

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DE ENERGIA E
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

ADRIANA APARECIDA JACOBBER

**APLICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR DE
SANEAMENTO BÁSICO**

CAMPINAS/SP
2024

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DE ENERGIA E
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

ADRIANA APARECIDA JACOBBER

**APLICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR DE
SANEAMENTO BÁSICO**

Trabalho de graduação apresentado por Adriana Aparecida Jacobber, como pré-requisito para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Gestão de Energia e Eficiência Energética, da Faculdade de Tecnologia de Campinas, elaborado sob a orientação do Prof. Dr. Francisco Del Moral Hernández.

CAMPINAS/SP
2024

RESUMO

Com a aprovação do novo marco regulatório do saneamento básico, que prevê contratos com metas de desempenho que objetiva aumentar a eficiência, a qualidade e garantir a universalização dos serviços, bem como o objetivo de desenvolvimento sustentável de número sete da Organização das Nações Unidas, que estabelece a universalização do acesso à energia, através da inclusão de energias renováveis, este trabalho tem como objetivo avaliar as principais tecnologias voltadas à transição de energia e eficiência energética que estão sendo implementadas no setor de saneamento básico no Brasil. No cenário nacional, o setor de saneamento apresentou um aumento de 40% no consumo de energia elétrica durante o 1º semestre do ano de 2023 até o 1º semestre de 2024. O aumento da demanda por energia contribui com o aumento das emissões de gases do efeito estufa, onde o Brasil é o sexto maior emissor do mundo. Neste aspecto, a metodologia aplicada foi de pesquisa bibliográfica e documental e foi selecionado duas prestadoras de serviço de grande porte para análise qualitativa e quantitativa dos dados e informações coletadas. Os resultados demonstraram que as prestadoras de serviço estão adotando as principais medidas voltadas à eficiência energética em suas unidades operacionais.

Palavras-chave: saneamento básico; eficiência energética; energia renovável; água; esgoto.

ABSTRACT

With the approval of the new regulatory framework for basic sanitation, which provides for contracts with performance targets that aim to increase efficiency, quality and guarantee the universalization of services, as well as the sustainable development objective number seven of the United Nations, which establishes the universalization of access to energy, through the inclusion of renewable energy, this work aims to evaluate the main technologies aimed at energy transition and energy efficiency that are being applied in the basic sanitation sector in Brazil. On a national level, the sanitation sector recorded a 40% increase in electricity consumption during the 1st half of 2023 to the 1st half of 2024. The increase in demand for energy contributes to the increase in greenhouse gas emissions, where Brazil is the sixth largest emitter in the world. In this aspect, a bibliographic and documentary research methodology was applied and two large service providers were selected for qualitative and quantitative analysis of the data and information collected. The results demonstrated that service providers are adopting the main energy efficiency measures in their operational units.

Keywords: basic sanitation; energy efficiency; renewable energy; water; sewage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Matriz energética mundial no ano de 2021 (em %).	12
Figura 2: Matriz energética brasileira no ano de 2023 (em %).	12
Figura 3: Matriz elétrica mundial no ano de 2021 (em %).	13
Figura 4: Matriz elétrica brasileira no ano de 2023 (em %).	13
Figura 5: Emissões de gases de efeito estufa do Brasil de 1990 a 2022 (GtCO ₂ e).	15
Figura 6: Resumo das trajetória de emissões líquidas proposta para o Brasil.	15
Figura 7: Consumo de energia por ramo de atividade econômica no mercado livre em maio (em %).	18
Figura 8: Consumo energético no setor de saneamento durante o período de 2012 a 2021.	19
Figura 9: Índice de consumo de energia elétrica (kWh/m ³) nos sistemas de abastecimento de água de 2017 a 2021, segundo macrorregião e estados.	20
Figura 10: Funcionalidades do sistema Scada em uma ETA: tela dos níveis dos reservatórios de água tratada.	23
Figura 11: Funcionalidades do sistema Scada em uma ETA: tela das EEATs.	23
Figura 12: Funcionalidades do sistema Scada em uma ETA: tela do histórico de eventos.	24
Figura 13: Funcionalidades do sistema Scada em uma ETA: tela de comunicação das URs.	24
Figura 14: Funcionalidades do sistema Scada em uma ETA: tela de enlace.	24
Figura 15: Etapas de produção do biogás.	29
Figura 16: Estação de tratamento com energia solar instalada em Mogi Mirim- SP.	37
Figura 17: Índice de consumo de energia elétrica da Sabesp, localizada no município de Suzano - SP.	38
Figura 18: Planta de produção de bioenergia na ETE Ouro Fino: armazenamento de metano.	40
Figura 19: Índice de consumo de energia elétrica da Sanepar - Foz do Iguaçu.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Processos que consomem energia na fase operacional e na manutenção de sistemas de água e esgoto.....	20
Tabela 2: Potencial técnico de recuperação de energia elétrica no setor de saneamento.....	26
Tabela 3 - Possíveis percentuais de concentração do biogás.....	29
Tabela 4 – Quantidade de empresas nacionais no mercado livre de energia.....	30
Tabela 5 – Indicadores de desempenho da Sabesp.....	35
Tabela 6 – Consumo de energia e intensidade energética da Sanepar.	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	JUSTIFICATIVA.....	9
1.2	OBJETIVOS	9
1.2.1	OBJETIVO GERAL	9
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1	FONTES DE ENERGIA (RENOVÁVEIS E NÃO RENOVÁVEIS)	11
2.1.1	Matriz energética: cenário global e nacional	11
2.1.2	Impacto ambiental das fontes não renováveis de energia	14
2.1.3	Transição energética	15
2.2	UNIVERSALIZAÇÃO DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL	16
2.3	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR DE SANEAMENTO BÁSICO	17
2.3.1	Automação dos processos	21
2.3.2	Eficiência energética em sistemas de bombeamento	25
2.3.3	Energia fotovoltaica	26
2.3.4	Energia eólica	27
2.3.5	Biogás	28
2.4	COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA	30
3	METODOLOGIA	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1	SABESP	33
4.1.1	Transição e eficiência energéticas	33
4.1.2	Energia fotovoltaica	34
4.1.3	Uso do biometano	34
4.1.4	Outras fontes de geração	34
4.1.5	Indicadores de desempenho	35
4.1.6	ETE Mogi Mirim – SP	36
4.1.7	ETA Suzano – SP	37
4.2	SANEPAR.....	38

4.2.1	ETE Ouro Fino – Foz do Iguaçu.....	39
5	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

GLOSSÁRIO DE SIGLAS

- Abceólica:** Associação Brasileira de Energia Eólica
- Abraceel:** Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia
- Absolar:** Associação Brasileira de Energia Fotovoltaica
- AESabesp:** Associação dos Engenheiros da Sabesp
- ACL:** Ambiente de Contratação Livre
- ACR:** Ambiente de Contratação Regulada
- Aneel:** Agência Nacional de Energia Elétrica
- BRT:** *Bus Rapid Transit*
- BID:** Banco Interamericano de Desenvolvimento
- CCEE:** Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
- CGH:** Centrais Geradoras Hidrelétricas
- CLP:** Controlador Lógico Programável
- CR:** Centro de Reservação
- EEAT:** Estação Elevatória de Água Tratada
- EPE:** Empresa de Pesquisa Energética
- ETA:** Estação de Tratamento de Água
- ETE:** Estação de Tratamento de Esgoto
- GEE:** Gás do Efeito Estufa
- GWEC:** *Global Wind Energy Council*
- GIZ:** *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH* - Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável
- GPRS:** *General Packet Radio Service* / Serviço Geral de Pacote de Rádio
- HTTP:** *Hypertext Transfer Protocol* / Transferência de Hipertexto /
- MIDR:** Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional
- MME:** Ministério de Minas e Energia
- MUT:** Emissões por Mudança de Uso da Terra e Florestas
- NCI:** Emissões e Remoções Não Contabilizadas no Inventário Brasileiro
- ODS:** Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
- ONU:** Organização das Nações Unidas
- OC:** Observatório do Clima
- PCH:** Pequena Central Hidrelétrica
- PIUP:** Emissões do Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos

PNEF: Plano Nacional de Eficiência Energética

PROEESA: Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água

SNIS: Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento.

SNS: Secretaria Nacional de Saneamento.

SCADA: *Supervisory Control and Data Acquisition* / Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados

RTU: *Remote Terminal Unit* / Unidades Remotas Terminais

UFF: Usina Fotovoltaica Flutuante

SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SANEPAR: Companhia de Saneamento do Paraná.

1 INTRODUÇÃO

Com as expectativas de investimentos cada vez maiores nos setores de saneamento, principalmente após a aprovação do novo marco regulatório do saneamento básico, introduzido pela Lei Nº 14.026/2020, onde prevê contratos com metas de desempenho que objetiva aumentar a eficiência, a qualidade e garantir a universalização dos serviços, este estudo se propõe avaliar as principais tecnologias voltadas à transição e eficiência energética no setor de saneamento básico no Brasil.

De acordo com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (2024), o setor de saneamento apresentou um aumento de 40% no consumo de energia elétrica durante o 1º semestre do ano de 2023 até o 1º semestre de 2024.

A nível mundial, o acesso à água potável e saneamento, bem como a inclusão de energias renováveis e o desenvolvimento de infraestrutura e tecnologias, estão inseridas nos objetivos de número seis e sete de desenvolvimento sustentável – consecutivamente (ODS 6 e 7) da Organização das Nações Unidas (ONU) para serem alcançadas até o ano de 2030, de modo que haja a universalização do acesso destes serviços (ONU, 2024).

Contudo, em meio a um cenário de crescente demanda do consumo energético e de metas de universalização do acesso aos serviços de saneamento e de energia, o mundo está passando por mudanças climáticas, que estão cada vez mais frequentes e extremas devido ao aumento de emissões de gases do efeito estufa (GEEs) na atmosfera, que torna a implementação de tecnologias e processos voltados à eficiência energética fundamental e urgente.

Segundo o Observatório do Clima (2024), dos cinco pilares estudados para redução dos GEEs que contribuem com a melhora do clima e trazem vantagens econômicas, o setor de saneamento apresenta grande contribuição no cumprimento de dois: realizar a transição energética para fora dos combustíveis fósseis e melhorar a gestão de resíduos.

A automatização dos processos, bem como a construção de usinas solares, a construção de sistemas eólicos, a utilização do biogás como fonte geradora de energia e a realização de melhorias nos sistemas de bombeamento - uma vez que estes apresentam maior contribuição no consumo de energia elétrica das unidades operacionais, são algumas medidas que as prestadoras de serviço de saneamento podem adotar para alcançar a eficiência energética.

Neste sentido, este trabalho se propôs avaliar as principais tecnologias voltadas à transição e eficiência energética que estão sendo implementadas no setor de saneamento básico

no Brasil através da seleção de grandes prestadoras de serviço, de modo a alcançar as metas nacionais e internacionais de desenvolvimento sustentável.

1.1 JUSTIFICATIVA

No ano de 2020, foi estabelecida no Brasil a Lei Nº 14.026 conhecida como “marco legal do saneamento básico”, que prevê contratos com metas de desempenho que objetiva aumentar a eficiência, a qualidade e garantir a universalização dos serviços (Brasil, 2020).

Em consonância com esta Lei, mas a nível mundial, a ONU estabeleceu como ODS de número 7, o acesso à energia, através da inclusão de energias renováveis e o desenvolvimento de infraestrutura e tecnologias até o ano de 2030.

A implementação de tecnologias e processos voltados à eficiência energética contribui de forma significativa para a redução de emissões de gases do efeito estufa na atmosfera e traz vantagens econômicas.

Sendo assim, acredita-se que a adoção destas melhoras irá aumentar o desempenho dos prestadores de serviço de saneamento básico no Brasil, não só nos indicadores de potencial energético, como também, na redução de perdas de águas, além de obter benefícios econômicos, ambientais e sociais.

