



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

EMANNUEL HENRIQUE PIANCÓ DA SILVA MARTINS

**NEXO ÁGUA-ENERGIA: AVALIAÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA NAS
COMPANHIAS DE SANEAMENTO BRASILEIRAS**

Caruaru

2022

EMANNUEL HENRIQUE PIANCÓ DA SILVA MARTINS

**NEXO ÁGUA-ENERGIA: AVALIAÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA NAS
COMPANHIAS DE SANEAMENTO BRASILEIRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos hídricos

Orientador(a): Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra

Caruaru

2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus por toda força e fé, para que eu pudesse chegar até aqui; aos meus pais, Givanildo e Patrícia; meus irmãos, Eliel e Anthoniel; minha namorada, Laura Sales; e demais familiares que me apoiaram e acreditaram nesse sonho; ao Colégio Nossa Senhora do Amparo em Surubim/PE, onde sempre tive uma educação de qualidade, com fé e amor; a todos os companheiros de trajetória acadêmica que tanto compartilharam momentos de ansiedade e alegrias; a todos os professores da Universidade Federal de Pernambuco – Centro Acadêmico do Agreste, que plantaram suas sementes em minha vida acadêmica e profissional, em especial, ao meu orientador, Prof^o. Dr. Saulo de Tarso; à FACEPE, onde fui bolsista e pude desenvolver meu projeto de pesquisa com apoio e eficácia. Por fim, agradeço a todos e todas que estiveram na torcida pelo meu sucesso e crescimento.

Nexo água-energia: avaliação do uso de energia elétrica nas companhias de saneamento brasileiras

Water-energy nexus: evaluation of the use of electric energy in Brazilian sanitation companies

Emmanuel Henrique Piancó da Silva Martins¹

RESUMO

Nos últimos anos, diversos estudos avaliaram o nexo água-energia em sistemas de abastecimento de água (SAA). A energia utilizada pelo setor de abastecimento de água pode ser vista a partir de duas perspectivas: as macro-relações entre água, energia, emissões de gases de efeito estufa e custo; e a energia usada no ciclo da água. É fundamental compreender e quantificar o uso da energia elétrica no abastecimento de água para o desenvolvimento de políticas públicas integradas que garantam o uso sustentável de ambos os recursos. Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo investigar o uso de energia elétrica para abastecimento de água no Brasil, por meio da análise das informações disponíveis nas principais bases de dados e publicações oficiais dos setores de energia e saneamento do país. A pesquisa limita-se à avaliação do consumo direto de eletricidade e de indicadores relacionados à relação água-energia dos SAA brasileiros. Foi realizada uma análise estatística dos indicadores que incluiu a avaliação da correlação dos dados. A avaliação dos serviços prestados poderá fornecer subsídios aos gestores para a priorização de investimentos nos sistemas mais ineficientes e propiciar às agências reguladoras um estudo para comparação da prestação de serviços avaliados. Por fim, obteve-se um valor do coeficiente R de 0,78 entre o consumo de energia elétrica per capita e o índice de consumo de energia elétrica, sendo classificado como forte correlação, os outros dois parâmetros resultaram em valores fracos.

Palavras-chave: sistemas de água; eletricidade; indicadores; correlação de Pearson; avaliação.

¹Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: emannuelpianco@hotmail.com

ABSTRACT

In recent years, several studies have evaluated the water-energy nexus in water supply systems (WSS). The energy used by the water supply sector can be seen from two perspectives: the macro-relationships between water, energy, greenhouse gas emissions and cost; and the energy used in the water cycle. It is essential to understand and quantify the use of electricity in water supply for the development of integrated public policies that guarantee the sustainable use of both resources. Given the above, the present study aims to investigate the use of electricity for water supply in Brazil, through the analysis of information available in the main databases and official publications of the energy and sanitation sectors in the country. The research is limited to the assessment of the direct consumption of electricity and indicators related to the water-energy ratio of Brazilian WSS. A statistical analysis of the indicators was performed, which included the evaluation of the correlation of the data. The evaluation of the services provided may provide subsidies to managers for prioritizing investments in the most inefficient systems and provide regulatory agencies with a study to compare the provision of evaluated services. Finally, an R coefficient value of 0.78 was obtained between the consumption of electric energy per capita and the index of consumption of electric energy, being classified as a strong correlation, the other two parameters resulted in weak values.

Keywords: water systems; electricity; indicators; Pearson's correlation; assessment

DATA DE APROVAÇÃO: 27 de maio de 2022

1 INTRODUÇÃO

Água e energia são dois componentes-chave na busca global pelo desenvolvimento sustentável (GRIGGS et al., 2013). O nexo água-energia se destaca como uma questão importante para o planejamento sustentável das políticas públicas, especialmente, porque estes dois recursos são altamente vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas globais (LEE et al., 2017), temática que vem despertando uma preocupação cada vez maior a comunidade científica. Além disso, uma grande parte da população está enfrentando escassez de água devido às mudanças climáticas (GOSLING; ARNELL, 2016). A falta de compreensão da interdependência entre água e energia nos sistemas pode acarretar no uso excessivo e má

gestão destes recursos (RINGLER et al., 2013). Os sistemas de água são um dos principais usuários de recursos energéticos (KENNEY; WILKINSON, 2011). Aproximadamente, 2% a 3% do consumo mundial de energia elétrica é usado em sistemas de abastecimento de água (SAA) (JAMES et al., 2002); dos quais, 80-90% desta energia é consumida por sistemas de bombeamento (BEZERRA et al., 2012; BARROS FILHO et al., 2018). O nível de necessidade de energia por unidade de água, por exemplo, intensidade de energia, depende fortemente dos processos envolvidos e do nível de qualidade da água antes do uso final (HARDY et al., 2012). No Brasil, o consumo específico de energia elétrica médio é relatado no Diagnóstico do Saneamento de Água e Esgotos (BRASIL, 2021) como 0,72 kWh/m³.

Embora haja um interesse crescente em compreender as interdependências água-energia e as implicações de gestão associadas a estes sistemas, as pesquisas frequentemente observam a necessidade de aumento da produção local e do consumo de energia e água, mas raramente prestam atenção adequada às consequências e impactos em escala regional (SCOTT et al., 2011). Além disso, a relação entre o nexo e o estresse hídrico ou risco hídrico não foi relatada de maneira geral (HE et al., 2018). Para a gestão sustentável dos SAAs, um esforço significativo precisa ser realizado para melhorar a eficiência do uso de água e energia, o que pode, consequentemente, reduzir os impactos ambientais associados. A melhoria conjunta da eficiência hidráulica e energética tem sido considerada uma contribuição ganha-ganha para o bem-estar humano e a sustentabilidade ambiental, para as gerações atuais e futuras, além de diminuir os custos de operação das companhias de saneamento. Na maioria das vezes, os custos de energia dos sistemas de bombeamento excedem os custos de investimento das instalações ao longo da vida dos projetos, representando um dos principais gastos das concessionárias (BARROS FILHO et al., 2018).

