

Avaliação financeira e das emissões resultantes do desperdício de energia devido às perdas de água tratada no Brasil

RESUMO

Diversas pesquisas em nível global abordam o uso sustentável do nexo água-energia, seja pelo contexto da segurança hídrica ou energética. A escassez de água é real no Brasil, dada sua distribuição irregular e elevado consumo médio per capita, igual a 153,9 litros/dia/habitante, valor considerado elevado em comparação com padrões internacionais de uso racional da água. Além disso, uma elevada parcela da água é perdida nos diversos processos até chegar ao consumidor final, o que implica em perdas de energia, emissões de CO₂ e prejuízos financeiros significativos. Assim sendo, estudos que avaliem as perdas hídricas e suas consequências são importantes para uma maior sustentabilidade da distribuição de água no Brasil. Neste contexto, o presente artigo objetivou estimar as perdas de energia e os prejuízos financeiros associados as perdas de energia causadas pelo desperdício hídrico na distribuição de água no Brasil, em diferentes regiões. Para que tais cálculos fossem realizados, foram utilizados dados regionais como dados de índice de perdas de água e consumo per capita, bem como as equações de energia consumida no bombeamento. Os resultados obtidos demonstraram que os prejuízos financeiros devido à perda de energia podem atingir percentuais significativos com relação aos investimentos em saneamento nas regiões estudadas. A energia desperdiçada calculada, quando somada para todas as regiões, atinge valores típicos de uma grande usina Brasileira (de cerca de 100 MW), mas não superam 0,3% do consumo total de energia no Brasil

PALAVRAS-CHAVE: Custos, sistemas de abastecimento de água, Energia, Perdas de Água, Emissões de CO₂

Marcela das Chagas Rossato
Universidade Federal de Itajubá
(UNIFEI), Itajubá, Minas Gerais
marossato@unifei.edu.br

Ivan Felipe Silva dos Santos
Universidade Federal de Itajubá
(UNIFEI), Itajubá, Minas Gerais
ivanfelipe@unifei.edu.br

Matheus David Guimarães Barbedo
Universidade Federal de Itajubá
(UNIFEI), Itajubá, Minas Gerais
matheusbarbedo@unifei.edu.br

Alex Takeo Yasumura Lima Silva
Universidade Federal de Itajubá
(UNIFEI), Itajubá, Minas Gerais
alex.takeo@uol.com.br

Fernando das Graças Braga da Silva
Universidade Federal de Itajubá
(UNIFEI), Itajubá, Minas Gerais
fernandobraga@unifei.edu.br

INTRODUÇÃO

A água é um item essencial para vida humana seja como componente bioquímico para as várias espécies animais e vegetais, também para o desenvolvimento de praticamente todas as atividades do homem sobre a terra, como elemento representativo de valores sociais e culturais e até como fator de produção de vários bens de consumo final e intermediário (Chandrasekharam, 2018; Dudgeon, 2019; Herrera, 2019; Van Zyl et al., 2022; Barbabé-Crespo et al., 2022; Chu-ketterer et al., 2023).

O crescimento populacional e a melhoria do padrão de vida das pessoas em geral geram uma pressão cada vez maior sobre os recursos naturais, em especial sobre os recursos hídricos em todo o mundo, uma vez que a segurança hídrica se tornou tema de debates (Ward et al., 2022; Azam et al., 2023; Farouk et al., 2023;)

A Organização Mundial da Saúde (2021) preconiza que a quantidade necessária para atender as necessidades básicas de uma pessoa por dia seria de 110 litros. No Brasil, o consumo médio é de 153,9 litros por habitante ao dia, entretanto esse valor tem grande variação quando se olha para o cenário regional (IBGE, 2019).

No cenário mundial, mais de 4,2 bilhões de pessoas não possuem acesso a saneamento básico. A realidade brasileira indica que 83,7% da população é atendida com abastecimento de água tratada, apesar do percentual de atendimento parecer alto, ainda há 35 milhões de brasileiros sem acesso a esse serviço básico (SNIS, 2019).

Aliado ao problema da falta de saneamento está a questão das perdas de água. Segundo LaBrecque (2015) e Meijer et al. (2021), perdem-se diariamente 46 bilhões de litros de água tratada em todo o mundo e anualmente cerca de 16,79 trilhões de litros.

Citando o Brasil, de acordo com o relatório de perdas da empresa Go Associados (2022), cerca de 35 milhões de pessoas não tiveram acesso a água potável nas suas casas em 2020 e as perdas de água no mesmo ano representaram 7,2 bilhões de m³, o que significa 20 milhões de m³ por dia e se este volume fosse faturado, geraria receitas de aproximadamente 14 bilhões de reais.

Há também de se ressaltar a perda de recursos, além da própria água, com o desperdício implícito da energia decorrente do seu tratamento, uma vez que Coelho e Campos (2014), mencionam que as atividades relacionadas ao tratamento e distribuição de água consomem cerca de 7% de toda a energia global. Vale salientar que o Brasil se encontra entre os 10 maiores emissores de CO₂, dado a sua grande área e população, de acordo com os dados fornecidos pelo *Climate Watch Data (2021)*.