Neste sentido, este trabalho irá avaliar as principais tecnologias que estão sendo implementadas no setor de saneamento básico para alcançar a transição de energia e a eficiência energética.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo avaliar as principais tecnologias voltadas à transição e eficiência energética que estão sendo implementadas no setor de saneamento básico no Brasil.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a revisão bibliográfica sobre as principais tecnologias voltadas à transição e eficiência energética que estão sendo implementadas no setor de saneamento básico no Brasil;

- Selecionar os prestadores de serviço de grande porte pelo mesmo critério de análise;
- Verificar as tecnologias que estão sendo mais utilizadas pelos prestadores selecionados;
- Analisar os indicadores de despesas e de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário das unidades operacionais selecionadas durante o período de cinco anos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FONTES DE ENERGIA (RENOVÁVEIS E NÃO RENOVÁVEIS)

As fontes não renováveis de energia, também conhecidas como convencionais, são finitas ou esgotáveis e podem ser divididas em fontes fósseis e nuclear.

O carvão mineral, gás natural e o petróleo e seus subprodutos são exemplos de fontes fósseis de energia, muito utilizadas em equipamentos especiais, como caldeiras e motores. Já a energia nuclear, geralmente aplicada no acionamento de geradores elétricos, é proveniente de reações que ocorrem no núcleo de certos átomos chamados de radioativos. O urânio é o único elemento natural que realiza a fissão nuclear (EPE, 2024a).

Por outro lado, a energia proveniente de fontes renováveis (ou “limpas”) são fontes que emitem menos gases do efeito estufa (GEE) – quando comparadas com as fontes não renováveis de energia. São compostas por fontes hídricas, solar, eólica, biomassa, geotérmica e oceânica (EPE 2024a).

De acordo com a EPE (2024b), o Brasil dispõe de um sistema gerador com capacidade instalada de mais de 150 GW, com predominância hidrelétrica, devido à extensa superfície territorial do país, com muitos planaltos e rios caudalosos. O potencial hidrelétrico do país é estimado em 172 GW, dos quais mais de 60% já foram aproveitados.

O sistema hidrelétrico possui grande vantagem operacional por serem recursos flexíveis, onde o controle pode ser realizado por sistemas automáticos de geração, tensão e frequência, bem como na regularização dos níveis dos reservatórios de água (EPE, 2024b; UENO, 2024).

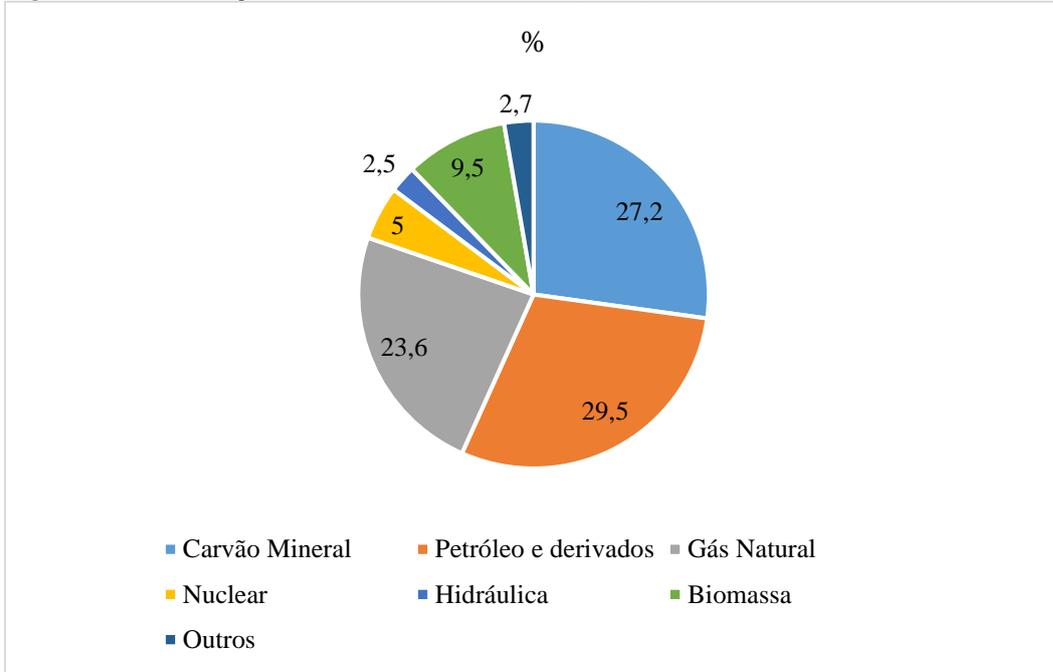
Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), o país conta com 219 usinas hidrelétricas de grande porte em operação, além de 425 pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e 739 centrais geradoras hidrelétricas (CGHs). Destas, Itaipu Binacional, Belo Monte e Tucuruí estão entre as dez maiores hidrelétricas do mundo (Energia, 2022).

2.1.1 Matriz energética: cenário global e nacional

Ao contrário dos demais países do mundo, que juntos apresentam uma matriz energética composta por, aproximadamente, 85% de fontes não renováveis, o Brasil apresenta cerca de 55% e o restante (45%), por fontes renováveis (EPE 2024c).

Em contrapartida, a matriz elétrica brasileira é composta por 85% de fontes renováveis de energia e os demais países do mundo juntos, representam, apenas, 28%, conforme apresentado nas figuras 1 a 4 (EPE, 2024c).

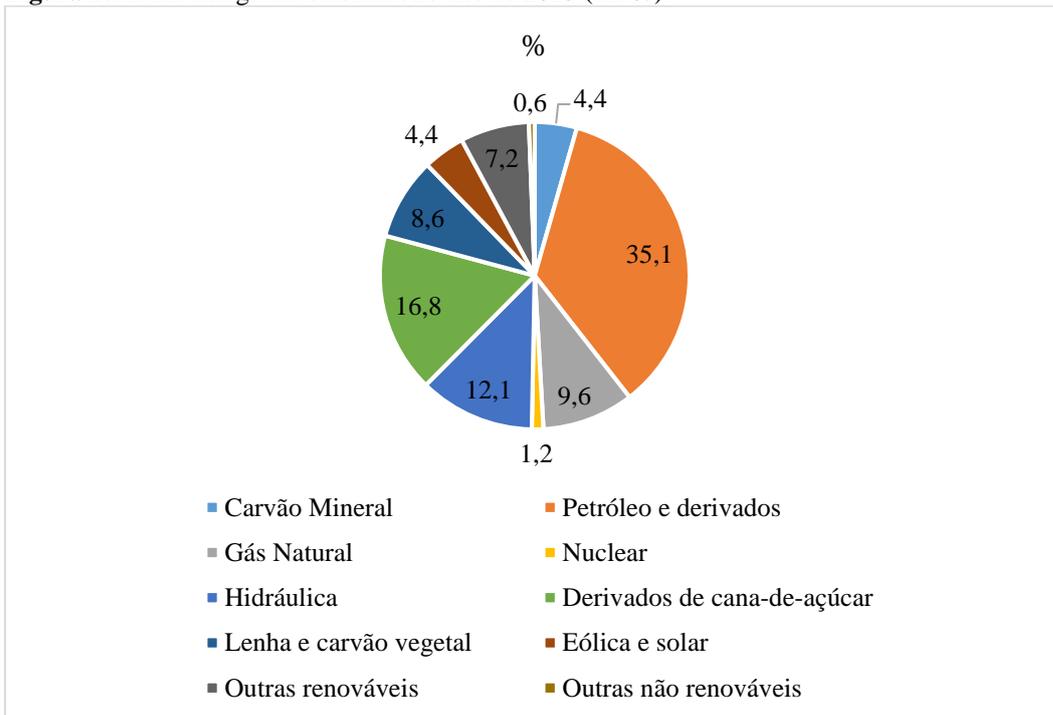
Figura 1:Matriz energética mundial no ano de 2021 (em %).



Obs.: Total em 2021: 618 milhões de terajoule (TJ).

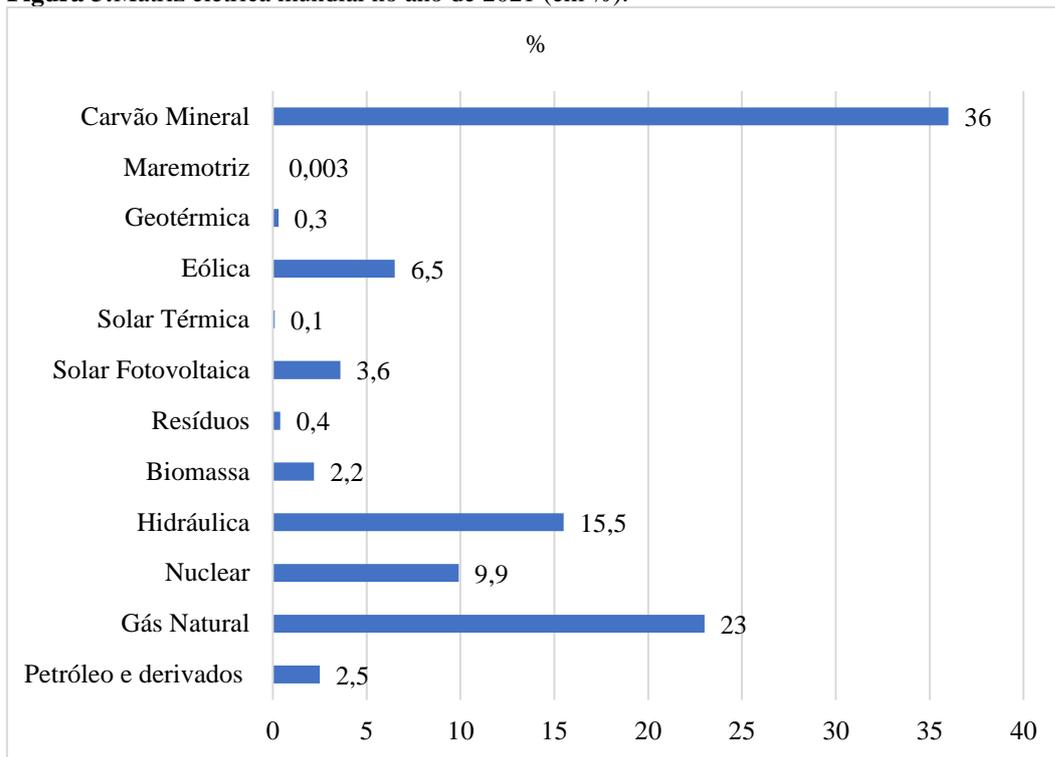
Fonte: Adaptado de IEA (2023) *apud* EPE (2024c).

Figura 2:Matriz energética brasileira no ano de 2023 (em %).



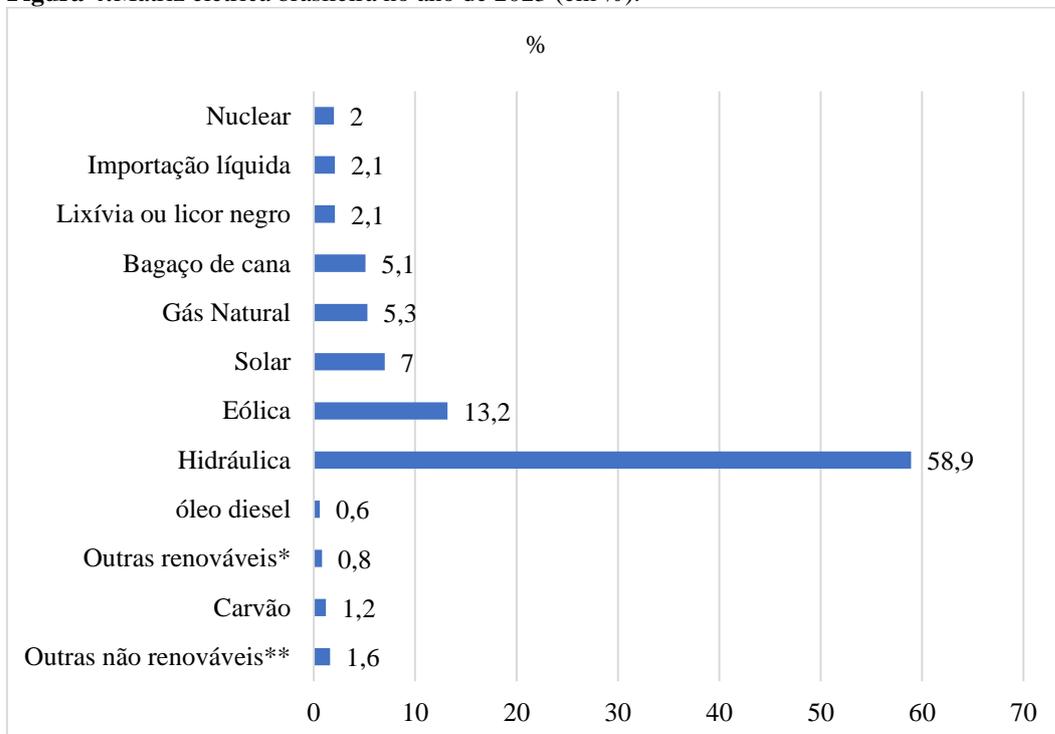
Obs.: Total em 2023: 314 milhões de tonelada equivalente de petróleo (tep).