Informações de qualidade e quantidade permitem melhor planejamento, prestação, regulação e controle social dos serviços de abastecimento de água, sendo necessário fortalecer o uso de indicadores nesse setor.

A produção de conhecimento é estratégica para formulação de políticas públicas e a estruturação de planos de saneamento básico. No Brasil, quem desempenha este papel é o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional (SNS/MDR). Os dados coletados junto a prestadores de serviços de todo o país permitem monitorar e avaliar a prestação de serviços, definir políticas, projetos e ações para qualificar a gestão, orientar atividades regulatórias, facilitar o controle social e ampliar e melhorar o atendimento à população. Também ajudam a identificar prioridades de investimentos e a orientar a aplicação de recursos

públicos. Este conhecimento é essencial, por exemplo, para a elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab) e dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB).

Dessa forma, esta pesquisa limita-se a análise de indicadores de impacto na análise do sistema energético das prestadoras de serviço regionais que possam avaliar os sistemas de abastecimento de água brasileiros.

2 OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa de Trabalho de Conclusão de Curso é investigar o consumo de energia elétrica dos sistemas de abastecimento de água no Brasil por meio da análise das informações disponíveis nas principais bases de dados e publicações oficiais dos setores de energia e saneamento do país, além de avaliar o nível de correlação entre os indicadores através do cálculo do coeficiente de Pearson.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo consiste em pesquisa no âmbito qualitativo e quantitativo dos dados. Toda base de informações adquiridas veio do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) que é um banco de dados administrado pelo Ministério do Desenvolvimento Regional do Governo Federal. Nas últimas décadas, o SNIS, vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional (SNS/MDR), consolidou-se como instrumento de conhecimento dos serviços de saneamento básico sem similar no Brasil. Este sistema proporcionou a aquisição e armazenamento de um robusto conjunto de dados estruturados que permite avaliar a evolução dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário (desde 1995), manejo de resíduos sólidos urbanos (desde 2002) e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (desde 2015). E, o mais importante, o acesso a estas informações é público e gratuito.

Ao longo desses anos, o conhecimento estruturado pelo SNIS tornou-se elemento que norteia atividades como o planejamento e a gestão do setor, formulação de políticas públicas e programas, definição e monitoramento de metas e atividade de regulação e fiscalização dos serviços. Esse também contribuiu para a estruturação do marco legal do saneamento, instituído pela Lei nº 11.445/2007 e atualizado pela Lei nº 14.026/2020.

3.1 Base de dados

No presente estudo, será considerada a base estadual de dados do SNIS, cujos dados representam informações da prestadora de serviço estadual, com exceção de Minas Gerais, que é atendido pelas companhias Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) e Copasa Serviços de Saneamento Integrado do Norte e Nordeste de Minas Gerais (COPANOR).

Serão considerados os principais indicadores relacionados à relação água-energia. Os SAA cujos índices de hidromedição e de micromedição de consumo são inferiores a 95%, e que não possuem séries históricas completas serão excluídos da análise. É importante salientar que ao início desta pesquisa no segundo semestre de 2021, o ano de referência mais recente dos indicadores do SNIS era o ano de 2020, cujos dados foram obtidos no ano de 2019.

3.2 Área de estudo

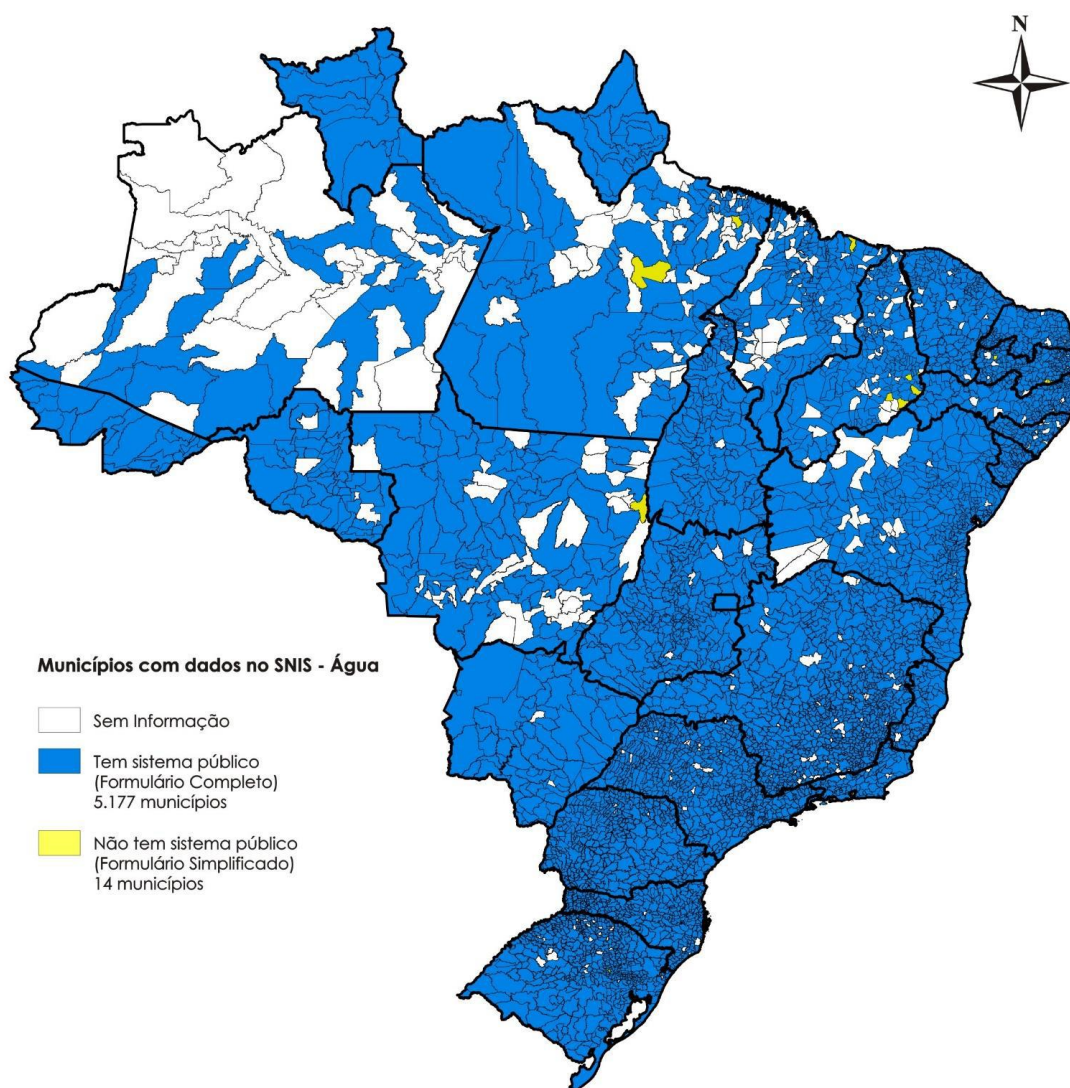
O Brasil, maior país da América do Sul em extensão territorial e em população, é composto de 26 estados e um Distrito Federal que estão espalhadas pelas cinco regiões geográficas do país: norte, nordeste, sul, sudeste e centro oeste.

