2013 | 113,16 | – | 217,14 |
| Ibirajuba | 2012 | 93,65 | – | 1.220,69 |
| Ibirajuba | 2011 | 102,37 | – | 1.071,81 |

Durante a coleta, observou-se que algumas informações referentes aos municípios de Cachoeirinha e Ibirajuba são inconsistentes e, por isso, foram retiradas das avaliações. Cumpre alertar que a desconsideração de tais valores não irá interferir, significativamente, nos resultados finais da pesquisa – potencial de redução do consumo energético e de redução da emissão de GGE – uma vez que o volume produzido por estas cidades é, relativamente, muito pequeno, correspondendo apenas 2,1% do volume produzido por todas as cidades.

Dentro do setor Energia, existem oito subsetores para os quais as emissões são estimadas separadamente conforme a abordagem *bottom-up*, a saber: energético, industrial, transporte, residencial, comercial, público, agropecuário e consumo não energético. O que apresenta relevância para essa pesquisa é o subsetor energético, que inclui a produção de energia elétrica a partir das termelétricas convencionais. O Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTI divulga um fator de emissão de CO₂ que estima uma média das emissões da geração de eletricidade levando em consideração todas as usinas existentes no Sistema Interligado Nacional – SIN que operaram em um determinado período de tempo. Destarte, o produto da geração de eletricidade de todo SIN em um determinado momento pelo fator de emissão de CO₂ resultará na emissão do SIN. Os fatores médios anuais são apresentados Tabela 2.

Tabela 2. Fator de emissão médio anual de CO₂

| Ano | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|---|-------|-------|-------|--------|
| Fator médio anual (gCO ₂ /kWh) | 29,20 | 65,34 | 96,03 | 135,48 |

A Tabela 3 mostra os dados correspondentes ao Cenário 1, foram consideradas as condições de operação do sistema adutor e dos sistemas de distribuição de água. Adotando os índices de perda de água apresentados pela companhia, apresentam-se as emissões de GEEs durante os anos pesquisados, percebe-se que o total de toneladas de CO₂ emitidas pelo sistema durante o período investigado é demasiadamente alto. Considerando o plantio de 7,14 árvores para neutralizar 1 tonelada de CO₂ da atmosfera em 20 anos (LACERDA, 2009), estima-se a necessidade de quase cem mil árvores para neutralizar as emissões. Na Tabela 4, apresentam-se os resultados das simulações dos Cenários 2, 3 e 4.

Tabela 3. Resultados do Cenário 1

| Município | Volume de água perdida (1.000 m ³ /ano) | Consumo de energia elétrica (MWh) | Emissão de GEE (tCO ₂) |
|--------------|--|-----------------------------------|------------------------------------|
| Agrestina | 2.964,41 | 12.572,24 | 613,83 |
| Altinho | 3.199,47 | 19.685,48 | 1.139,41 |
| Cachoeirinha | 718,58 | 10.239,30 | 498,39 |
| Caruaru | 24.106,47 | 116.341,30 | 11.380,20 |
| Ibirajuba | 34,59 | 2.767,09 | 166,74 |
| Total | 31.023,52 | 161.605,41 | 13.798,57 |

Tabela 4. Resultados das simulações dos Cenários 2, 3 e 4.

| Cenário | Índice de perdas (%) | Volume de água perdida (1000 m ³) | Redução do consumo de energia elétrica (MWh) | Redução de Emissão GEE (tCO ₂) |
|---------|----------------------|---|--|--|
| 2 | 39 | 22.599,26 | 22.793,26 | 1.746,04 |
| 3 | 25 | 14.569,45 | 43.312,77 | 3.615,14 |
| 4 | 15 | 8.742,29 | 58.196,82 | 4.931,75 |

Aplicando a simulação proposta para o Cenário 2, onde se reduz o índice de perdas para 39%, chega-se a um volume de água perdida de 22,6 milhões de m³, que corresponde a uma redução potencial de 8,4 milhões de m³. Nesse cenário, houve uma redução nos valores referentes ao consumo de energia equivalente ao consumo de aproximadamente três mil residências – de acordo com a média de consumo apresentada no Balanço Energético Nacional (EPE, 2016). A redução de Emissão de Gases de Efeito Estufa equivalente à neutralização proporcionada por 12,5 mil árvores.