Fonte: Adaptado de BEN (2024) *apud* EPE (2024c).

Figura 3:Matriz elétrica mundial no ano de 2021 (em %).

Obs.: Total em 2021: 28,5 milhões de gigawatt-hora (GWh).

Fonte: Adaptado de IEA (2023) *apud* EPE (2024c).

Figura 4:Matriz elétrica brasileira no ano de 2023 (em %).

Obs.: Total em 2023: 708 terawatt-hora (TWh).

(*) incluindo lenha, biodiesel e outras renováveis;

(**) incluindo óleo combustível, gás de coque, outras secundárias e outras não renováveis; lixívia ou licor negro: fluido proveniente do processo de cozimento da madeira no processo de extração de celulose e que é utilizado como combustível em termelétricas.

Fonte: Adaptado de BEN (2024) *apud* EPE (2024c).

2.1.2 Impacto ambiental das fontes não renováveis de energia

A maioria dos países ainda fazem uso das fontes não renováveis (ou convencionais) de energia devido ao elevado rendimento energético destas fontes, como também, por apresentam poucas perdas de energia no processo de transformação e apresentam preços atrativos. No entanto, estas fontes são responsáveis por grande parte das emissões dos gases de efeito estufa na atmosfera, que impactam a saúde e o meio ambiente. Além disso, pode haver outros impactos ambientais ao longo do processo, como vazamentos de óleo na extração ou no transporte (no caso do petróleo); por lixiviação de resíduos para os rios, durante o processo de extração do carvão da terra e o risco de contaminação radioativa pelo mal armazenamento do rejeito do aproveitamento da energia do urânio (EPE, 2024a).

A geração de energia por meio de fontes convencionais resultou em graves acidentes ambientais no Brasil, como o que ocorreu em 1984, na Vila Socó (atual Vila São José) em Cubatão-SP, onde ocorreu uma explosão em um oleoduto da Petrobrás, espalhando 700 mil litros de gasolina que resultou em um incêndio, totalizando 508 óbitos (Freitas *et al.*, 1995 *apud* Glickman, 1992, Sevá Filho, 1993, WHO, 1992).

No ano 2000, houve também o rompimento de um duto da Petrobras que ocasionou no vazamento de 1,3 milhão de litros de óleo combustível na Baía de Guanabara. O acidente atingiu cerca de 25 praias e afetou diretamente o trabalho de muitas famílias que viviam da pesca, além do ecossistema local (Castilho, 2024).

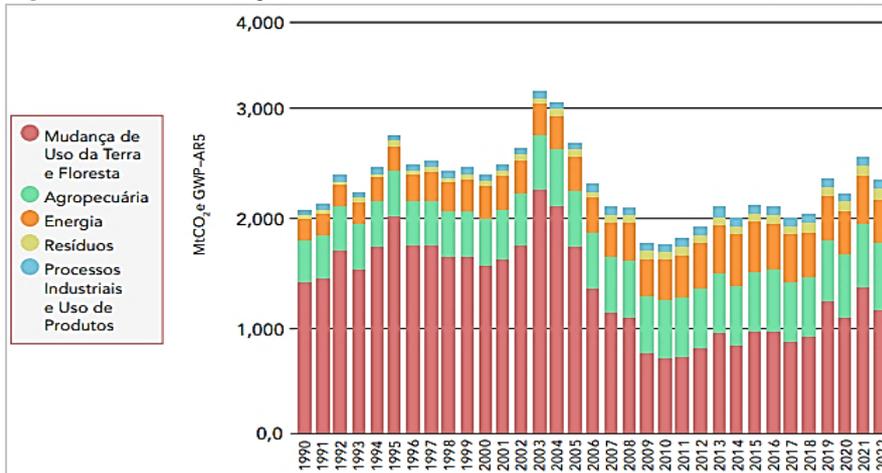
Outro acidente que teve grande repercussão, considerado um dos maiores desastres na história petrolífera brasileira, foi o naufrágio da plataforma da Petrobras P-36, na Bacia de Campos, no interior do Rio de Janeiro no ano de 2001. O acidente começou com a explosão de algumas colunas e, gradualmente, a plataforma foi imergindo nas águas até naufragar, entre outros (Castilho, 2024).

As ocorrências citadas podem ser mitigadas com medidas preventivas para elevar a segurança do processo. Contudo, a emissão dos GEEs é inevitável quando se utiliza fontes não renováveis de energia, que incluem os gases do dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), CCF-12 e o HCFC-22, sendo o CO₂ (CO) o mais importante, dado o impacto pelo seu volume. Esta emissão pode ser proveniente de queimadas naturais e vulcões, mas a maior parte provém de atividades antropogênicas, como a geração de energia e a agricultura (Lima; Hamzagic, 2022).

O Brasil é o sexto maior emissor de gases do efeito estufa do mundo. Em 2022, as emissões destes gases foram de 2,3 bilhões de toneladas de gás carbônico equivalente (GtCO₂

e), onde as três atividades de maior emissão de GEEs (durante os anos de 1990 a 2022) foram as atividades relacionadas a mudança de uso da terra e florestas, seguida da agropecuária e, em sequência, o setor energético, conforme mostra a Figura 5 (OC, 2024; SEEG, 2024)

Figura 5: Emissões de gases de efeito estufa do Brasil de 1990 a 2022 (GtCO₂e).

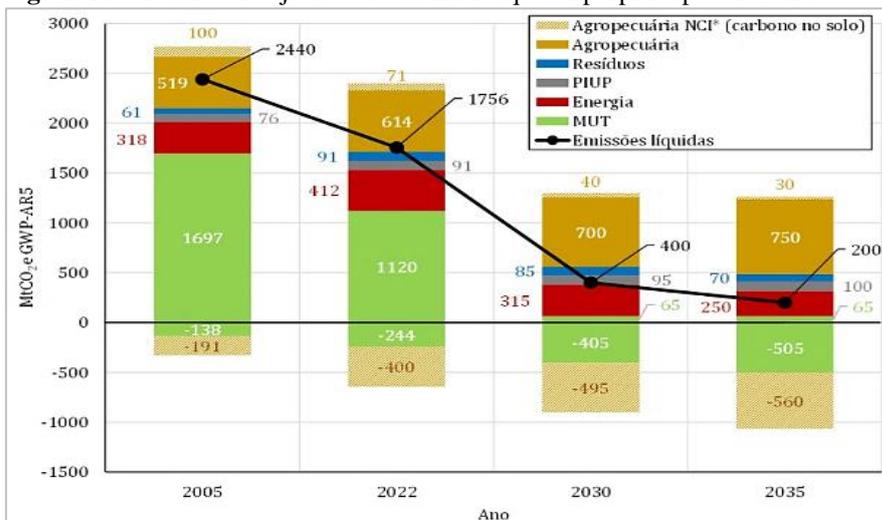


Fonte: SEEG (2024).

2.1.3 Transição energética

Na Figura 6 é mostrado um resumo das trajetórias de emissões líquidas de GEE proposta para o Brasil pelo Observatório do Clima, onde é possível verificar uma redução considerável de emissões geradas pelo setor de energia ao longo dos anos.

Figura 6: Resumo das trajetória de emissões líquidas proposta para o Brasil.



Legendas:

* NCI: Referem-se a emissões e remoções não contabilizadas no Inventário brasileiro;

* PIUP: Emissões do setor de processos industriais e uso de produtos;

* MUT: Emissões por mudança de uso da terra e florestas.

Fonte: OC (2024).

Para alcançar estes índices, “o país precisa cortar suas emissões de GEEs em pelo menos 92% até 2035 em relação a 2005, quando o país emitiu 2.440 milhões de toneladas de CO₂ equivalente, para limitar o aquecimento da Terra a 1,5°C acima do período pré-industrial, como determina o Acordo de Paris. Isso significa limitar a emissão a 200 milhões de toneladas líquidas” (OC, 2024).

O cumprimento da meta se apoia em cinco pilares principais, que altera e transforma a economia brasileira, conforme segue:

- (1) A redução do desmatamento a quase zero em todo o país (limitado a um máximo de 100 mil hectares por ano a partir de 2030);
- (2) A recuperação do passivo do Código Florestal, de 21 milhões de hectares de cobertura vegetal;
- (3) O sequestro maciço de carbono no solo pela forte expansão de práticas agropecuárias de baixa emissão;
- (4) A transição energética para fora dos combustíveis fósseis;
- (5) A melhoria da gestão de resíduos (OC, 2024).

Segundo o OC (2024), “no setor de energia, as ações incluem uma forte expansão do transporte público, com a construção de 4.000 km de vias de BRT (*bus rapid transit*), a substituição total da gasolina por biocombustíveis e eletricidade em carros de passeio e a instalação de 70 GW de energia eólica e 95 GW de solar. No setor de resíduos, as reduções de emissão viriam da universalização do saneamento e da erradicação dos lixões – medidas já inscritas em lei no país”.

2.2 UNIVERSALIZAÇÃO DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL

A universalização do acesso ao saneamento básico compõe a efetiva prestação dos serviços de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (Brasil, 2007).

A Lei nº 14.026 de 2020 alterou diversos dispositivos legais, nomeadamente a Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007 e atualizou o marco legal do saneamento básico, que determina novos cenários para o setor em todo o Brasil e prevê a universalização dos serviços de água e esgoto até 2033 (Brasil, 2020).

Com a aprovação, a área de energia elétrica também será contemplada, devido as mudanças previstas na Lei, que objetivam aumentar a redução e controle das perdas de água e fomento à eficiência energética, ao reuso de efluentes sanitários e ao aproveitamento de águas de chuva (Brasil, 2020).

No âmbito de eficiência energética, foi elaborado pela *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH* (GIZ) ao serviço do Ministério da Cooperação da Alemanha (BMZ) e pelo Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR), o Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água (ProEESA), que realiza diversos estudos voltados ao controle de perdas de águas e de eficiência energética na área do saneamento (Proesa, 2023).

Estes estudos são realizados por meio das informações que são enviadas pelos representantes das agências de saneamento no Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS).

O SNIS é uma ferramenta importante para o monitoramento e diagnóstico da prestação dos serviços públicos, gerido pela Secretaria Nacional de Saneamento (SNS) (SNIS, 2024).