3.3 Indicadores de desempenho

O 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2019 – SNIS-AE 2019 (BRASIL, 2021) reúne informações da prestação de serviços públicos de abastecimento de água de 5.191 municípios (92,9% dos 5.570 do país). A amostra abrange 97,2% da população total (204,2 milhões) e 98,2% da população urbana (174,8 milhões).

No SNIS-AE 2019, há 5.177 municípios com sistemas públicos de abastecimento de água (92,9% da amostra). Apenas 14 municípios não contam com sistema público (0,3%) e utilizam soluções alternativas individuais para o atendimento, como poços, cisternas e caminhões pipa (Figura 1). A amostra reúne informações de 1.194 prestadores de serviços de abastecimento de água. São 28 com abrangência Regional, 8 Microrregional e 1.158 Local. Os prestadores regionais, que atendem a grandes grupos de municípios, limítrofes ou não, atuam em 77,3% dos municípios (4.013) e atendem a 75,8% da população urbana abrangida pelo SNIS-AE 2019.

Figura 1 - Disposição espacial dos municípios participantes do SNIS-AE 2019 – Água.



Fonte: Brasil (2021)

Os índices podem ser calculados através do cruzamento de duas ou mais informações primárias que são fornecidas pelas prestadoras de serviços ao SNIS. O SNIS-AE 2019 (BRASIL, 2021) fornece 84 indicadores de abastecimento de água.

Nesta pesquisa, após análise e filtragem dos índices e indicadores mais relevantes e que mais contribuem para uma melhor análise dos sistemas, foram escolhidos quatro índices/indicadores: AG028 - Consumo total de energia elétrica ($\text{kWh}\cdot\text{ano}^{-1}$); Índice de custo de energia elétrica ($\text{R}\$.1000^{-1}\cdot\text{m}^{-3}$); IN058 - Índice de consumo de energia elétrica ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$); Consumo de energia elétrica per capita ($1000\cdot\text{kWh}\cdot\text{hab}^{-1}$).

Consumo total de energia elétrica (AG028): corresponde a quantidade anual de energia elétrica consumida nas companhias de saneamento, incluindo todas as unidades que compõem os sistemas, desde as operacionais até as administrativas.

Índice de custo de energia elétrica (CusEn): corresponde ao custo médio gasto com energia elétrica para fornecer cada metro cúbico aos consumidores. Este indicador é expresso pela Eq. (1).

$$\text{CusEn} = \frac{\text{FN13}}{\text{VP}} \quad (1)$$

CusEn: Índice de custo de energia elétrica, em R\$.1000⁻¹.m⁻³;

FN013: Despesa com energia elétrica, em R\$;

VP = Volume de água produzido, em m³.

Índice de consumo de energia elétrica (IN058): corresponde ao consumo médio de energia elétrica gasto para fornecer cada metro cúbico aos consumidores. Este indicador é expresso pela Eq. (2):

$$\text{IN058} = \frac{\text{CT}}{\text{VP}} \quad (2)$$

IN058 = Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água, em kWh.m⁻³.

CT = Consumo total de energia elétrica, em kWh;

Consumo de energia elétrica per capita (Cper): corresponde ao consumo médio de energia elétrica gasto com abastecimento de água por habitante. Este indicador é expresso pela Eq. (3):

$$\text{Cper} = \frac{\text{CT}}{\text{AG001}} \quad (3)$$

Cper = Índice de consumo de energia elétrica per capita dos sistemas de abastecimento de água, em kWh.hab.⁻¹.

AG001 = População total atendida com abastecimento de água.

3.4 Correlação de Pearson

A análise de correlação entre os indicadores possibilita a avaliação de diversas hipóteses, como, o nível de correlação com o consumo de água per capita indica a influência do padrão de consumo de água da população atendida nos indicadores; o nível de correlação com a população atendida ou a extensão da rede indica a influência da escala do sistema nos avaliados indicadores; o nível de correlação com a extensão da rede indica a influência da escala física do sistema nos indicadores; a correlação com os indicadores de despesas operacionais permite avaliar a inter-relação entre os indicadores analisados e os custos operacionais e de serviço dos municípios.

Neste caso, será analisada a correlação de Pearson entre os quatro indicadores avaliados. O coeficiente de correlação Pearson (R) varia de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis. Uma correlação perfeita (-1 ou 1) indica que o escore de uma variável pode ser determinado exatamente ao se saber o escore da outra. No outro oposto, uma correlação de valor zero indica que não há relação linear entre as variáveis. Para Cohen (1988), valores entre 0,10 e 0,29 podem ser considerados pequenos; escores entre 0,30 e 0,49 podem ser considerados como médios; e valores entre 0,50 e 1 podem ser interpretados como grandes. Dancey & Reidy (2005) apontam para uma classificação ligeiramente diferente: R = 0,10 até 0,39 (fraco); R = 0,40 até 0,69 (moderado); R = 0,70 até 1 (forte). A correlação de Pearson é calculada pela Eq. (4):

$$R = \frac{\sum (xi - \bar{x})(yi - \bar{y})}{\sqrt{[\sum (xi - \bar{x})^2][\sum (yi - \bar{y})^2]}} \quad (4)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Ackoff¹ (1981, p.1; *apud* BAGGIO; LAMPERT, 2010, p.13), “planejamento é a definição de um futuro desejado e de escolher os meios mais eficazes de alcançá-lo”. Para Baggio e Lampert (2010), planejar é o ato de analisar o presente para determinar formas de atingir um futuro almejado, o que consiste num processo em que objetivos são estabelecidos, são definidas as linhas de ação e planos de forma detalhada para alcançá-los, bem como os recursos necessários à sua consecução.

Para a permanência dos empreendimentos no mercado e seu crescimento ao longo do tempo, devem ser desenvolvidos planos adaptados à sua condição presente, suas oportunidades, seus

objetivos e seus recursos. Ao longo da execução do plano devem ser realizados ajustes estratégicos, caso necessário, entre os objetivos da organização, suas peculiaridades e as oportunidades mutáveis (KOTLER; ARMSTRONG, 2008).

Destacando o planejamento, Castejon (2005) cita que os gestores o utilizam para definir a tomada de decisões por meio de processo analítico, concentrado em variáveis empresariais, econômicas e tecnológicas.

Pelo exposto, a ação de planejar é um dos primeiros passos para garantir o sucesso de empreendimentos, sistemas e unidades em qualquer setor do ambiente público e privado (FERREIRA, 2019).

Quando se trata do setor de saneamento, o planejamento é de fundamental importância, a fim de que os recursos disponíveis sejam aplicados de modo que atendam às necessidades presentes e futuras. Vale destacar que no Artigo 21 da Constituição Federal é estabelecida à união a competência de (BRASIL, 1988):

- a) elaborar e executar planos nacionais e regionais de ordenação do território e de desenvolvimento econômico e social;
- b) instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano, inclusive habitação, saneamento básico e transportes urbanos.