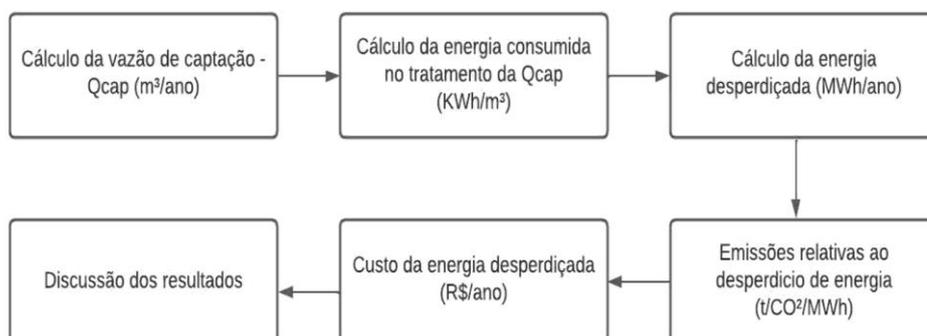
O setor de energia é o terceiro maior contribuinte dessas emissões, no qual estão inclusos os setores de: transporte, eletricidade, geração de calor, construção civil, emissões fugitivas e outras (SEEG, 2020). As emissões relativas ao desperdício de energia no tratamento e distribuição de água colaboram para tais emissões e se tornam um objeto de estudo relevante.

Com objetivo de identificar a magnitude dos problemas de perda de água no Brasil, bem como incentivar uma maior sustentabilidade do uso de recursos hídricos no país, o presente trabalho procurou estimar as perdas hídricas no sistema de abastecimento brasileiro, com a finalidade de se obter o consumo energético, as perdas financeiras e as emissões de CO₂ decorrentes deste desperdício de energia nas regiões brasileiras.

METODOLOGIA

O presente trabalho abordará um estudo sobre as perdas de energia elétrica e de recursos financeiros devido à baixa eficiência do sistema de abastecimento de água no Brasil, sendo considerado somente os custos energéticos da captação e do processo de tratamento mais comum no país, o processo de coagulação e sedimentação. Para isso foi realizado um estudo regional, levando em consideração a população total atendida em cada região para uma avaliação mais global dos impactos das perdas nas diferentes regiões Brasileiras. O fluxograma a seguir ilustra em 6 passos, um resumo da metodologia utilizada no estudo, conforme o fluxograma da figura 1.

Figura 01: Passos utilizados na metodologia



Fonte: Elaborado pelos autores

Estimativa do consumo energético

Para o estudo regional, adotou-se as populações correspondentes fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE (2019), utilizando o fator de correção da população que é atendida em cada região, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: População das regiões brasileira atendidas pelo abastecimento.

Região brasileira	População total	% da população atendida	População atendida
Norte	18.672.591	58,90%	10.998.156
Nordeste	57.374.243	74,90%	42.973.308
Sul	30.192.315	91,00%	27.475.006
Sudeste	89.012.240	91,30%	81.268.175
Centro- Oeste	16.504.303	90,90%	15.002.411

Fonte: SNIS,2020.

A estimativa do consumo energético foi baseada na metodologia apresentada no trabalho de De Lima et al. (2019) e será apresentado nos tópicos a seguir.

Altura manométrica e vazão de captação

A altura manométrica é determinada em função do levantamento topográfico do perfil do terreno somado a perda de carga nas tubulações. De acordo com Faccioli (2021) as bombas centrífugas são as mais utilizadas em Estações elevatórias de Água.

Segundo o manual de sistemas de bombeamento do Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL), elaborado por Gomes et al. (2012), o intervalo de alturas manométricas de (sucção + recalque) das bombas centrífugas oscila em média de 15 até 50 mca, então foram estipulados os valores 15, 25 e 50 m.c.a para os cálculos. Deve-se enfatizar que o valor da altura manométrica (H) é composto pela altura geométrica (z) entre a captação de água e a estação de tratamento de água, levando em consideração todas as perdas hidráulicas (ΔH) decorrentes do trajeto, conforme Equação 1.

$$H = z + \Delta H \quad \text{Equação (1)}$$

Para definir as estimativas de consumo energético, foi fixado um valor de altura manométrica enquanto se variou a população atendida. Assim, o procedimento foi repetido para todos os valores de alturas escolhidas, para que fosse possível identificar o comportamento do gasto energético ao se variar ambos os parâmetros.

Em seguida, determinou-se a vazão de captação para os parâmetros escolhidos, sendo que a vazão a ser captada para abastecimento é função da população total a ser atendida e o consumo per capita estabelecido previamente para o local.

Neste trabalho, utilizou-se o consumo médio per capita regional brasileiro para se analisar os perfis existentes no país. Os valores são fornecidos pelo

Relatório de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento SNIS (2019), sendo a vazão média consumida calculada pela Equação 2.

$$Q_{med} = Pop * Q_{PC} \quad \text{Equação (2)}$$

Sendo que:

- Q_{med} : vazão média per capita [l/dia];
- Pop: população a ser abastecida [hab];
- Q_{PC} : consumo per capita [l/hab.dia].

Com base na vazão per capita, determinou-se a vazão média anual captada para abastecimento pela estação de tratamento, sendo a Equação 3 utilizada para cálculo desse valor, bem como os valores adotados para o cálculo baseados em Tsutiya (2006).

$$Q_{capt} = \frac{Q_{med} * k1 * \frac{24}{t} * (1 + C_{eta})}{1 - IP} + Q_{esp} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

- Q_{capt} : vazão de captação [l/dia];
- Q_{med} : vazão média per capita [l/dia];
- k1: coeficiente do dia de maior consumo [1,2];
- t: período de funcionamento adotado [h] = 24 h. Devido à dificuldade de se obter característicos de cada região, adotou-se o valor máximo de 14h para todas as regiões estudadas;
- C_{eta} : consumo de água para os processos da estação de tratamento de água [0,03];
- IP: índice de perdas de água na distribuição; e
- Q_{esp} : vazão singular de grande consumidor [l/s] [foi adotado 0].