2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR DE SANEAMENTO BÁSICO

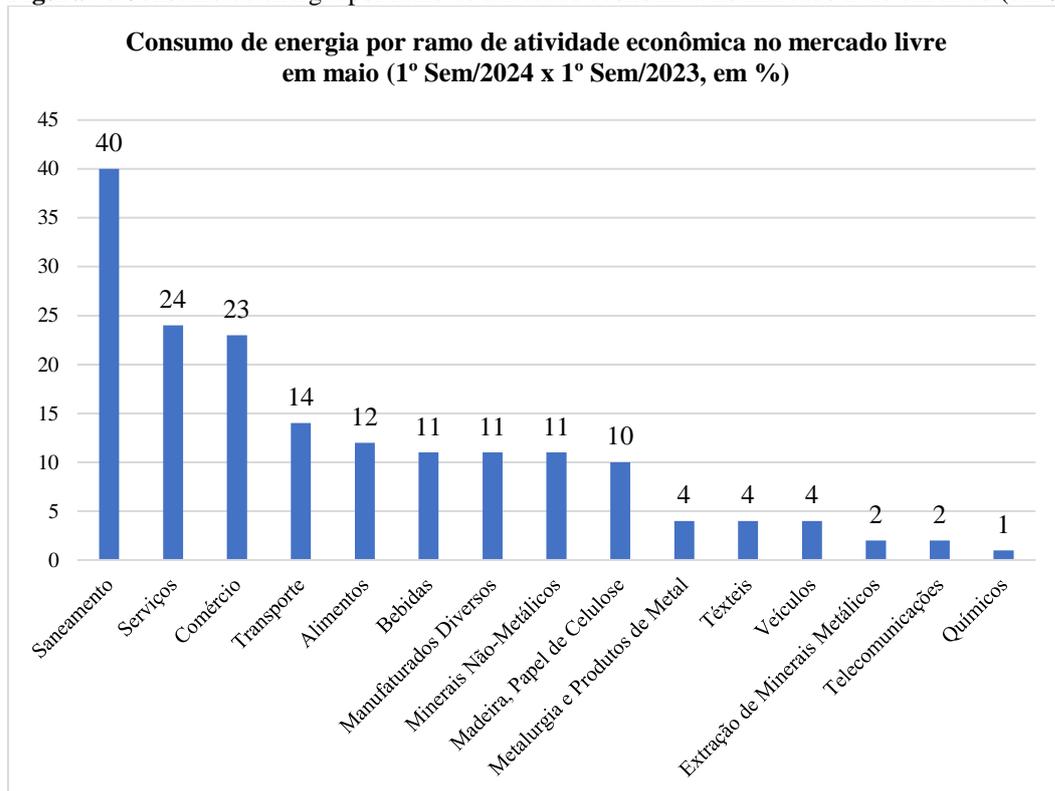
A energia é um insumo imprescindível para diversos fins, por esta razão, a sua disponibilidade, qualidade e custo são fundamentais para a melhoria socioeconômica, como também, ambiental (Sanepar, 2017).

Nesta mesma perspectiva, encontra-se o saneamento básico, um serviço essencial para a garantia da saúde pública e que tem um impacto ambiental, econômico e energético significativo, seja na quantidade de energia consumida ou nas perdas de águas que podem ocorrer ao longo do processo em todas os seus seguimentos (abastecimento, tratamento e distribuição de água, coleta e tratamento de esgoto, resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais).

Segundo a Associação brasileira dos comercializadores de energia (Abracell) (2023a), a participação do setor de saneamento básico nos últimos 36 meses, aumentou de 1,6% para 2,3% em relação ao total de energia demandada no mercado livre, atingindo em média 525 MW médios mensais no ano passado. Nesse período, entre 2020 e 2022, as empresas operadoras de água e esgoto aumentaram em 47% o consumo de energia elétrica no mercado livre. Em relação a 2021, o setor de saneamento aumentou o consumo em 12%.

Já a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2024) apresentou que o setor de Saneamento apresentou um aumento de 40% no consumo de energia elétrica durante o 1º semestre do ano de 2023 até o 1º semestre de 2024, seguido de serviços (24%) e comércio (23%), conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7: Consumo de energia por ramo de atividade econômica no mercado livre em maio (em %).



Fonte: Adaptado de CCEE (2024).

Deste modo, a aplicação da eficiência energética no setor de saneamento básico no Brasil torna-se cada vez mais urgente, tanto para a redução da demanda por energia, quanto para a eficiência e controle dos serviços que podem ocasionar em perdas significativas de água.

Estima-se que, só no ano de 2022, as perdas de água no Brasil situaram-se em torno de 35% (a depender do indicador observado) em 2022, cerca de 20 pontos percentuais acima da média dos países desenvolvidos, que foi de 15% (Trata Brasil, 2024).

A qualidade e a quantidade de água são essenciais para a manutenção do saneamento básico, bem como para a melhora da saúde pública, qualidade de vida, preservação do meio ambiente e para a melhora da economia.

A água também é a principal fonte renovável de energia do Brasil, uma vez que cerca de 59% da energia limpa utilizada no país é proveniente de hidrelétricas (EPE, 2024b).

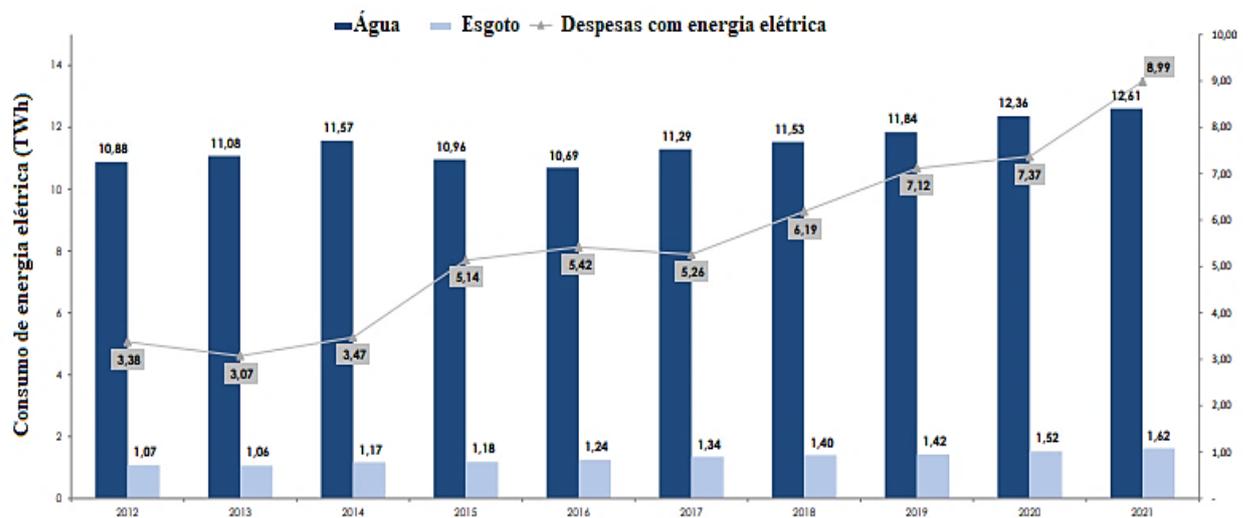
Assim, o controle e a redução de perdas de água são extremamente necessários para a preservação deste recurso.

A perda de água é caracterizada pelo desperdício da água em si e pelo desperdício de energia que foi usada para a captação, o tratamento e a distribuição da água. Por meio da redução da perda de água a empresa de saneamento pode diminuir a própria demanda de energia e usar a infraestrutura existente de forma mais sustentável (Ensaio, 2021).

De acordo com o SNIS (2023), no ano de 2021, “as despesas com energia elétrica dos prestadores de serviço de saneamento participantes do SNIS atingem R\$ 8,99 bilhões, com consumo de 14,2 TWh, sendo 12,6 TWh consumidos nos sistemas de abastecimento de água e 1,6 TWh nos sistemas de esgotamento sanitário”.

Segundo os dados históricos do SNIS de 2012 a 2021, o consumo energético no setor de saneamento apresentou uma tendência crescente, geralmente acompanhado com o aumento dos índices de consumo per capita de água e no atendimento com os serviços de água e esgotos, conforme apresentado na Figura 8.

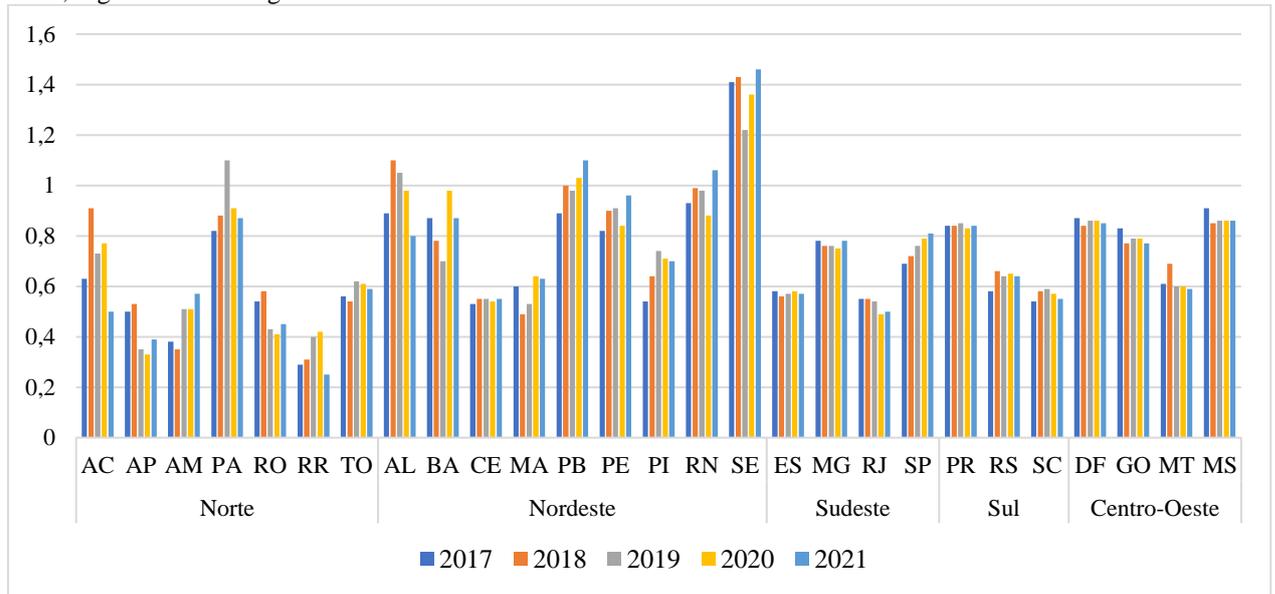
Figura 8: Consumo energético no setor de saneamento durante o período de 2012 a 2021.



Fonte: SNIS (2023).

Já a Figura 9, mostra o índice de consumo de energia elétrica (kWh/m³) nos sistemas de abastecimento de água de 2017 a 2021, segundo macrorregião e estados. Nota-se que o estado de Sergipe apresentou os maiores índices durante todo o período observado.

Figura 9: Índice de consumo de energia elétrica (kWh/m³) nos sistemas de abastecimento de água de 2017 a 2021, segundo macrorregião e estados.



Fonte: Adaptado de SNIS (2023).

Em relação ao consumo energético de uma ETA e ETE, Venkatesh e Brattebo (2011), realizaram uma análise dos processos aplicados que consomem energia nas fases de operação e manutenção das estações, que podem variar de acordo com a tecnologia, bem como processo aplicado, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Processos que consomem energia na fase operacional e na manutenção de sistemas de água e esgoto.

Sistemas	Processos	Fonte de energia
Plantas de tratamento de água	Conjunto moto bomba; Misturador; retro lavagem do filtro; Desinfecção; Iluminação; Manutenção geral	Rede elétrica; Gerador a diesel
Tubulações de água	Reabilitação; Diesel para energia mecânica	Manutenção geral
Bombeamento de água	Energia de bombeamento; Manutenção geral	Rede elétrica; Combustível diesel para manutenção
Bombeamento de esgoto	Energia de bombeamento; Manutenção geral	Rele elétrica; combustível diesel para manutenção
Tubulações de esgoto	Reabilitação; Diesel para energia mecânica	Manutenção geral; Combustível diesel para energia mecânica
Plantas de tratamento de esgoto	Reabilitação; Manutenção geral; Bombeamento na planta; Mistura/agitação; Aeração; Digestão Anaeróbica; Manuseamento de lamas; Iluminação; Manutenção geral	Rede elétrica; biogás nas instalações do digestor anaeróbico para eletricidade e / ou calor; óleo de aquecimento

Fonte: Adaptado de Venkatesh e Brattebo (2011); Lima (2022).