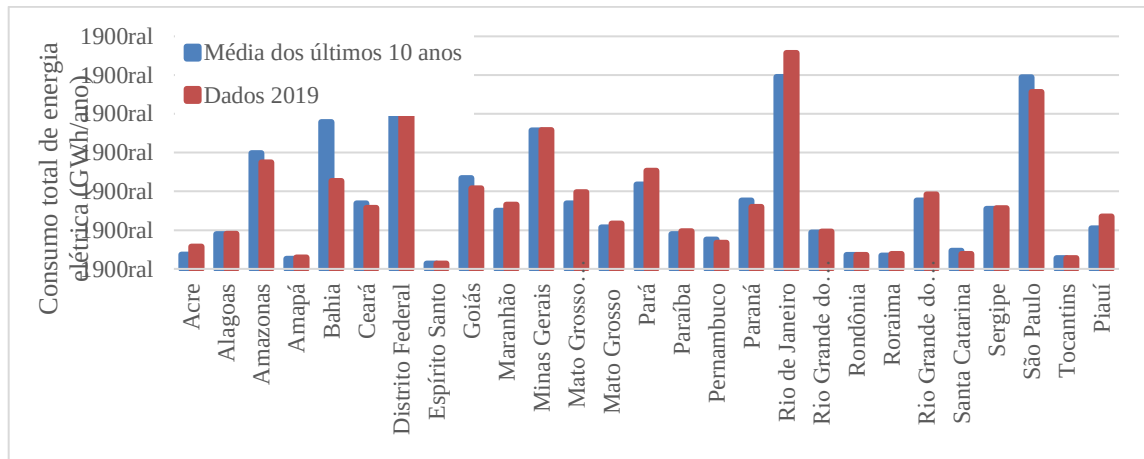
A seguir, seguem as análises dos dados de cada indicador citado acima. Os gráficos apresentados contêm as informações dos dados do ano de referência 2019 (em vermelho) e a média dos últimos dez anos em cada estado (na cor azul). A Figura 2 mostra o consumo total de energia elétrica das companhias estaduais. No gráfico, é possível observar a média do consumo em cada estado nos últimos 10 anos e os valores referentes ao ano de 2019. É possível observar que os dados de 2019 praticamente acompanham a média na maioria dos estados, este é um bom indicador para se prever consumos futuros.

A energia elétrica consumida nos sistemas de abastecimento de água é de suma importância e assim como não há sistema sem perdas de água, não existe operação sem uso de energia elétrica. Esta movimentação de infraestruturas eletromecânicas utilizadas na captação, na condução a estações de tratamento e armazenamento, além da distribuição para unidades consumidoras. O consumo total das companhias estaduais foi, em 2019, de 11,84 TWh, que corresponde a 89,3% dos 13,3 TWh utilizados pelos serviços de água e esgotos apurados na amostra.

De modo geral, O SNIS-AE identifica crescimento constante das despesas com energia elétrica. Este é mais relevante a partir de 2015, quando houve aumento de quase 50,0% das tarifas. Nesse ano, entrou em vigência o Sistema de Bandeiras Tarifárias (verde, amarela e

vermelha), acionado quando há restrição à geração por usinas hidrelétricas (energia mais barata). Em 2019, as despesas com energia elétrica dos prestadores dos serviços de água e esgotos alcançam R\$ 7,1 bilhões, crescimento de 12,7% em relação aos R\$ 6,2 bilhões de 2018.

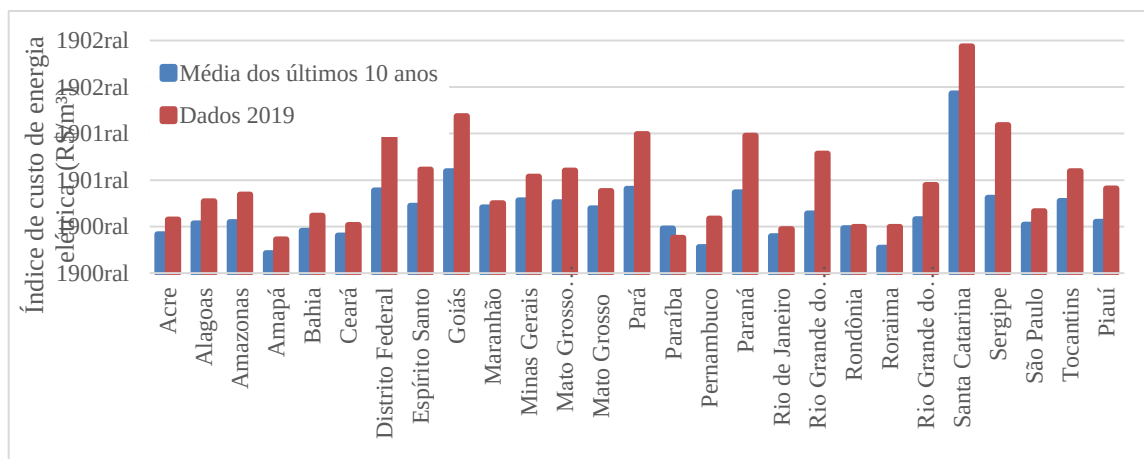
Figura 2 - Consumo total de energia elétrica das companhias de saneamento estaduais.



Fonte: Autor (2022)

A Figura 3 apresenta o índice de custo de energia elétrica nos estados brasileiros, onde se observa um significativo aumento dos valores referentes ao ano de 2019 em relação à média dos últimos 10 anos. Infelizmente esse aumento pode decorrer de vários fatores, como por exemplo a disponibilidade hídrica em cada estado. Em alguns estados os aumentos ultrapassam os valores dos 90%, como em Sergipe (96%), Rio Grande do Norte (100%), Pernambuco (108%). Em contrapartida, o único estado em que o valor de 2019 foi menor do que a média foi a Paraíba (-20%).