Os índices de perdas na distribuição são referentes as perdas reais (vazamentos) e as aparentes (ligações clandestinas e submedição de hidrômetros). Considerou-se os valores regionais conforme Tabela 2, sendo os valores adotados obtidos do Relatório Anual de Saneamento, que considerou as perdas reais e aparentes (SNIS, 2020). Salienta-se que o cálculo realizado só levou em consideração a população abastecida, não contabilizando grandes consumidores e considerando um funcionamento ininterrupto da ETA com um consumo de 3% em seus processos internos de operação.

Tabela 2: Índice de perdas regional

Região Brasileira	Índice de perdas
Norte	0,552
Nordeste	0,457
Sul	0,375
Sudeste	0,361
Centro-Oeste	0,344

Fonte: Adaptado de SNIS,2020

Energia consumida pela bomba

O conjunto motobomba utilizado para a captação de água consome uma potência elétrica para sua operação cuja determinação é dada pela equação 4, conforme Oliveira Filho et al. (2010)

Onde:

$$P = Q * \frac{H}{367 * \eta} \quad \text{Equação (4)}$$

- P: potência absorvida na bomba [kW];
- Q: vazão bombeada na captação [m³/h] - equivalente à Q_{capt} ;
- 367: fator de ajuste de unidades;
- H: altura manométrica [mca]; e
- η : eficiência da bomba [adotou-se 0,8, conforme Oliveira Filho et al.,2010].

A energia consumida pelo bombeamento de água na captação é dada pela Equação 5, sendo que para o presente artigo foi considerado o período de um ano.

$$E_{elBomb} = P * dt \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

- E_{elBomb} : energia elétrica consumida pela bomba [kWh/ano];
- P: potência absorvida na bomba [kW];
- dt: período de bombeamento [h/ano].

Liu et al. (2018) realizaram pesquisas que determinaram estimativas de gasto de energia elétrica por volume de água em diversos tipos de tratamento, tais como sedimentação, osmose reversa, filtração por nano-membrana e filtração por aeração biológica. O consumo do tratamento de sedimentação por coagulação, que foi considerado no estudo, é apresentado na Tabela 3, sendo que os cálculos realizados analisaram as perdas energéticas para cada um dos sistemas de tratamentos escolhidos, conforme Equação 6.

$$E_{ELTrat} = Q * C_{ener} \quad \text{Equação (6)}$$

Sendo que:

- E_{ELTrat} : consumo total de energia no tratamento de água [kWh/ano];
- Q: vazão de água tratada [m³/ano] - equivalente à Q_{capt} ;
- C_{ener} : consumo energético no tratamento [kWh/m³].

Tabela 3: Consumo energético em tratamentos de água

Tipo de tratamento	Consumo energético [KWh/m ³]
Sedimentação por coagulação	0,003

Fonte: Adaptado de Liu et al (2018)

O consumo energético da distribuição não foram considerados nesse estudo. Vale ressaltar que os índices de perdas utilizados se referem as perdas totais (físicas e aparentes).

Emissões de carbono

As emissões de gases de efeito estufa, em especial as emissões de dióxido de carbono, são alguns dos principais fatores nas mudanças climáticas decorrentes das atividades antrópicas. O dióxido de carbono é responsável por 79 % das emissões totais sendo assim o maior responsável pela pelas contribuições ao aquecimento global (EPA, 2017).

Os fatores de emissão médios de CO₂ visa estimar a quantidade de CO₂ associada a um tipo específico de geração de energia elétrica. Para estimar a emissão de CO₂ devido ao desperdício de energia no processo de captação, tratamento e nas perdas da distribuição utilizou-se o fator de emissão médio mensal da margem de operação na geração de energia elétrica de 2021 fornecido pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI, 2021). Este foi o mesmo procedimento de escolha do fator de emissão adotado por Miranda (2012) e Vilanova e Balestieri (2015), em trabalhos que avaliaram as emissões em distribuição de água. A estimativa foi feita conforme a Equação 7.

$$Em_{CO2} = E_{perd} * F_{em} \quad \text{Equação (7)}$$

Onde:

- Em_{CO_2} : emissão de dióxido de carbono produzida [tCO₂/ano];
- E_{perd} : energia utilizada [MWh/ano];
- F_{em} : fator de emissão médio mensal na geração de energia elétrica. Utilizou-se 0,0750 [tCO₂/MWh] como um valor médio referente ao ano de 2021 de acordo com o EPE (2019) e Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI, 2021). Obviamente, se for adotada uma metodologia diferente na escolha do fator de emissão, o valor resultante das emissões também irá variar.

Custos energéticos associados as perdas de água

Os processos relacionados a captação, tratamento e distribuição de água consomem energia, uma vez que é necessária a operação de máquinas no tratamento, bombeamento na captação e na distribuição, portanto, para cada unidade de água captada e tratada há uma quantidade de energia consumida. Assim, as perdas de água em uma rede de distribuição de água, para além do desperdício do recurso natural, resultam também na perda da energia.