Para alcançar a eficiência energética no setor de saneamento básico (de modo específico, em ETAs e ETEs), as empresas podem realizar diversos tipos de intervenções e melhorias, tendo como alternativas:

- Automação dos processos;
- Melhorias nos sistemas de bombeamento;
- Construção de usinas solares;
- Construção de sistemas eólicos;
- Utilização do biogás;
- Compra de energia no mercado livre.

2.3.1 Automação dos processos

A automação em sistemas de saneamento melhora a eficiência operacional e, conseqüentemente, a eficiência energética do setor, pois realiza o monitoramento e o controle em tempo real pelo sistema de telemetria, que possibilita a medição, monitoramento, controle e transmissão remota de dados de sistemas espalhados em grandes áreas geográficas, que são caracterizadas no sistema de saneamento, a fim de monitorar e controlar as estações elevatórias, reservatórios, medidores de vazão e demais dispositivos hidráulicos, bem como o armazenamento dos dados históricos, o acionamento de alarmes (caso ocorra alguma falha operacional ou outra ocorrência), previne perdas e aumenta a qualidade do serviço e a tomada de decisões (Legner, 2016; Alfacomp, 2024).

O controle e a redução de perdas de água podem ser gerenciadas a partir do uso de modelagem hidráulica associado ao sistema supervisório, como o sistema Scada (*Supervisory Control and Data Aquisition* ou Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados), que coleta e envia os dados pelos dispositivos remotos, armazena via protocolo HTTP (Transferência De Hipertext / *Hypertext Transfer Protocol*) a cada segundo e registra o valor médio (do período programado) das variáveis de controle, como pressão, nível do reservatório, vazão, situação operacional das bombas, gerenciamento de alarmes, entre outros, cujo objetivo é otimizar a eficiência energética a partir da automação, supervisão e controle Scada (Silva, 2020).

De acordo com Spolaor (2011), o sistema Scada é responsável pela integração das Unidades Remotas Terminais (RTU, ou do inglês *Remote Terminal Unit*) e seu uso é muito

aplicado em refinarias de petróleo, telecomunicações, siderúrgicas, usinas de álcool e açúcar, empresas de saneamento (água e esgoto) e, de geração e distribuição de energia elétrica.

A comunicação entre o sistema supervisorio e os equipamentos é feita por rádio e antenas, assim como por GPRS (*General Packet Radio Service*). Já em nível físico, a comunicação entre os diversos componentes do sistema de telemetria se dá por meio de cabos elétricos, cabos óticos e sistemas de rádio. Em nível lógico a comunicação se dá por meio de protocolos de comunicação como o Modbus, o Profibus e o TCP/IP (Legner, 2016).

Já o controle do processo é obtido através do uso de controladores lógicos programáveis (CLPs) através de uma lógica digital programada, combinando sinais de entrada proveniente de sensores (digitais e/ou analógicos), gerando sinais de saída para os atuadores (Spolaor, 2011).

Nas Figuras 10 a 14 é apresentado cinco exemplos dos diversos tipos de funcionalidades que o sistema Scada pode operar em uma estação de tratamento de água, sendo estas:

- Fig. 10 - Tela de monitoramento e controle dos níveis dos reservatórios de água tratada: nesta seção, o controlador consegue monitorar, controlar e parametrizar os níveis de reservação de água do município em volumes máximo e mínimo, para que não ocorra o desabastecimento ou desperdício de água. Esta tela também possui um sistema de alarme quando estes índices estão fora das condições ótimas de trabalho, de modo a possibilitar a correção imediata;

- Fig. 11 - Tela das estações elevatórias de água tratada (EEATs): Nesta seção, o controlador consegue ligar e desligar a bomba hidráulica de forma remota, bem como alterar o modo de controle do sistema para três níveis diferentes: automático (onde a bomba é ligada ou desligada de modo automático, de acordo com o nível do reservatório - estes valores são parametrizados), remoto (a bomba é ligada e desligada pelo controlador, no CCO) e local (onde a bomba é ligada ou desligada *in loco* pelo operador). Também é possível inserir o sistema de alarme neste campo, onde a bomba se apresenta na coloração verde quando está ligada, cinza quando está desligada e vermelho quando apresenta alguma falha na bomba ou no sistema de bombeamento – e, provavelmente, vai demandar alguma manutenção;

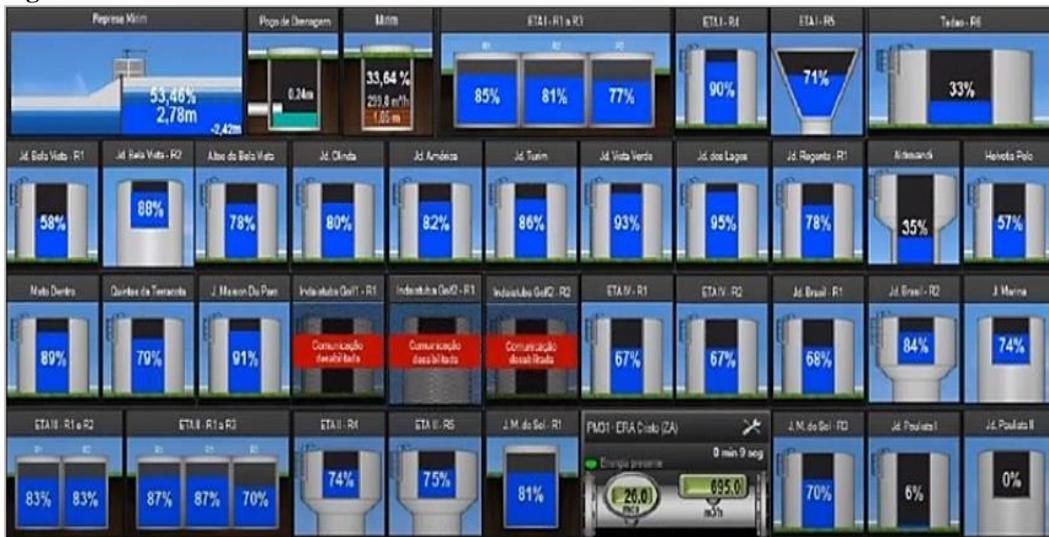
- Fig. 12 - Tela de histórico de eventos: Nesta tela apresenta todas as informações do sistema (desde a implantação);

- Fig. 13 - Tela de comunicação das unidades de reservação (URs): Esta seção mostra o tempo de comunicação de todas as URs. O controle é realizado de forma visual, ou seja, a partir da alteração das cores. Deste modo, quando o tempo de comunicação se apresenta

na coloração vermelha, demonstra um atraso de (igual ou maior) a cinco minutos na comunicação, ou seja, que está ocorrendo alguma falha no local. Já a cor amarela apresenta um atraso de 60 segundos, que infere um sinal de alerta ao controlador, pois pode ser uma possível falha de comunicação e merece atenção. Já a cor verde indica um resultado satisfatório do tempo da comunicação (entre o comando e a resposta);

- Fig. 14 – Tela de enlace: Apresenta a distribuição da comunicação nos CRs.

Figura 10: Funcionalidades do sistema Scada em uma ETA: tela dos níveis dos reservatórios de água tratada.



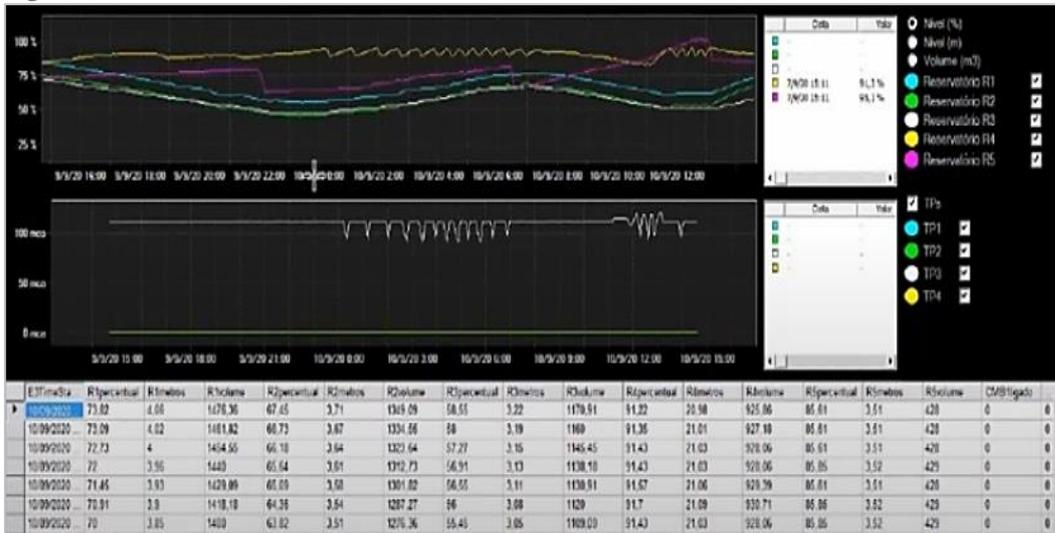
Fonte: Procesa 2.0 Online (2020).

Figura 11: Funcionalidades do sistema Scada em uma ETA: tela das EEATs.



Fonte: Procesa 2.0 Online (2020).

Figura 12: Funcionalidades do sistema Scada em uma ETA: tela do histórico de eventos.



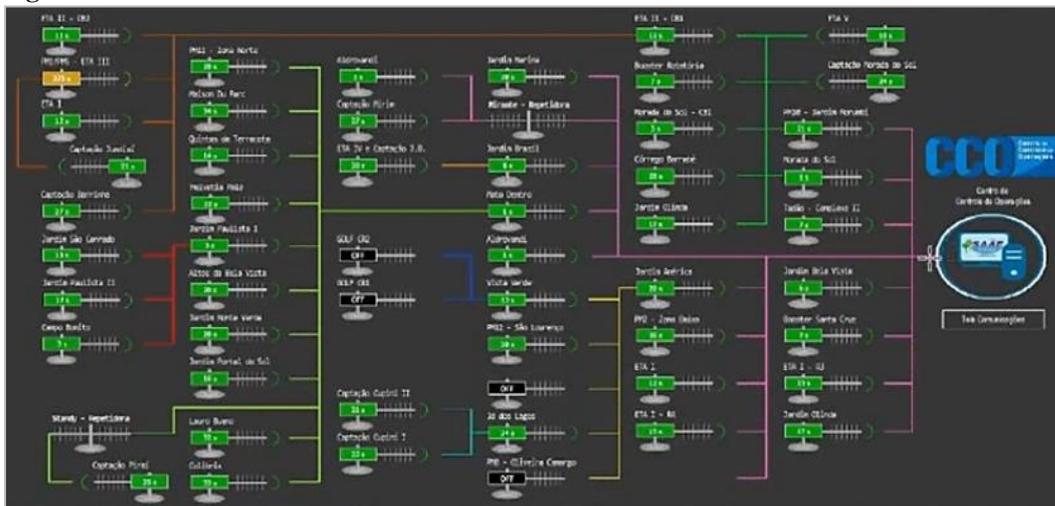
Fonte: Proesa 2.0 Online (2020).

Figura 13: Funcionalidades do sistema Scada em uma ETA: tela de comunicação das URs.



Fonte: Proesa 2.0 Online (2020).

Figura 14: Funcionalidades do sistema Scada em uma ETA: tela de enlace.



Fonte: Proesa 2.0 Online (2020).

2.3.2 Eficiência energética em sistemas de bombeamento

De acordo com os dados inseridos no Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), elaborado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) (2024) *apud* Tsutiya (2001), “90% a 95% do consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento são atribuíveis aos sistemas de bombeamento. A menor parcela é destinada a sistemas auxiliares e à iluminação”. Já os dados do SNIS apontam que “pelo menos 70% deste consumo se dá em sistemas de abastecimento com potência instalada acima de 500 kW”.