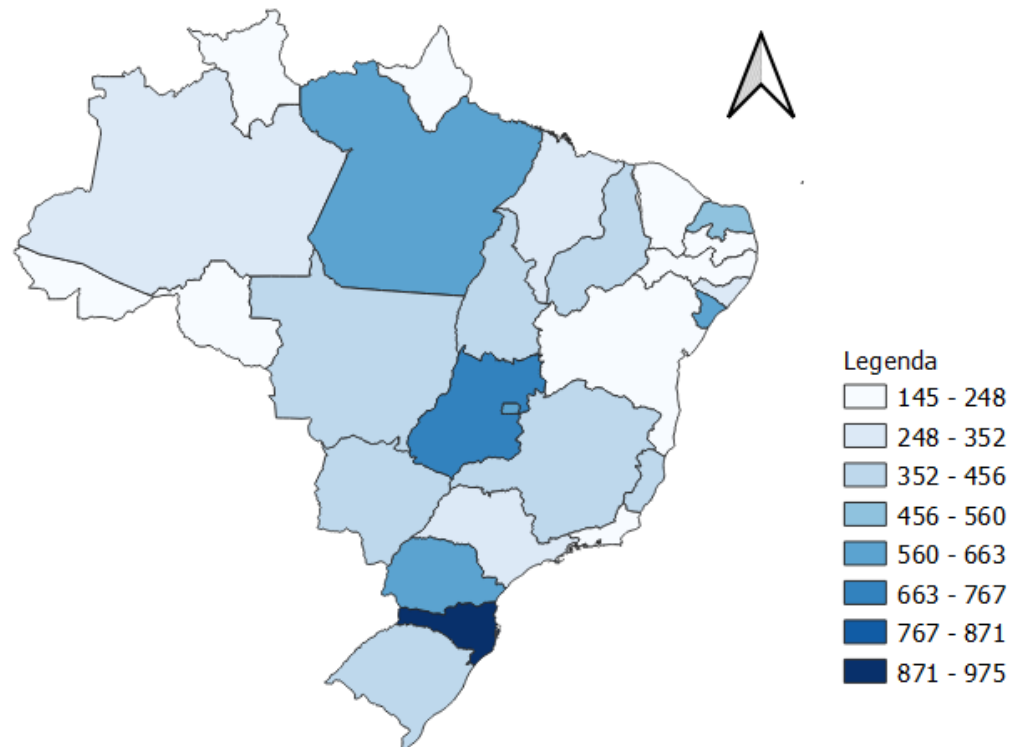
Figura 3 - Índice de custo de energia elétrica nos estados brasileiros.



Fonte: Autor (2022)

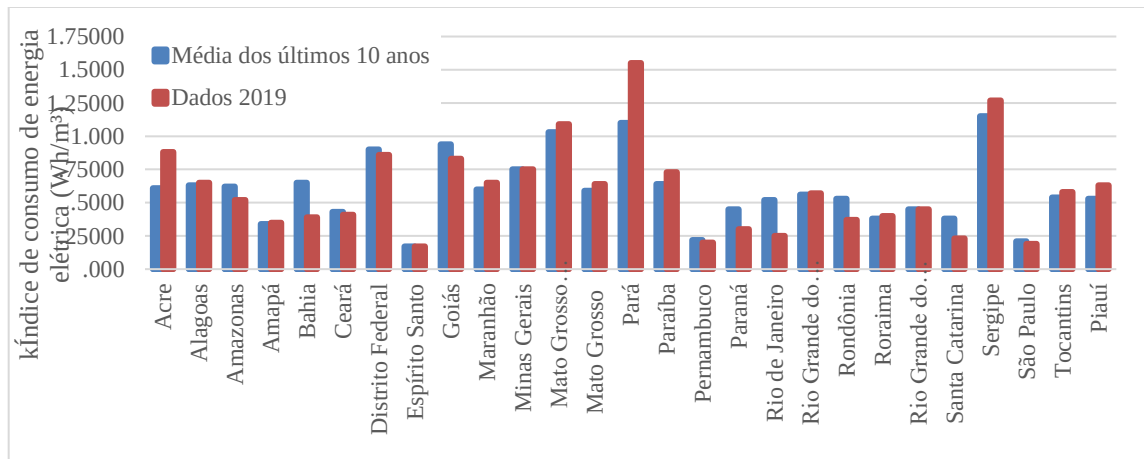
A Figura 4 apresenta um mapa do Brasil com os respectivos índices de consumo de energia elétrica estadual, onde se observa que as cores mais escuras indicam os estados com índices de energético mais elevados. Essa é uma representação relevante que auxilia os representantes de estado a analisarem quais estados tem os melhores desempenhos e qual o motivo.

Figura 4 - Mapa do índice de custo de energia das companhias estaduais, em R\$/ $(1000 \cdot m^3)$.



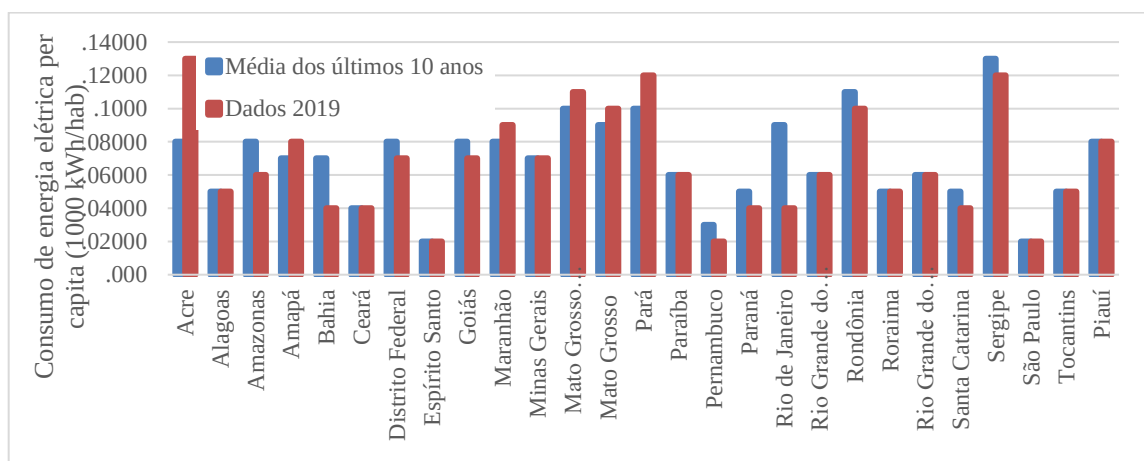
Fonte: Autor (2022)

O Diagnóstico SNIS dos Serviços de Água e Esgotos 2019 (BRASIL, 2021) aponta o índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água (IN058) de 0,59 kWh·m⁻³. Em 2019, o consumo de energia elétrica nos sistemas de água e de esgotos apresentam aumento de 2,7% e 1,3%, respectivamente, em relação a 2018. Observa-se que as despesas de energia elétrica apresentam aumento de 15,0% em relação ao ano anterior, provavelmente causado pelos aumentos tarifários da energia elétrica e a ampliação dos serviços de água e esgotos pela criação de novos sistemas (BRASIL, 2021). Na Figura 5, pode-se observar a comparação dos valores referentes ao ano de 2019 e a média dos últimos 10 anos em cada estado.