No cenário 3, a redução das perdas de água proporcionaria uma redução de 16,5 milhões de m³. Nesse cenário houve uma redução nos valores referentes ao consumo de energia, equivalente ao consumo de aproximadamente 5,6 mil residências e emissões de GEE que seriam evitadas equivalentes à neutralização proporcionada por 25,8 mil árvores.

Por fim, no cenário 4, a redução das perdas alcançaria o volume de quase 23 milhões de m³ de água, o que poderia abastecer uma cidade com mais de 100 mil habitantes. Nesse cenário houve uma redução bastante significativa nos valores referentes ao consumo de energia, equivalente ao consumo de aproximadamente de 7,5 mil residências.

4 CONCLUSÕES

As alterações climáticas poderão limitar a disponibilidade de água e energia, pois os impactos ambientais atuam diretamente no aumento das crises hídricas e energéticas. No caso específico da “indústria” de abastecimento de água potável, grande quantidade de energia é gasta para captar, tratar e distribuir, significando que o aumento da eficiência hidráulica dos sistemas resulta em reduções significativas no consumo de energia elétrica e das emissões de gases de efeito estufa. Programas de redução de perdas são essenciais para otimizar todo sistema de abastecimento.

Em suma, a pesquisa propõe um estudo que colabora com a construção de conhecimentos e competências direcionados para a sustentabilidade ambiental regional, por meio do desenvolvimento e da multiplicação de estudos voltados à sustentabilidade hídrica e energética do estado de Pernambuco. São de suma importância o desenvolvimento e a divulgação de avaliações ambientais à comunidade científica e aos gestores das companhias de saneamento. A metodologia apresentada no estudo possibilitou uma avaliação simplificada das emissões de CO₂ em sistemas de distribuição de água. Ao incorporar esse tipo de análise ao planejamento dos sistemas e à avaliação de novas tecnologias, essa pesquisa poderá servir para o desenvolvimento de projetos de sistemas de distribuição de água mais sustentáveis. A expansão dos limites dessa avaliação, que considera o impacto do uso de energia elétrica para a produção de água potável, pode ser útil em planejamentos futuros.

A aplicação da metodologia proposta deverá possibilitar uma melhor visão e entendimento do processo de produção e transporte de água do sistema de abastecimento que capta da principal fonte hídrica de Caruaru (PE), agindo pontualmente na promoção da importância da redução das perdas de água e da influência na redução das emissões de GEE, que contribuem para o aquecimento regional e global.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – ABES. (2015). *Perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate*. São Paulo-SP.

BEZERRA, S. T. M.; CHEUNG, P. B. (2013). *Perdas de água: tecnologias de controle*. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa-PB.

BEZERRA, S.; T. M.; SILVA, S. A.; GOMES, H. P.; SALVINO, M. M. (2015). Energy Savings in Pumping Systems: Application of a Fuzzy System. *Ciência & Engenharia* 24, pp. 71-78.

EMPRESA DE PESQUISA ENÉRGICA – EPE. (2016) *Balanco energético nacional*. Rio de Janeiro-RJ.

GUANAIS, A. L. S. R. (2015). *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-BA.

JAMES, K.; CAMPBELL, S. L.; GODLOVE, C. E. (2002). *Agua y Energía: Aprovechando las Oportunidades de Eficiencia de Agua y Energia aún no Exploradas en los Sistemas Municipales de Agua*. Alliance to Save Energy. Washington-USA.

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

PELLI, T.; HITZ, H. U. (2002). Energy Indicators and Savings in Water Supply. *Journal AWWA* 92, pp. 55-62.

SOUZA, J. D. S.; BEZERRA, S. T. M.; OLIVEIRA, A. A. A.; CORRÊA, S. S. Aplicação do método Promethee II para gestão de perdas reais em sistemas de abastecimento de água. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 1, p. 3553-3566, jan. 2020.

VENKATESH, G.; BRATTEBØ, H. (2011). Energy consumption, costs and environmental impacts for urban water cycle services: Case study of Oslo (Norway). *Energy* 36, pp. 792–800.