A perda financeira ocasionada pela energia desperdiçada é dada pela Equação 8, portanto, estimou-se então as perdas monetárias utilizando o valor da tarifa média de fornecimento faturado de energia elétrica por classe de consumo água, esgoto e saneamento por região no ano de 2020, extraído do Informativo do setor elétrico do MME (2020), expresso na Tabela 4.

$$C_{energ} = E_{perd} * T \quad \text{Equação (8)}$$

Onde:

- C_{energ} : custo total da energia elétrica utilizada [R\$];
- E_{perd} : energia utilizada [MWh];
- T: custo da tarifa média de eletricidade [R\$/MWh].

Tabela 4: Média tarifária por MWh da classe de serviço público (água, esgoto e saneamento) por região

Região Brasileira	Média Tarifária[R\$/MWh]
Norte	470,53
Nordeste	392,32
Sul	408,34
Sudeste	421,87
Centro-Oeste	405,96

As questões ambientais são relevantes quando tratamos de recursos hídricos, entretanto, quando se lida com serviços é importante salientar o capital perdido no processo. É pertinente avaliar o que seria possível fazer com o capital excedente caso o sistema de abastecimento de água apresentasse uma menor taxa de perdas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para este trabalho, foi calculada a vazão utilizada para abastecer cada região do Brasil utilizando o consumo médio per capita de cada uma delas. Sendo assim, utilizou-se as Equações 3 e 4 para estimar a vazão de captação, como demonstrado na Tabela 5. Nota-se por esta Tabela os elevados valores de vazão captada regionalmente, superando os bilhões de m³ anuais.

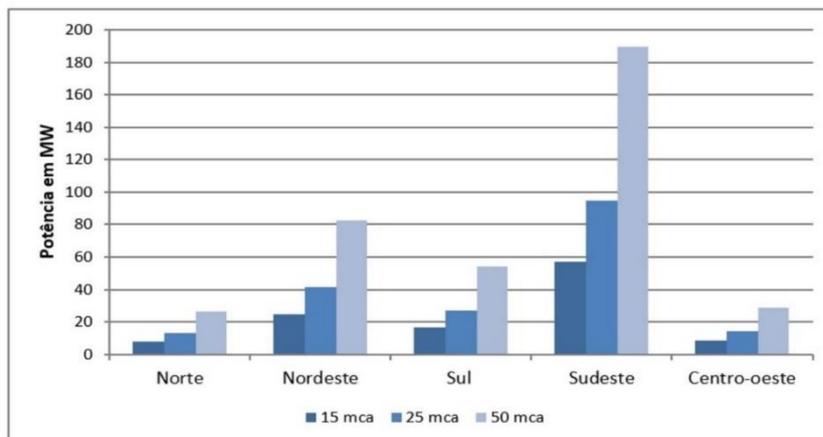
Tabela 5: Determinação da vazão de captação anual por região.

Região brasileira	Habitantes	Qpc [l.hab/dia]	Qcap [bilhões de m ³ /ano]
Norte	10.597.813	58,90%	10.998.156
Nordeste	42.175.941	74,90%	42.973.308
Sul	27.128.265	91,00%	27.475.006
Sudeste	80.506.375	91,30%	81.268.175
Centro- Oeste	14.618.475	90,90%	15.002.411

Fonte: Elaborado pelos autores

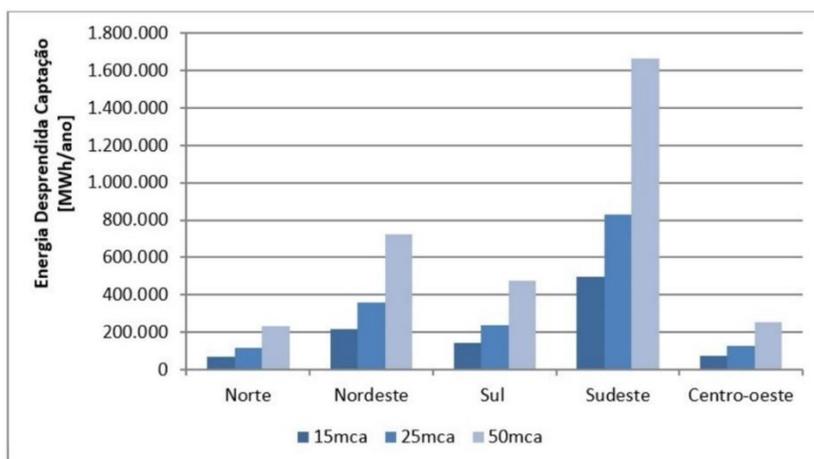
Com os valores observados na Tabela 5, foi possível calcular a potência e energia exigida pela bomba para captar a vazão determinada, pela Equação 3 e 4, variando as alturas manométricas. Os resultados obtidos estão apresentados nas Figuras 2 e 3 a seguir. Pela figura 2, nota-se os elevados valores de potência consumida, que variam entre 8 e 190 MW, superando os valores de 50 MW para todos os cenários de altura manométrica da região sudeste. Valores superiores a 50 MW são, no cenário Brasileiro, típicos de grandes usinas de produção de eletricidade, o que demonstra a elevada necessidade de potência nas bombas para captação de água.

Figura 2: Potência exigida nas bombas para captação de água.