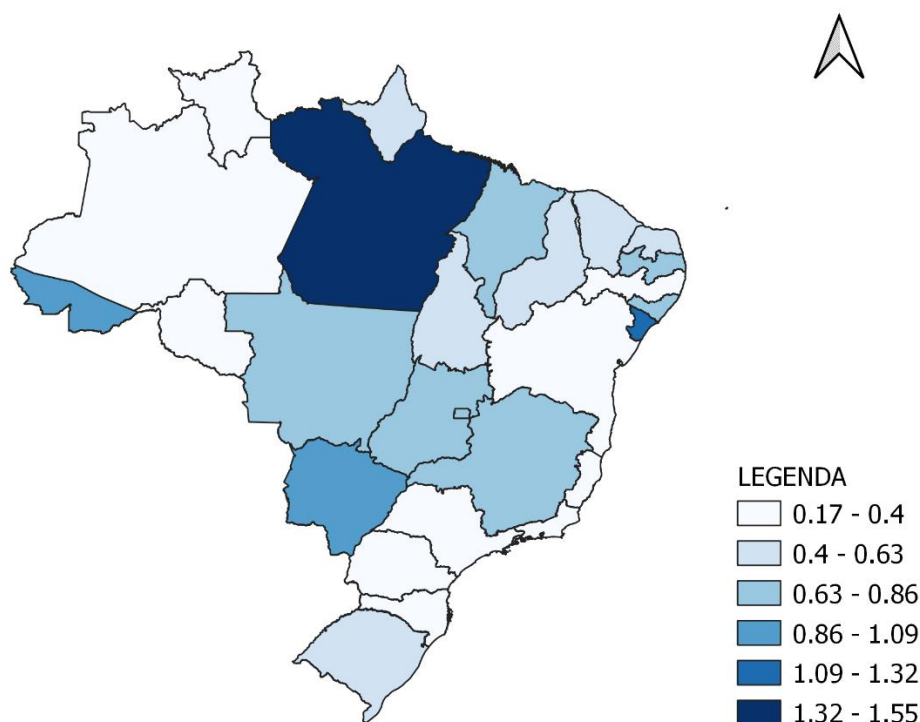
Figura 5 - Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água nos estados brasileiros.

Fonte: Autor (2022)

De posse de dois dados de informação do SNIS, o consumo energético nos sistemas de abastecimento de água e o valor da população total atendida com abastecimento de água, pode-se realizar através de uma simples razão, o consumo per capita. Este índice consegue representar os estados que mais consomem energia elétrica por habitante, impactando significativamente no índice de custo energético. Com o auxílio desses dados, é bastante plausível realizar-se uma previsão de consumo e necessidade energética nos estados brasileiros, podendo assim investigar-se formas alternativas e sustentáveis de abastecer os SAAs brasileiros. As Figuras 6 e 7 apresentam o consumo de energia elétrica per capita das companhias estaduais brasileiras.

Figura 6 - Consumo de energia elétrica per capita das companhias de saneamento estaduais.

Fonte: Autor (2022)

Figura 7 - Consumo de energia elétrica per capita (kWh/hab.) dos estados brasileiros.

Fonte: Autor (2022)

4.1 Correlação de Pearson

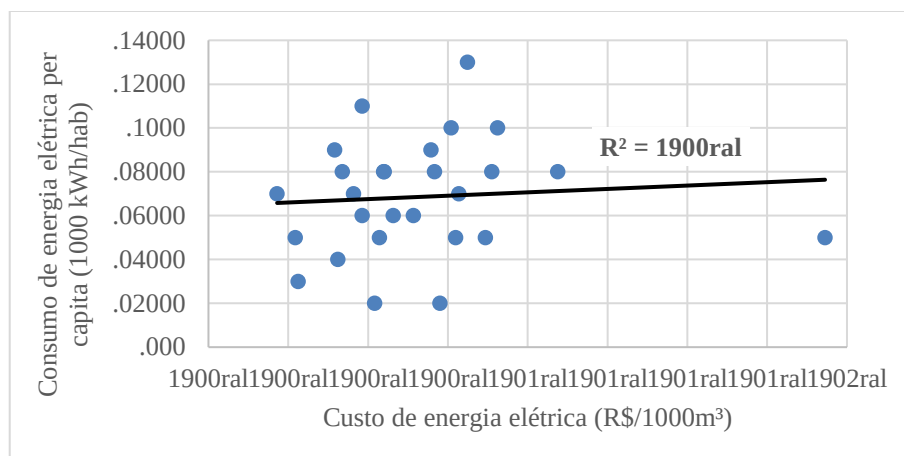
Os valores inseridos nos gráficos e utilizados para o cálculo do coeficiente R são os valores médios dos últimos 10 anos em cada estado brasileiro. Para análise da correlação, foi fixado o indicador do Consumo de energia elétrica per capita e todos os outros índices foram relacionados a este. Uma noção do valor do coeficiente R pode ser facilmente identificado através da inserção da “linha de tendência linear” do Excel® em gráficos de dispersão xy. Os gráficos para a análise de correlação são mostrados nas Figuras 8 a 11, enquanto os valores do coeficiente R são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores da correlação de Pearson para cada indicador.

Correlação	Coeficiente de determinação (R^2)	Coeficiente de Pearson (R)
Cper x AG028	0,009	0,09
Cper x IN058	0,606	0,78
Cper x CusEn	0,006	0,08

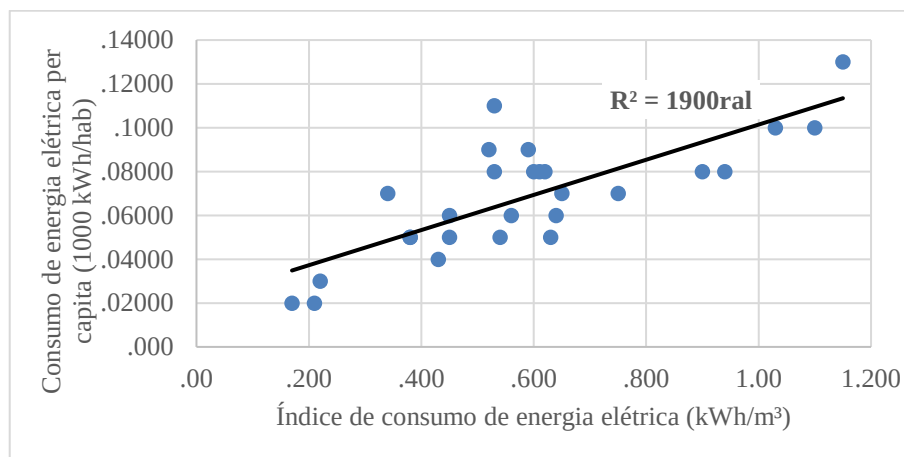
Fonte: Autor (2022)

Figura 8 - Gráfico de dispersão Consumo de energia elétrica per capita x Índice de custo de energia elétrica.