No Brasil, a maioria dos conjuntos moto-bomba possui baixo rendimento elétrico e capacidade sobredimensionada, operando muitas vezes em horários de ponta do sistema elétrico que, em conjunto com as perdas físicas de água, acabam elevando as tarifas de dois serviços essenciais: água e eletricidade (Gonçalves, 2009 *apud* Sanepar, 2017).

De acordo com Brito (2024) e MME (2024), existem várias estratégias e tecnologias que podem ser implementadas para melhorar a eficiência energética em sistemas de bombeamento no setor de saneamento, podendo reduzir o consumo em, pelo menos, 20% (aproximadamente), conforme segue:

- Bombeamento variável: sistema que permite o ajuste/regulagem da velocidade do sistema de bombeamento de acordo com a demanda;
- Manutenção preditiva: uso de sensores e análise de dados para prever quando as bombas precisam de manutenção;
- Tecnologias de bombeamento de alta eficiência: substituição de bombas antigas por modelos de alta eficiência;
- Fontes de energia renovável: uso de painéis solares ou turbinas eólicas para alimentar os sistemas de bombeamento;
- Adequação de válvulas, barriletes e adutoras em sistemas de bombeamento no sentido de reduzir perdas de carga;
- Redução de perda de carga por limpeza e revestimento ou ampliação de diâmetro das tubulações, eliminação de ar;
- Modulação de carga nos sistemas com ou sem uso de conversores de frequência.

Ainda segundo os dados publicados no PNEf, o consumo de energia elétrica no setor de saneamento pode apresentar um potencial de redução de até 4,7 TWh por ano se a agência de saneamento investir em medidas de eficiência nos sistemas de bombeamento, conforme detalhado na Tabela 2 (MME, 2024).

Tabela 2: Potencial técnico de recuperação de energia elétrica no setor de saneamento.

	Medidas de eficiência	Potencial de redução	Unidade de medida	Consumo do setor (em %)
1	Redução de perdas reais de água (até o limite das perdas inevitáveis)	2,62	tWh	25,19
2	Redução de altura manométrica de bombeamento (adequação de válvulas, barriletes, adutoras, com eliminação de perdas de carga/aumento de diâmetros) / Modulação de carga / Uso de conversores de frequência	2,08	tWh	20
3	Sistemas eficientes (dimensionamento adequado, bombas eficientes, reservação bem utilizada, automação).			
4	Motores eficientes			
Totais		4,705	tWh	45,19

Obs.: Não foram consideradas medidas como geração pelo aproveitamento de potenciais hidráulicos disponíveis e outras medidas de gerenciamento energético não relacionadas.

Fonte: MME (2024).

2.3.3 Energia fotovoltaica

A energia solar vem se destacando no cenário mundial como uma alternativa para atender as necessidades de consumo de energia elétrica de modo sustentável.

No Brasil, esta fonte de energia está em constante crescimento e atingiu 40 GW de capacidade instalada, de acordo com a Associação Brasileira de Energia Fotovoltaica (Absolar) (Casarin, 2024).

O país apresenta a vantagem de estar situado numa região com incidência mais vertical dos raios solares e esta condição favorece elevados índices de irradiação em quase todo o território nacional, sendo o Nordeste, Centro-Oeste e o Sudeste as regiões com maior potencial anual médio de energia solar, com 5,9, 5,7 e 5,6 KWh/m² (consecutivamente) de radiação global média. Já a região Norte apresenta 5,5, e o Sul, 5,0 KWh/m² (Tolmasquim, 2016; Solar, 2024).

A durabilidade do sistema fotovoltaico é outra característica vantajosa, uma vez que o sistema pode apresentar mais de 25 anos de vida útil (Moura, 2023).

Esta tecnologia pode ser dividida em duas categorias principais: isolados e conectados à rede. Dentro desta categoria, os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em seis tipos:

(1) **Sistema off-grid sem armazenamento ou autônomos:** são sistemas desconectados da rede da concessionária local. A energia gerada é consumida no mesmo ponto, muito utilizado em sistemas de bombeamento solar para irrigação de plantio;

(2) **Sistema off-grid com armazenamento:** sistema conectado à rede da concessionária, mas utilizando um banco de baterias para armazenar a energia gerada em excesso, que pode ser utilizada em horários em que o sol não está fornecendo energia luminosa. Este sistema é muito utilizado em locais afastados, como zonas rurais, ou quando não possui o serviço da concessionária local;

(3) **Sistema off-grid híbrido:** sistema que possui duas ou mais fontes diferentes de energia, sendo uma delas o sistema fotovoltaico off-grid;

(4) **Sistema on-grid (mini e micro geração distribuída):** Este tipo de sistema é o mais utilizado no Brasil e no mundo por ser economicamente mais viável em comparação com os sistemas off-grid. São sistemas conectados à rede da concessionária local que funcionam em paralelo com esta. Assim, esta modalidade apresenta sistema anti-ilhamento presente nos inversores;

(5) **Sistema on-grid híbrido:** São sistemas fotovoltaicos que utilizam duas fontes como base, ou seja, com conexão à rede em união com o uso de uma segunda fonte. Deste modo, em caso de falta de energia, o inversor fotovoltaico deve estar configurado para colocar a bateria para funcionar. Este tipo de sistema ainda não possui legislação específica no Brasil;

(6) **Sistema on-grid:** utilizado em grandes usinas fotovoltaicas (Lutterback, 2020).

Muitas companhias de saneamento básico estão utilizando sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica nas suas unidades de trabalho (desde nos setores administrativos, quanto nos setores operacionais, que são as ETAs, ETEs e as estações elevatórias), como é o caso da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), a Companhia Rio-grandense de Saneamento (Corsan), a Empresa de Saneamento Básico de Mato Grosso do Sul (Sanesul), a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) e a Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia (Cerb) (Abiclor, 2022).

2.3.4 Energia eólica

Assim como a solar, a energia eólica também é uma energia considerada limpa e abundante. Este tipo de geração de energia é antigo e foi muito utilizado no século V para

irrigação a partir dos moinhos de vento por bombeamento de água. Já nos tempos atuais, utiliza-se a forças dos ventos para acionar um aerogerador, ou seja, um gerador elétrico movido por uma hélice a partir da força dos ventos, onde ocorre a conversão da energia cinética, que vem do movimento, em eletricidade (AESabesp, 2008; Semil, 2024).

A quantidade de eletricidade que pode ser gerada depende de quatro fatores: da quantidade de vento que passa pela hélice (que depende de diversos fatores ambientais, como a temperatura da terra e das águas, bem como das condições geográficas do local, topografia e a rugosidade do solo), do diâmetro da hélice, da dimensão do gerador e do rendimento de todo o sistema (AESabesp, 2008).

O uso de energia eólica no Brasil vem crescendo. O país ocupa a 6º posição no ranking de capacidade total instalada de energia eólica *onshore* no mundo, com 30,45W, de acordo com o *Global Wind Energy Council* (GWEC), atrás da China (país com a maior capacidade total instalada *onshore*, com 403,33W), Estados Unidos da América (150,43W), Alemanha (61,14W), Índia (44,47W) e Espanha, com 30,56W (ABEEólica, 2024).

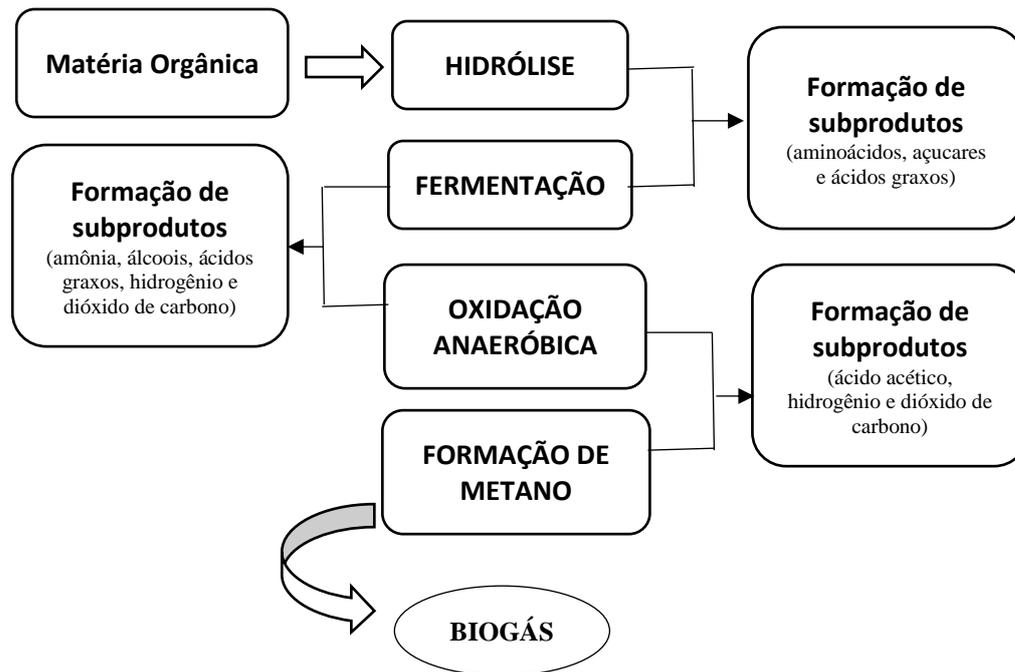
De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME, 2022), “o Brasil tem, atualmente, capacidade de produzir 22.000 MW de energia eólica e somente a região Nordeste é responsável por 20.000 MW, ou seja, mais de 90% da produção nacional. São 828 parques eólicos em operação no país, sendo 725 parques no Nordeste”.

2.3.5 Biogás

O biogás é um combustível renovável e ecológico, gerado a partir da digestão anaeróbia de matéria orgânica em etapas sequenciais, sendo cada uma delas caracterizadas pela atividade de grupos específicos de microrganismos (Brasil, 2015; Quevedo, 2016).

Na Figura 15 é apresentado as etapas de produção e, na sequência, a faixa de concentração dos gases presentes no biogás (Tabela 3).

Figura 15: Etapas de produção do biogás.



Fonte: Adaptado de Quevedo (2016).

Tabela 3 - Possíveis percentuais de concentração do biogás.

SUBSTÂNCIA	PORCENTAGEM
Metano (CH ₄)	50 a 75
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25 a 40
Hidrogênio (H ₂)	1 a 3
Nitrogênio (N ₂)	0,5 a 2,5
Oxigênio (O ₂)	0,1 a 1
Gás Sulfídrico (H ₂ S)	0,1 a 0,5
Amônio (NH ₃)	0,1 a 0,5
Monóxido de Carbono (CO)	0 a 0,1
Água (H ₂ O)	Variável

Fonte: Cassini (2003); Jacober *et al.* (2021).

A otimização do processo de produção do biogás depende, principalmente, da temperatura, das características do reator e da concentração e composição da matéria orgânica presente no esgoto e pode ser estimada a partir da porcentagem de redução de sólidos voláteis (Brasil, 2015; Machado, 2011; Jacober *et al.*, 2021).

Dependendo da eficiência do processo durante a fermentação, o biogás pode alcançar a concentração de 75% a 80% de metano (gás de alto poder energético) (Wereco Brobby, 2000 apud Machado, 2011; Jacober *et al.*, 2021).

Em uma ETE, os substratos para a produção do biogás são o lodo e o esgoto (como exemplo o reator UASB).

O aproveitamento energético do composto orgânico do lodo de esgotos sanitários pode ser utilizado para diversos fins, tais como: recuperação dos húmus do solo; reflorestamento e agricultura; redução de disposição deste resíduo nos aterros sanitários, entre outros (Machado, 2011; Jacober *et al.*, 2021).

A partir da transformação de sua energia química, o biogás pode, por exemplo ser utilizado para gerar energia térmica e elétrica. Podendo ainda ser utilizado como gás de cozinha e combustível para veículos (Jacober *et al.*, 2021).