Fonte: Elaborado pelos autores

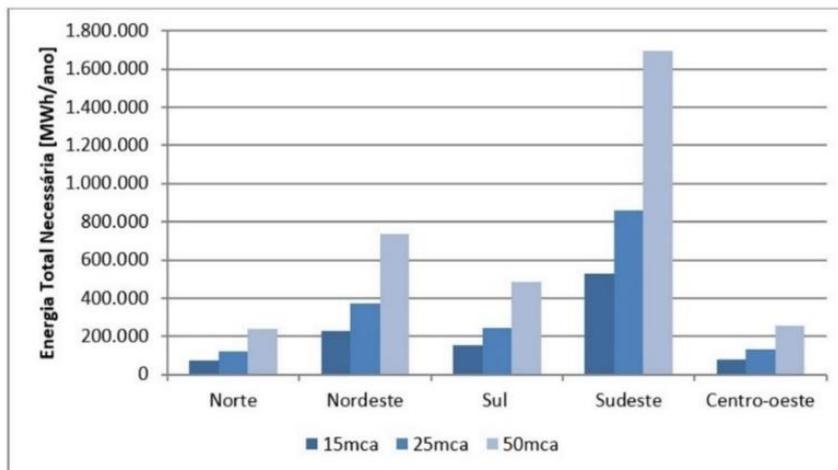
Figura 3: Energia exigida para captação de água.



Fonte: Elaborado pelos autores

Nota-se que os valores de energia consumidos na captação e tratamento são muito próximos (Figuras 3 e 4), devido a preeminência dos consumos de energia na captação com relação aos gastos do tratamento. Posterior a isso, calculou-se os valores de energia total necessário utilizando o processo de sedimentação e as perdas de energia devido as perdas de água nesse processo (Figuras 4 e 5). Os consumos estimados na região Sudeste são bem mais elevados que os da demais regiões, fato que pode ser explicado pela vazão mais elevada dessa região, devido a uma população e de um índice de atendimento mais elevado na mesma. Os pequenos valores estimados para a Região Norte, se devem justamente ao contrário, a reduzida população e índice de abastecimento dessa região, mesmo com os elevados índices de perdas dessa região.

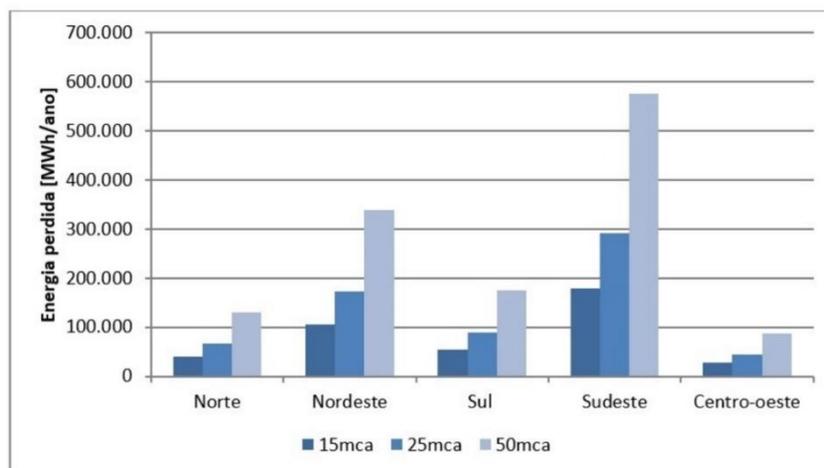
Figura 4: Relação de energia total por região necessária para o tratamento por sedimentação.



Fonte: Elaborado pelos autores

De posse do valor global de consumo energético, estimou-se a quantidade de energia perdida de acordo com o índice de perdas de cada região. Tendo isso, os valores calculados de energia perdida, utilizando os índices da Tabela 2, são apresentados na Figura 5.

Figura 5: Relação de energia perdida por região com tratamento por sedimentação.



Fonte: Elaborado pelos autores

É visível que o aumento do consumo de energia é proporcional ao aumento da altura manométrica. Tal fato indica a necessidade de se otimizar a posição das estações de tratamento de água de modo a minimizar a altura necessária para bombeamento na captação. Dado isso, pode-se afirmar que o mesmo ocorre quando lidamos com o valor monetário dessa energia.

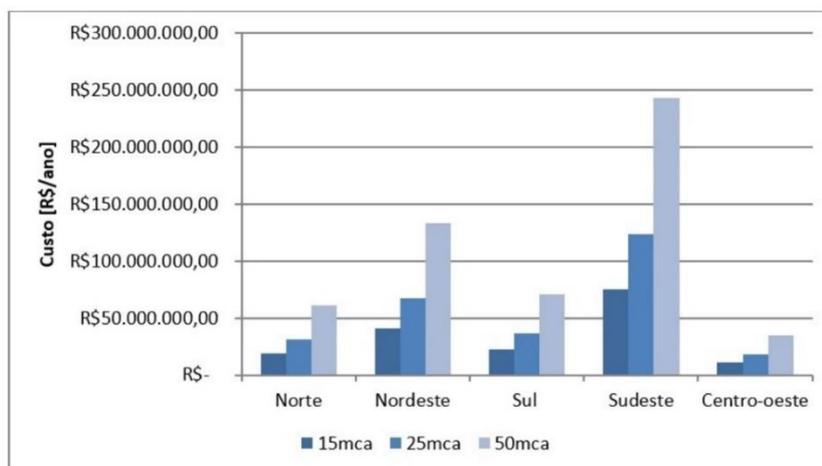
No cenário do tratamento de sedimentação, considerando uma altura manométrica de 50mca, obtem-se uma perda com os desperdícios de recursos hídricos da ordem de 600.000 MWh/ano. Tal valor equivale a energia produzida anualmente por uma usina de 130 MW instalados com 50% de fator de capacidade, ou seja, a produção de uma grande usina de energia no Brasil.