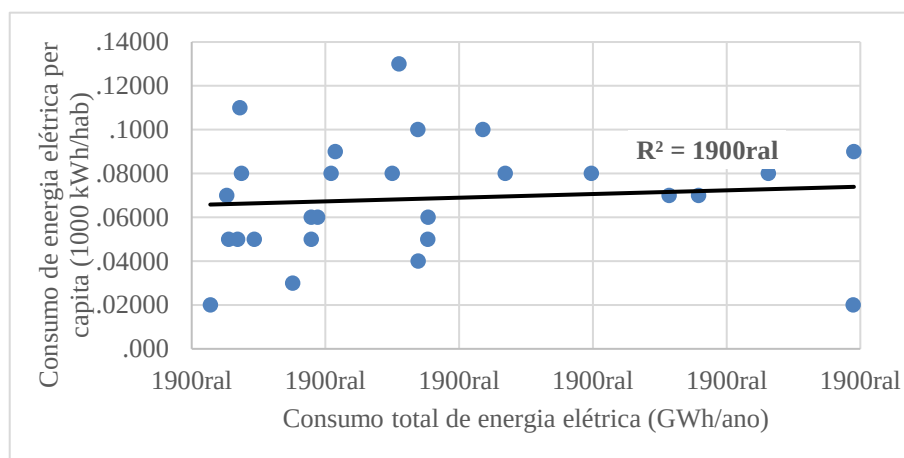
Fonte: Autor (2022)

Figura 9 - Gráfico de dispersão Consumo de energia elétrica per capita x Índice de consumo de energia elétrica.



Fonte: Autor (2022)

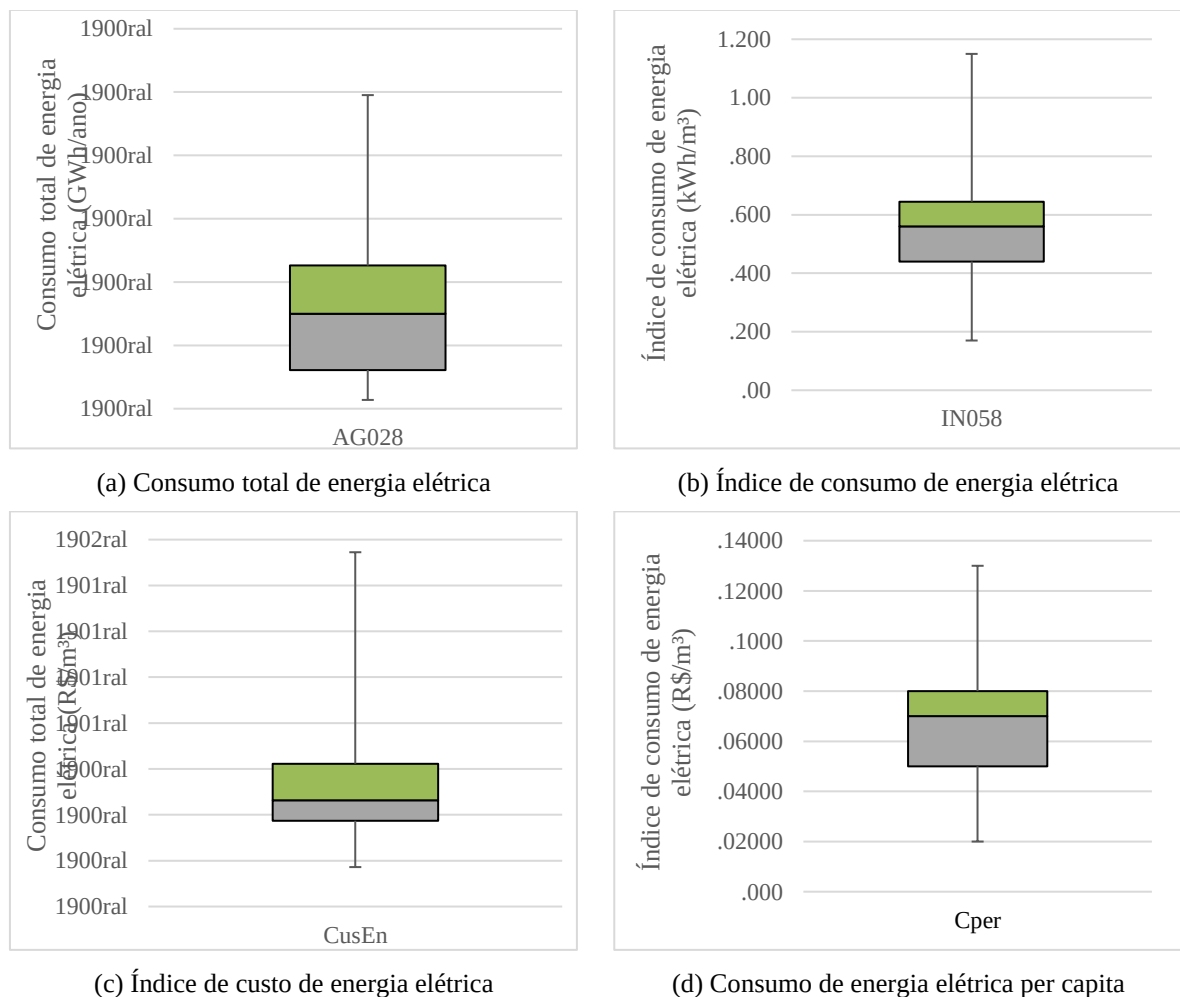
Figura 10 - Gráfico de dispersão Consumo de energia elétrica per capita x Consumo total de energia elétrica.



Fonte: Autor (2022)

Com o auxílio dos gráficos e o cálculo dos coeficientes de correlação, pode-se observar que os indicadores de Consumo total de energia elétrica das companhias (AG028) e o Índice de custo de energia elétrica (CusEn) possuem valor de correlação fraco em relação ao indicador Consumo de energia elétrica per capita (Cper), isso indica que as variáveis contínuas desses três indicadores praticamente não possuem nenhum senso de covariação. Uma análise estatística justifica essa fraca correlação devido aos muitos valores extremos encontrados nos indicadores, isto faz com que o gráfico de dispersão seja representado de forma espalhada apresentando pouca linearidade. Em contrapartida, o coeficiente R para o IN058 pode ser considerado forte, pois o seu valor ultrapassa 0,7, como definido por Dancey & Reidy (2005), apresentando uma forte correlação e linearidade entre as variáveis de Consumo per capita e o Índice de consumo de energia elétrica nos SAA. Tal fato pode ser analisado através dos gráficos boxplot (Figura 11) que representam os valores de máximo e mínimo, assim como os quartis de cada indicador.

Figura 11 - Gráficos boxplot dos valores médios brasileiros (dos últimos dez anos) de cada indicador.



Fonte: Autor (2022)

A existência de outliers, valores extremamente altos ou extremamente baixos, pode indicar tanto dados incorretos como dados válidos que carecem de uma atenção especial. Dependendo do objetivo pode ser que justamente os outliers sejam os pontos de interesse da análise. No caso deste estudo, os outliers não podem ser ignorados, pois são dados válidos das companhias brasileiras, mas que reduzem coeficiente de correlação R, dificultando a linearização dos dados, elevando a variância e o desvio padrão desses indicadores.