2.4 COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA

As relações comerciais no atual modelo se estabelecem em duas esferas: no ambiente de contratação livre (ACL) e no ambiente de contratação regulada (ACR).

A ACL é um ambiente em que consumidor pode escolher e negociar livremente a energia elétrica com seus fornecedores de energia. Neste ambiente de negociação, os consumidores negociam as condições de compra de energia elétrica diretamente com as geradoras ou comercializadoras (Abraceel, 2023b).

De acordo com a agencia brasileira de regulação e comercialização de energia elétrica (Abraceel) (2023b), a cada 10 mil consumidores no Brasil, apenas quatro participam do mercado livre, ou seja, 0,04% dos 89 milhões de consumidores de energia do país que possuem o direito de comprar energia negociando livremente a fonte de geração, preço, prazo e flexibilidades diversas.

O crescimento dos consumidores nesta modalidade tem aumentado ao longo dos últimos cinco anos (conforme apresentado na Tabela 4), devido as diversas vantagens, como: competitividade, sustentabilidade, previsibilidade e flexibilidade (Abraceel, 2023b).

Tabela 4 – Quantidade de empresas nacionais no mercado livre de energia.

ANO	QUANTIDADE DE EMPRESAS
2018	5.192
2019	7.057
2020	8.579
2021	9.930
2022	10.983
2023	11.873

Fonte: Abraceel (2003b).

Atualmente, somente consumidores (ou conjunto de consumidores com o mesmo CNPJ ou localizados em área contígua, chamado “comunhão de cargas”) com demanda contratada superior a 500 quilowatts (kW) pode escolher o fornecedor e entrar no mercado livre. De acordo com a CCEE, este consumo de energia corresponde a uma conta de luz equivalente a R\$ 140 mil, aproximadamente (Abraceel, 2023b).

Segundo a Abraceel (2023b), a partir de 2024, todos os consumidores conectados em alta tensão (ou seja, de contas a partir de R\$ 10 mil) poderão comprar livremente sua energia, de acordo com a Portaria 50/2022 do MME.

Já na ACR, “uma única empresa distribuidora opera de forma monopolista em determinada área comprando energia elétrica em leilões organizados pelo governo federal e a repassando para os consumidores a preços regulados pela agência reguladora do setor elétrico, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel)” e, por isso, não participa do ambiente livre e é atendido sob condições reguladas (Abraceel, 2023b).

3 METODOLOGIA

Este trabalho se fundamentará a partir de pesquisa bibliográfica e documental, a fim de avaliar os projetos e as tecnologias que estão sendo implementadas para transição e eficiência energética no setor de saneamento básico no Brasil por empresas de grande porte.

Neste sentido, foi realizada a revisão de literatura e coletado os dados mais atuais publicados do SNIS e do Relatório de Sustentabilidade de duas prestadoras de serviços de saneamento básico: a Sabesp, localizada no Estado de São Paulo (SP) e a Sanepar (Paraná – PR).

Os critérios adotados para a escolha das empresas foram as características que elas têm em comum, como: são prestadoras de serviço de grande porte e, conseqüentemente, são grandes consumidoras de energia elétrica; apresentam alta lucratividade; o perfil administrativo é parecido; ambas as empresas possuem boas práticas ambientais e por serem empresas de abrangência regional e estatais (até a coleta de dados).

O Relatório de Sustentabilidade é um documento que as organizações utilizam para divulgar seus indicadores ambientais, sociais e de governança, além de suas práticas e metas relacionadas à sustentabilidade. É uma ferramenta de transparência, que visa fortalecer e apresentar compromissos para a sociedade, clientes e investidores (Raízen, 2024).

Além da análise sobre as tecnologias e processos de eficiência energética, também foi verificado os índices de despesa por consumo e de consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário de algumas unidades operacionais pertencentes as prestadoras de serviço durante o período de cinco anos.

O índice de despesas por consumo de energia elétrica nos sistemas de água e esgotos, é definido pela despesa com energia elétrica dividida pela soma do consumo total de energia elétrica nos sistemas de água e esgotos. Já o consumo total de energia elétrica nos sistemas de água é definido pela divisão da soma do volume de água produzido e importado. No caso do esgoto, o índice é calculado utilizando o consumo de energia dividido pelo volume de esgoto coletado (SNIS, 2024b).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 SABESP

Fundada em 1973, a Sabesp é considerada uma das maiores prestadoras de serviços voltados ao saneamento no mundo, com um lucro líquido de 3,5 bilhões. A empresa atende 376 municípios paulistas (ou seja, 58,3%), sendo 270 já universalizados, isto é, com água e esgoto disponíveis para todos, conforme as definições do Marco do Saneamento (Sabesp, 2023).

A empresa realiza o abastecimento de água para 28,1 milhões de pessoas e de 24,9 milhões de pessoas para coleta de esgoto, que corresponde ao atendimento de 62% da população do Estado (Sabesp, 2023).

No setor de energia elétrica, a Sabesp constituiu a Paulista Geradora de Energia S.A., em 2015, “dedicada à implantação e exploração comercial do potencial hídrico de pequenas centrais hidrelétricas no vertedouro Cascata e na ETA Guaraú, com capacidade total de 7 MW. Em 2023, a Cetesb emitiu a Licença de Operação (LO) da Central Geradora Hidrelétrica Guaraú, projetada para uma vazão de 33 m³/s com previsão de geração de mais de 4 MW de energia elétrica” (Sabesp, 2023).

No mês de julho de 2024, a natureza jurídica da Sabesp deixou de ser sociedade de economia mista com administração pública de capital misto e passou a ser uma empresa privada (SNIS, 2024; Bocchini, 2024).

4.1.1 Transição e eficiência energéticas

De acordo com o Relatório de Sustentabilidade, a Sabesp (2023) pretende reduzir as emissões de GEE até 2027 por meio de melhorias operacionais, energéticas e com maior participação no ACL.

Observou-se que as principais tecnologias que a Sabesp está implementando nas suas unidades operacionais e de negócio para alcançar a transição e a eficiência energética são: a energia fotovoltaica e o uso do biometano.

4.1.2 Energia fotovoltaica

A empresa criou o Programa de Geração Distribuída de Energia Fotovoltaica, que iniciou a operação de mais 11 usinas fotovoltaicas, totalizando 16 em operação e 19,5 MW de geração, com a previsão de conclusão da implementação do Programa de Geração de Energia em 2025, quando serão 60 MW gerados (Sabesp, 2023).

De acordo com o Relatório de Sustentabilidade da Sabesp (2023), “o programa foi estruturado para atender 4,5% do consumo da Companhia, ou 60% do consumo de energia em baixa tensão. A estimativa de economia com os gastos com energia elétrica com a implementação de todo o Programa de Geração Distribuída é de R\$ 55 milhões por ano”.

A empresa prevê a implantação de 43 usinas de energia fotovoltaica com potência entre 0,5 e 4 MW. O investimento total previsto neste programa é de cerca de R\$ 245 milhões, financiados pelo BID *Invest* (banco interamericano de desenvolvimento) (Sabesp, 2023).

4.1.3 Uso do biometano

De acordo com o Relatório de Sustentabilidade de 2023, a Sabesp alcançou mais de 9.600 tCO₂e de emissões evitadas com a diretriz de utilização de etanol na frota veicular. Só na ETE Franca, a empresa conseguiu evitar 4300 tCO₂e de emissões (Sabesp, 2023).

Durante cinco anos (aproximadamente), a ETE Franca totalizou um volume de 150.726 m³ de biometano, responsável, em média, por 208 abastecimentos por mês, em 40 veículos adaptados no padrão GNV. Este volume de biometano representa uma economia de R\$ 535 mil com a redução do consumo de etanol e gasolina (Sabesp, 2023).

4.1.4 Outras fontes de geração

A Sabesp (2023) também aproveita outras fontes renováveis para geração de energia elétrica nas suas unidades e possui novos negócios para expandir seu potencial de geração, conforme segue:

- Novos negócios - Incineração de resíduos sólidos urbanos: projeto que contará com potência instalada de 20 MW;

- Geração de PCHs: com novos negócios em Guaraú e Cascata e com sistemas operantes no Sistema Cantareira. Estas usinas serão suficientes para o abastecimento de cerca de 14.100 residências;
- Instalação de 10 turbogeradores nas adutoras e entradas de reservatórios para aumentar a eficiência operacional. Em 2023, esta tecnologia gerou 4.257.870 kWh. De acordo com a Sabesp (2023), “este montante seria suficiente para abastecer aproximadamente 22.400 residências com um consumo médio de 190 kWh/mês e, ao mesmo tempo, gera um benefício ambiental de emissões evitadas de aproximadamente 166 tCO₂e”;

Os projetos pleiteados pela Sabesp possuem cooperação técnica com o BID. Atualmente, o BID financia o investimento de R\$ 300 milhões em usinas fotovoltaicas em áreas ao redor das estações de tratamento da Sabesp, para alimentar os equipamentos de baixa tensão (Sabesp, 2023).

4.1.5 Indicadores de desempenho

Conforme observado na Tabela 5, a Sabesp apresentou uma cobertura de 98% no serviço voltado ao abastecimento de água e de 93% para coleta de esgoto no ano de 2023, com um consumo total de eletricidade de 9,566 kWh/m³, sendo o setor de água responsável pelo maior consumo quando comparado com o de esgoto (0,73 kWh/m³ e 0,41 kWh/m³ - consecutivamente).

Tabela 5 – Indicadores de desempenho da Sabesp.

Indicadores	2019	2020	2021	2022	2023
Cobertura com abastecimento de água (%)	98	98	98	98	98
Cobertura com coleta de esgoto (%)	91	92	92	92	93
População residente atendida com abastecimento de água (milhões de habitantes)	27,1	27,5	27,8	28	28,1
População residente atendida com coleta de esgoto (milhões de habitantes)	23,8	24,3	24,6	24,7	24,9
Extensão de redes de água (milhares km)	81,3	87,5	88,8	91,6	93,2
Extensão de redes de esgoto (milhares km)	55,9	59,6	61,1	63,5	63,6
Índice de perdas de água reais (%)	19	17,4	18,2	19,1	19,5
Consumo total de eletricidade (Terajoules - Tj)	9,123	9,68	10,219	9,907	9,566
Consumo de Energia Elétrica/M3 Água (kWh/m ³)	0,72	0,76	0,83	0,8	0,73
Consumo de Energia Elétrica/M3 Esgoto (kWh/m ³)	0,47	0,43	0,44	0,43	0,41
Redução no consumo de energia elétrica - água produzida (%)	-0,84	-6,5	6,7	3,7	4,4
Redução no consumo de energia elétrica - esgoto tratado (%)	-4,3	-5,1	-0,7	-0,4	-2,5
Emissões diretas e indiretas de GEEE (tCO ₂ e) ¹	2.326.2	2.574.5	2.524.4	2.053.2	2.230.4
	72	64	56	93	19

Fonte: Adaptado de Sabesp (2023).

No entanto, a redução do consumo de energia elétrica no setor de água foi maior (com 4,4%). Já o de esgoto não apresentou melhorias (-2,5%).

Este indicativo mostra que provavelmente, a empresa está atuando e priorizando a redução do consumo de energia elétrica neste setor.

Verifica-se que a Sabesp ainda não demonstrou redução do consumo de energia elétrica no processo de coleta e tratamento de esgoto durante o período observado de cinco anos. O índice não apresentou redução maior que 1%.

Nota-se também, que a Sabesp apresentou uma pequena melhora nos índices referente ao consumo de energia elétrica para água e esgoto, mesmo com o aumento da população residente atendida em ambos setores.

Outro índice referente à eficiência energética que não apresentou melhora, foram as emissões diretas e indiretas de GEE, sendo de 2.230.419 no ano de 2023. De acordo com a Sabesp (2023), “as emissões apuradas em 2023 foram maiores que as de 2022 visto melhorias implementadas com a inclusão de novas fontes emissoras”.