No total, em todas as regiões, os valores de perda de energia estimados variam entre 407.000 MWh (para 15 mca) e 1.306.000 (para 50 mca), valor em média igual a 27000 MWh por mca de altura manométrica (valor que pode ser usado em estimativas rápidas em trabalhos futuros). Sabendo-se que o consumo de energia elétrica no Brasil superou em 2021 os 500.000.000 MWh (Engie, 2022), tais consumos de energia estimados representam respectivamente 0,081 e 0,26%. Se tomarmos somente a produção da usina de Itaipu, tais valores representam respectivamente, 0,61 e 1,96% (ITAIPU BINACIONAL, 2023).

Observa-se, portanto, que o desperdício total de energia na captação e tratamento estimado é elevado, pois pode atingir percentuais identificáveis de toda energia elétrica consumida no Brasil e produzida em uma das maiores usinas hidrelétricas do país, sendo que se trata de uma eletricidade investida em um recurso perdido.

Através dos valores contidos na Figura 5, determinou-se os valores monetários perdidos com energia na captação e tratamento da vazão que é desperdiçada. Para calcular esses valores, foram consideradas as tarifas médias de energia elétrica por região fornecida pelo MME (2020) apresentadas na Tabela 4. Na Figura 6 são demonstrados os valores monetários estimados de perdas, considerando o tratamento de sedimentação.

Figura 6: Perdas financeiras causadas pela energia desperdiçada no tratamento



Fonte: Elaborado pelos autores

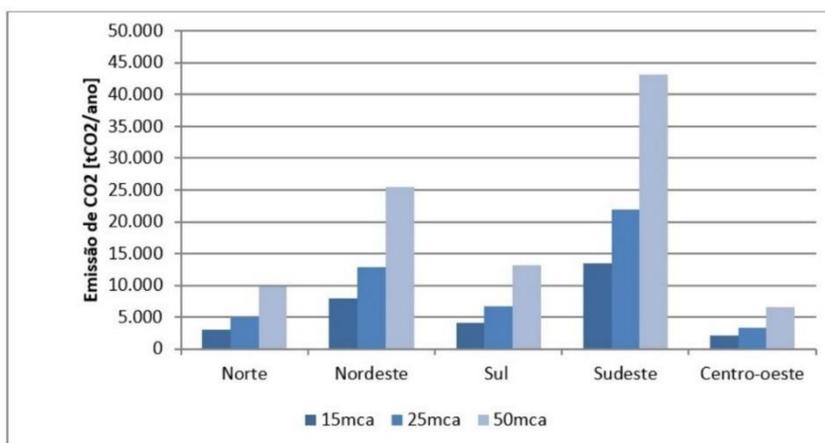
Como já citado, os valores crescem proporcionalmente com a altura manométrica e a população a ser atendida visto que os valores são funções de tais fatores. Os maiores valores desperdiçados são identificados na região sudeste, devido a maior população e maior índice de atendimento dessa região, mesmo com menores perdas. Nessa região, as perdas financeiras causadas pela energia desperdiçada superam os 75 milhões de reais em todas as alturas manométricas. Os valores somados em todas as regiões não ultrapassam 1 bilhão de reais, e variam entre 170 (15 mca) e 540 milhões de reais (50 mca) ao ano, o que equivalem a 11 milhões de reais ao ano por mca de altura manométrica.

Quando se analisa os valores per capita nota-se que eles representam pouco diante da renda da população, dado que se encontra um desperdício per capita anual entre R\$ 0,75 a R\$ 1,81 entre as diferentes regiões na altura manométrica de 15 mca e R\$ 2,42 e R\$ 5,80 na altura manométrica de 50 mca.

Emissões de Carbono

Para o cálculo das emissões de carbono geradas devido a energia desperdiçada utilizou-se o fator de emissão médio mensal da margem de operação do ano de 2021 no valor de 0,0750 [tCO₂/MWh]. Após efetuados os cálculos, foi possível gerar o gráfico contido na Figura 7 com os totais de emissões para cada região, considerando apenas o tratamento de sedimentação por coagulação, visto que é o método utilizado na maioria das Estações de tratamento de água (ETA) do país.

Figura 7: Relação da emissão de CO₂ por região do Brasil no tratamento de sedimentação.



Fonte: Elaborado pelos autores

As maiores emissões se concentram na região sul e sudeste, o que é coerente por serem as áreas com maior densidade demográfica.

De acordo com o balanço energético nacional elaborado por EPE (2019) em 2018 o setor energético foi responsável por 416,1 MtCO₂, emitidos na atmosfera brasileira. De acordo com as estimativas, quando considerado as emissões para o pior caso, ou seja, uma altura manométrica de 50 mca, temos um percentual muito inferior à de 0,01% desse valor a ser evitado com melhorias na rede de abastecimento. Assim sendo, os ganhos em termos de emissões evitadas com a diminuição do desperdício de energia devido as perdas de água não são significantes.