5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa avaliou os sistemas de abastecimento de água brasileiras através das companhias regionais de cada estado, tendo como base os indicadores de desempenho definidos pelo SNIS, relacionados ao consumo de energia, índice de consumo, custo médio e consumo de energia per capita. A avaliação dos serviços prestados fornece subsídios aos gestores para a priorização de investimentos nos sistemas mais ineficientes; propicia às agências reguladoras um estudo para comparação da prestação de serviços estudados; além de fornecer aos profissionais valores de referência para os indicadores. Dessa forma, foi possível avaliar os indicadores, notando uma correlação entre o Cper e o IN058, ou seja, nos últimos dez anos a relação entre o consumo médio de energia elétrica gasto com abastecimento de água por habitante e o índice de consumo médio de energia elétrica gasto para fornecer cada metro cúbico aos consumidores permaneceu linear, obtendo-se um coeficiente de Pearson de 0,78. Em contrapartida, não se obteve uma correlação forte com os outros dois indicadores (Consumo total de energia elétrica e o Custo médio gasto com energia elétrica para fornecer cada metro cúbico aos consumidores), no entanto as informações dos gráficos também são de grande importância para elaboração de planejamentos e propostas de melhorias futuras nos sistemas de abastecimento, a fim de se evitar perdas e otimizar o processo.

7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12211. **Estudo de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ACKOFF, Russell L. **Planejamento empresarial**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1981.

BAGGIO, Adelar Francisco; LAMPERT, Amauri Luis. **Planejamento organizacional**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2010.

BRANDT, M.; MIDDLETON, R.; WHEALE, G.; SCHULTING, F. **Energy efficiency in the water industry, a global research project**. Water Practice and Technology, v. 6, n. 2, 2011.

BRASIL. (2021). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2019. Brasília, Brasil.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Ministério de Minas e Energias. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. Brasília, 2010.

BARRETO, D. **Perfil do Consumo Residencial e Usos Finais da água**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 23-40, 2008.

BARROS FILHO, E. G.; SALVINO, L. R.; BEZERRA, S. T. M.; SALVINO, M. M.; GOMES, H. P. **Intelligent system for control of water distribution networks**. Water Science and Technology: Water Supply, v. 18, n. 4, p. 1270-1281, 2018.

BEZERRA, S. T. M.; DA SILVA, S. A.; GOMES, H. P. **Operational optimisation of water supply networks using a fuzzy system**. Water SA, v. 38, n. 4, p. 565-572, 2012.

BUREK, Peter et al. **Water Futures and Solution: Fast Track Initiative (Final Report)**. IIASA Working Paper. Laxenburg, Austria: IIASA, 2016.

CASTEJON, Rosana. **A pertinência do planejamento estratégico para os gestores**. Revista Eletrônica de Administração, v. 4, n. 1, 2005.

COHEN, Jacob. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Hillsdale, NJ, Erlbaum, 1988.

DANCEY, Christine; REIDY, John. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre, Artmed, 2006.

FERREIRA, Jorge Fernando Hungria. **Avaliação do consumo e da despesa de energia elétrica no estudo de concepção de sistema de abastecimento de água**. 2019. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

GOSLING, S. N.; ARNELL, N. W. **A global assessment of the impact of climate change on water scarcity**. Climatic Change, v. 134, n. 3, p. 371-385, 2016.

GRIGGS, D.; STAFFORD-SMITH, M.; GAFFNEY, O.; ROCKSTRÖM, J.; ÖHMAN, M. C.; SHYAMSUNDAR, P.; ... NOBLE, I. **Sustainable development goals for people and planet**. Nature, v. 495, n. 7441, p. 305-307, 2013.

GUPPY, Lisa; ANDERSON, Kelsey. **Global water crisis: the facts**. United Nations University. 2017.

HAGUIUDA, C.; SANTOS NETTO, L. F.; COURA, S. P. **Gestão de Energia Elétrica da SABESP na Região Metropolitana de São Paulo, Racionalização do Uso e Redução dos Gastos.** Revista Saneas. n.9. VII Encontro técnico AESABESP, São Paulo, 1996.

HARDY, L.; GARRIDO, A.; JUANA, L. **Evaluation of Spain's water-energy nexus.** International Journal of Water Resources Development, v. 28, n. 1, p. 151-170, 2012.

HE, G.; ZHAO, Y.; WANG, J.; LI, H.; ZHU, Y.; JIANG, S. **The water-energy nexus: energy use for water supply in China.** International Journal of Water Resources Development, v. 35, n. 4, p. 587-604, 2019.

KENNEY, D. S.; WILKINSON, R. (Eds.). **The water-energy nexus in the American West.** Edward Elgar Publishing, 2011.

KOTLER, Philip; ARMSTRONG, Gary. **Principios de Marketing.** 12. Ed. Madrid: Pearson Educación, S.A., 2008.

LEE, M.; KELLER, A. A.; CHIANG, P. C.; DEN, W.; WANG, H.; HOU, C. H.; ... YAN, J. **Water-energy nexus for urban water systems: A comparative review on energy intensity and environmental impacts in relation to global water risks.** Applied Energy, v. 205, p. 589-601, 2017.

LITTLE, K. W.; McCRODDEN, B. J. **Minimization of Raw Water Pumping Cost Using MILP.** Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, v. 115, n. 4 p. 511-522, 1989.

MORSCH, M. R. S.; MASCARÓ, J. J.; PANDOLFO, A. **Sustentabilidade Urbana: recuperação dos rios como um dos princípios da infraestrutura verde.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 305-321, 2017.

ORMSBEE, Lindell; WALSKI, Tom. **Identifying Efficient Pump Combinations.** Journal American Water Works Association. v. 81, 1989.

RINGLER, C.; BHADURI, A.; LAWFORD, R. **The nexus across water, energy, land and food (WELF): potential for improved resource use efficiency.** Current Opinion in Environmental Sustainability, v. 5, n. 6, p. 617-624, 2013.

SALOMONS, E.; HOUSH, M. **A practical optimization scheme for real-time operation of water distribution systems.** Journal of Water Resources Planning and Management, v. 146, n. 4, p. 04020016, 2020.

SANTOS, Layara de Paula Sousa; SOARES; Alexandre Kepler; SILVA; Sérgio Soares da. **Eficiência hidroenergética em sistemas de distribuição de água: uma discussão teórica.** XIV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental. Brasília. 2016.

SANTOS, Aline Christian Pimentel Almeida; PEREIRA, José Almir Rodrigues. **SIG no gerenciamento de SAAS.** Revista DAE, p. 776-86, 2016.

VILANOVA, M. R. N.; BALESTIERI, J. A. P. **Exploring the water-energy nexus in Brazil: The electricity use for water supply.** Energy, v. 85, p. 415-432, 2015.

EMANNUEL HENRIQUE PIANCÓ DA SILVA MARTINS

**NEXO ÁGUA-ENERGIA: AVALIAÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA NAS
COMPANHIAS DE SANEAMENTO BRASILEIRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.
Defesa realizada por videoconferência.

Área de concentração: Recursos hídricos

Aprovado em 27 de maio de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho (Avaliador)
Universidade Federal de Pernambuco

M. Sc. Lyanne Cibely Oliveira de Sousa (Avaliadora)
Universidade Estadual da Paraíba