CONCLUSÕES

O presente trabalho objetivou avaliar as perdas financeiras, o gasto de energia e as emissões decorrentes do desperdício de energia investidos, no tratamento e captação, nas perdas de água durante a distribuição.

Os valores energéticos desperdiçados são pequenos em face do consumo anual médio per capita, contudo, quando avaliados para todas as regiões ou para todo país, podem atingir a produção de uma grande usina de produção de eletricidade no Brasil. Quando se compara com o consumo de energia nacional, esses valores não ultrapassam 0,3%.

Por implicarem em um desperdício de energia, as perdas de água também resultam em emissões de CO₂. Contudo, os valores de emissões devido ao desperdício de água são pequenos devido ao baixo fator de emissão médio da matriz energética nacional, baseada sobretudo em renováveis.

Além disso, deve-se ressaltar que o problema das perdas é agravado em cenários de conflito pelo uso de recursos hídricos e de crise hídrica, podendo afetar a produção agrícola, industrial e de energia, trazendo impactos econômicos e ambientais ainda maiores que os aqui avaliados.

Dado isso, é relevante para próximos estudos análises regionais mais aprofundadas quem ampliem o conhecimento de regiões onde o abastecimento ainda é precário. Sugere-se também como trabalhos futuros, análises específicas em cidades, com dados reais de altura manométrica, tempo de bombeamento etc., incorporando inclusive o consumo de energia nos sistemas de distribuição, também são sugeridos de modo que se possa obter resultados menos gerais e mais próximos da realidade.

AGRADECIMENTOS

Queremos agradecer à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro através da concessão da bolsa de Doutorado nº 88887.695230/2022-00 ao estudante Matheus David Guimarães Barbedo.

Evaluation of financial and emissions resulting from energy waste due to treated water losses in Brazil

ABSTRACT

Several global research studies address the sustainable use of the water-energy nexus, whether in the context of water or energy security. Water scarcity is real in Brazil, given its irregular distribution and high average per capita consumption, equal to 153.9 liters/day/inhabitant, a value considered high in comparison with international standards for rational water use. Moreover, a high portion of water is lost in the various processes until it reaches the final consumer, which implies energy losses, CO₂ emissions, and significant financial losses. Therefore, studies that evaluate water losses and their consequences are important for a greater sustainability of water distribution in Brazil. In this context, this paper aimed to estimate the energy losses and the financial losses associated with energy losses caused by wasted water in water distribution in Brazil, in different regions. For these calculations, regional data such as water loss index and per capita consumption were used, as well as the equations of energy consumed in pumping. The results obtained showed that the financial losses due to energy loss can reach significant percentages in relation to investments in sanitation in the regions studied. The calculated wasted energy, when added up for all regions, reaches values typical of a large Brazilian power plant (of about 100 MW), but does not exceed 0.3% of the total energy consumption in Brazil.

KEYWORDS: Costs, Water Supply System, Energy, Water Losses, CO₂ Emissions.

REFERÊNCIAS

AZAM, W.; KHAN, I.; ALI, S. A. Alternative energy and natural resources in determining environmental sustainability: a look at the role of government final consumption expenditures in France. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 1, p. 1949-1965, 2023. Disponível em <<https://doi.org/10.1007/s11356-022-22334-z>>.

BERNABÉ-CRESPO, M. B.; OLCINA CANTOS, J.; LAHORA, A. Examining the implementation of potable water reuse in sewer sheds of Southeastern Spain. **Urban Water Journal**, p. 1-12, 2022. Disponível em <<https://doi.org/10.1080/1573062X.2022.2069043>>

CHANDRASEKHARAM, D. Water for the millions: focus Saudi Arabia. **Water-Energy Nexus**, v. 1, n. 2, p. 142-144, 2018. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.wen.2019.01.001>>

CHU-KETTERER, L. J.; MURRAY, R.; HASSET, P.; KOGAN, J.; KLISE, K.; HAXTON, T. Performance and Resilience Analysis of a New York Drinking Water System to Localized and System-Wide Emergencies. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 149, n. 1, p. 05022015, 2023. Disponível em <<https://doi.org/10.1061/jwrmd5.wreng-5631>>.

CLIMATE WATCH DATA. Historical GHG Emissions, 2021. Disponível em <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?chartType=percentage&end_year=2018&gases=co2®ions=TOP§ors=energy&start_year=2010>. Acesso em 08 de agosto de 2022.

COELHO, B; ANDRADE-CAMPOS, A. Efficiency achievement in water supply systems—A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 30, p. 59-84, 2014. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.09.010>>.

DE LIMA, Í.B; DOS SANTOS, I. F. S; MENSAH, J. H.R. Estimativa de consumo de energia em Estações de Tratamento de Água (ETAs) em função da população abastecida. XIV Seminário de Meio Ambiente e Energias Renováveis, 2019, Itajubá.

DUDGEON, D. Multiple threats imperil freshwater biodiversity in the Anthropocene. **Current Biology**, v. 29, n. 19, p. R960-R967, 2019. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.08.002>>.

ENGIE. Dados de consumo de energia elétrica no Brasil, 2022. Disponível em <<https://www.alemdaenergia.engie.com.br/consumo-nacional-de-energia-eletrica-tem-crescimento-de-35-em-novembro>>. Acesso em 16 de março de 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Anuário estatístico de energia elétrica, 2023. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Publicacoes/Arquivos/publicacao-160/topico-168/EPEFactSheetAnuario2021.pdf>>. Acesso em 02 de março de 2023.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Overview of Greenhouse Gases, 2017. Disponível em <<http://learning-cleanairasia.org/lms/library/ga3/99-Overview-of-Greenhouse-Gases.pdf>>. Acesso em 17 de fevereiro de 2022

FACCIOLI, A. C. Otimização energética em sistemas de abastecimento de água utilizando o EPANET. Dissertação de Mestrado, Engenharia Elétrica. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2021. Disponível em <www.repositorio.unesp.br>. Acesso em 11 de fevereiro de 2023

FAROUK, A. M.; RAHMAN, R. A.; ROMALI, N. S. Economic analysis of rehabilitation approaches for water distribution networks: Comparative study between Egypt and Malaysia. **Journal of Engineering, Design and Technology**, v. 21, n. 1, p. 130-149, 2023. Disponível em <<https://doi.org/10.1108/JEDT-03-2021-0174>>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2019. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua - Brasília, Distrito Federal. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 15 de fevereiro de 2022

ITAIPU (ITAIPU BINACIONAL) Geração de eletricidade, 2023. Disponível em <<https://www.itaipu.gov.br/energia/geracao>>. Acesso em 16 de março de 2023.

GO ASSOCIADOS. ESTUDO DE PERDAS DE ÁGUA DO INSTITUTO TRATA BRASIL DE 2022 (SNIS) 2020: DESAFIOS PARA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E AVANÇO DA EFICIÊNCIA DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL, 74 p, São Paulo, 2022. Disponível em: < https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Relatorio_Completo.pdf>. Acesso em 19 de março de 2023.

GOMES, H. P.; CARVALHO, P. S. DE O. Manual de sistemas de bombeamento: eficiência energética. João Pessoa, 2012.: Editora da UFPB.

HERRERA, V. Reconciling global aspirations and local realities: Challenges facing the Sustainable Development Goals for water and sanitation. **World Development**, v. 118, p. 106-117, 2019. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.02.009>>.

LABRECQUE, S. Water loss: seven things you need to know about an invisible global problem, 2015. Disponível em <<https://www.theguardian.com/sustainable-business/2015/mar/02/water-loss-eight-things-you-need-to-know-about-an-invisible-globalproblem>>.

LIU, J.; WANG, D.; XIANG, C.; XIA, L.; ZHANG, K.; SHAO.; W.; LUAN, Q. Assessment of the Energy Use for Water Supply in Beijing. CUE2018-Applied Energy Symposium and Forum: Low carbon cities and urban energy systems, jun, Shanghai, China, 2018. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.09.122>>.

MEIJER, D.; POST, J.; VAN DER HOEK, J. P.; KORVING. H.; LANGEVELD, J.; CLEMENS, F. Identification of critical elements in drinking water distribution networks using graph theory. **Structural and Infrastructure Engineering**, v. 17, n. 3, pág. 347-360, 2021. Disponível em <<https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1751664>>.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES (MCTI), 2021. Inventários Corporativos.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME), 2020. Informativo Gestão do setor elétrico.

MIRANDA, M. M. Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida. Dissertação Mestrado, Ciências da Engenharia Ambiental. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. Disponível em <<https://www.teses.usp.br>>. Acesso em 7 de março de 2022.

OLIVEIRA FILHO, D.; RIBEIRO, M. C.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A.; FERNANDES, H. C. Dimensionamento de motores para o bombeamento de água. Eng. Agríc. Jaboticabal, v.30, n.6, p.1012-1022, 2010. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000600003>>.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). A medição e monitoramento da acessibilidade do abastecimento de água, saneamento e higiene (WASH): um elemento ausente do monitoramento das metas 6.1 e 6.2 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). New York, 2021.

SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE GASES (SEEG), 2020. Calculadora de Emissões per capita. Disponível em <<http://seeg.eco.br/calculadora-de-emissoes-de-pessoas>>.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS), 2019. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, ano de referência (2018) – Brasília. Disponível em <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis>>. Acesso em 9 de dezembro de 2021.

Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS), 2020. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, ano de referência (2019) – Brasília. Disponível em <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis>>.

TSUTIYA, M. T. Abastecimento de Água. 3. ed. São Paulo: USP, 2006.

VAN ZYL, A.; JOOSTE, J. L. Retaining and recycling water to address water scarcity in the City of Cape Town. Development Southern Africa, v. 39, n. 2, p. 108-125, 2022. Disponível em <<https://doi.org/10.1080/0376835X.2020.1801387>>.

WARD, F. A.; AMER, S.A.; SALMAN, D.A.; BELCHER, W.R.; KHAMEES, A.A.; SALEH, H, S.; SAEED, A.A.A.; JAZAA, H.S. Economic optimization to guide climate water stress adaptation. **Journal of Environmental Management**, v. 301, p. 113884, 2022. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113884>>.

Recebido: 31/07/2023

Aprovado: 24/03/2024

DOI: 10.3895/rts.v20n60.17368

Como citar:

ROSSATO, Marcela das Chagas; SANTOS, Ivan Felipe Silva dos; BARBEDO, Matheus David Guimarães et al. Avaliação de custos financeiros, energéticos e emissões resultantes do desperdício de energia devido às perdas de água tratada no Brasil. *Tecnol. Soc.*, Curitiba, v. 20, n. 60, p.271-290, abr./jun., 2024. Disponível em:

<https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/17368>

Acesso em: XXX.

Correspondência:

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