Com o aumento da população residente atendida com abastecimento de água e com a coleta de esgoto, a extensão de redes (para ambos os setores), também apresentou um aumento no ano de 2023. Que pode ter refletido no aumento do índice de perdas de água, que foi de 19,5% no ano de 2023, muito próximo ao valor calculado em 2019, de 19%.

As perdas de água são divididas em aparentes e reais no setor de saneamento. As perdas aparentes são causadas pelo uso não autorizado do serviço, como fraudes e falhas de cadastro, bem como erros de medição. Já as perdas reais são contabilizadas quando ocorre vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição, bem como extravasamentos em reservatórios e ramais prediais (Bezerra; Cheung, 2013).

4.1.6 ETE Mogi Mirim – SP

A ETE Mogi Mirim da Sesamm (Serviços de Saneamento de Mogi Mirim), fruto de consórcio formado entre a Sabesp, GS Inima Brasil e ECS Operações, foi a primeira estação com energia solar do Brasil, inaugurada no ano de 2019. O investimento do sistema é de R\$ 1,8 milhões, totalmente realizado pela Sesamm (Governo, 2019).

Na Figura 16 é mostrado o registro fotográfico da instalação.

Figura 16: Estação de tratamento com energia solar instalada em Mogi Mirim- SP.



Fonte: EPTV 1 (2019)

O sistema utiliza 1.073 placas instaladas nos telhados da usina e no estacionamento de prédio da concessionária para reter os raios solares, que foi projetado para produzir 600 MWh (Mega Watt por hora), suprimindo 30% da energia elétrica geral necessária para o tratamento de esgoto (EPTV 1, 2019; Governo, 2019).

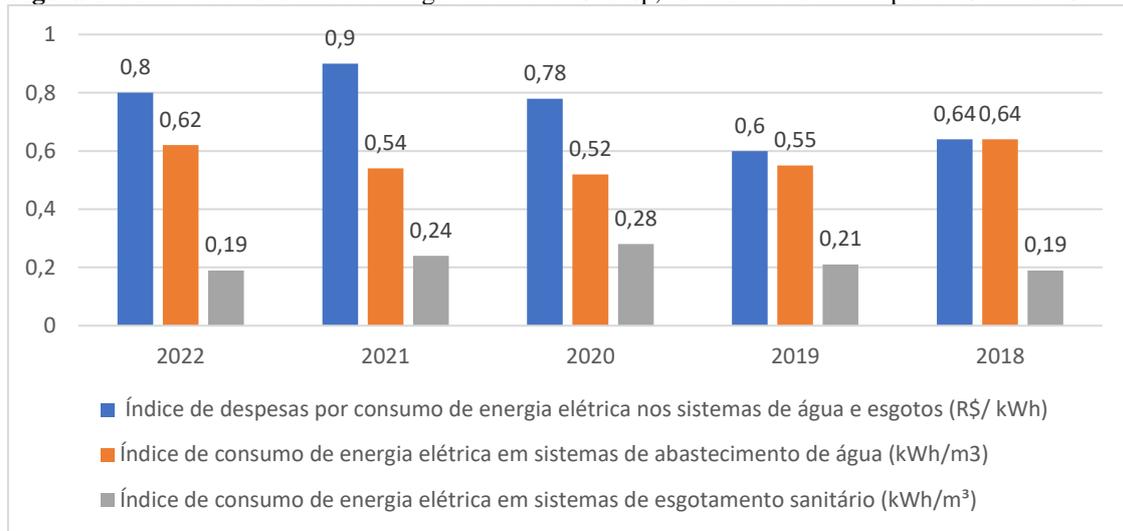
De acordo com o Governo (2019), “a tecnologia de células PERC (da sigla em inglês *Passivated Emitter and Rear Cell*, ou, emissor passivo e célula traseira) tem eficiência maior, o que resulta em uma redução de área ocupada pelos módulos fotovoltaicos e uma geração mais eficiente de energia”.

4.1.7 ETA Suzano – SP

A Sabesp está iniciando a operação de uma Usina Fotovoltaica Flutuante (UFF) na ETA Taiapuêba, localizada no município paulista de Suzano. O sistema possui tecnologia inovadora e de baixo impacto ambiental (Sabesp, 2023).

Segundo o Relatório de Sustentabilidade, “a usina fica ancorada a 74 m da margem, numa espécie de ilha de 5.500 m² e tem potência de geração de 500 kWp, permitindo o uso dos mecanismos de autoconsumo remoto e o abatimento da nossa energia consumida em outras instalações da mesma área de concessão, da distribuidora EDP (Energia de Portugal)” (Sabesp, 2023).

Na Figura 17 é apresentado os índices voltados as despesas e ao consumo de energia elétrica das ETAs e ETEs das unidades de tratamento da Sabesp Suzano-SP durante o período de cinco anos.

Figura 17: Índice de consumo de energia elétrica da Sabesp, localizada no município de Suzano - SP.

Fonte: Adaptado de SNIS, 2024b.

Observa-se um aumento no índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água durante o período de 2020 a 2022 e queda do índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário.

Este resultado reforça a necessidade da implantação da UFF na ETA Taiacupeba para melhora dos índices.

4.2 SANEPAR

A Sanepar é uma empresa de economia mista de capital aberto, enquadrada como personalidade jurídica de direito privado e controlada pelo Estado do Paraná. Possui uma receita líquida de R\$ 5.204,4 milhões e é responsável pela prestação de serviços de saneamento a 345 municípios paranaenses e 1 município catarinense, Porto União, totalizando 346 unidades operacionais, cuja cobertura é completa (100%) aos seus consumidores no serviço de abastecimento de água, bem como no tratamento de esgoto coletado e no tratamento de resíduos coletados. Já a cobertura com rede urbana de esgoto, apresenta 77,3% de entrega para os consumidores (Sanepar, 2021).

No ano de 2021, a Sanepar foi o maior consumidor corporativo de energia elétrica do Estado do Paraná, contabilizando um gasto de mais de 500 milhões de reais com o consumo de energia elétrica de cerca 733 GWh, sendo este, o maior custo operacional que a empresa já teve. A empresa observou por meio de estudos de eficiência energética que mais de 90% deste consumo está atrelado aos sistemas de bombeamento de água e esgoto (Sanepar, 2021).

De acordo com o Relatório de Sustentabilidade, algumas ações que a empresa adotou para reduzir e melhorar estes índices foram:

- Realização de estudos para que as unidades consumidoras migrem para o mercado livre de energia;
- Monitoramento e medição remota (em tempo real) do consumo de energia elétrica de 93 unidades consumidoras localizadas nos municípios de Curitiba e Região Metropolitana, Londrina, Cambé, Cascavel e Foz do Iguaçu;
- Implantação de um sistema piloto de geração hidroenergética em sistemas de abastecimento de água, com potência média de 18 kW;
- Instalação da usina de biodigestão;
- Instalação de placas fotovoltaicas em um estacionamento experimental, cuja potência total é de 5kWp e de uma usina solar fotovoltaica flutuante de 130 kWp;
- Realização de estudos voltados a eficiência energética (Sanepar, 2021).

Na Tabela 6, é mostrado o consumo de eletricidade na Companhia, incluindo a autoprodução de energia elétrica e a intensidade energética nos processos de produção de água e de coleta de esgoto.

Tabela 6 – Consumo de energia e intensidade energética da Sanepar.

Consumo de eletricidade	2.641.546 GJ (733.762.677 kWh consumidos do Sistema Interligado Nacional)
Eletricidade vendida	980 GJ oriundos da autoprodução de energia de fonte renovável para consumo próprio (biogás, painel solar e hidráulica)
Consumo total de energia dentro da organização	2.642.526 GJ
Taxa de intensidade energética para a organização (dentro da organização).	Consumo de eletricidade no processo água dividido pelo volume produzido = 0,0031 GJ/m ³ Consumo de eletricidade no processo esgoto dividido pelo volume de esgoto coletado = 0,00078 GJ/m ³

Fonte: Adaptado de Sanepar (2021).

4.2.1 ETE Ouro Fino – Foz do Iguaçu

De acordo com o Relatório de Sustentabilidade, a ETE Ouro Fino, localizada em Foz do Iguaçu, possui “uma usina de biodigestão de alta tecnologia (conforme registro fotográfico apresentado na Figura 18), que produz energia renovável a partir do tratamento simultâneo e inovador de lodo de esgoto e de materiais orgânicos provenientes de grandes geradores, onde a

energia elétrica gerada é utilizada pela própria planta, sendo que o excedente é injetado na rede da concessionária local, gerando créditos de energia” (Sanepar, 2021).

Figura 18: Planta de produção de bioenergia na ETE Ouro Fino: armazenamento de metano.



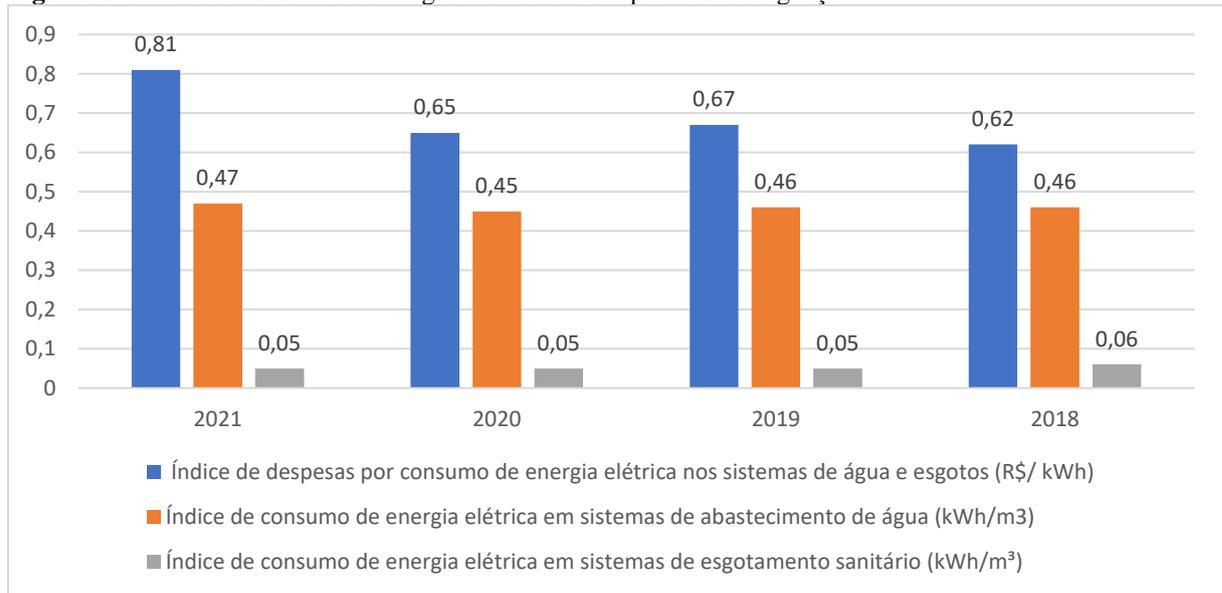
Fonte: Lima (2022).

A ETE Ouro Fino foi implementada em 2021 e foi a primeira estação a ter um sistema de geração distribuída de energia elétrica híbrida no Brasil, premiada como melhor planta de saneamento do país. O projeto possui microgeração distribuída híbrida, que é a aplicação conjunta de biogás, energia solar (cerca de 5kWp) e geradores hidroenergéticos (2kW) na saída do efluente da planta (Sanepar, 2021; AEN, 2023).

Na Figura 19 é apresentado o gráfico com os índices de consumo de energia elétrica da Sanepar de Foz do Iguaçu.

A coleta de dados para esta unidade foi realizada em um período menor de anos, pois não foi encontrado informações referente ao ano de 2022 nos Relatórios de Diagnóstico do SNIS.

Figura 19: Índice de consumo de energia elétrica da Sanepar - Foz do Iguaçu.



Obs.: Não foram encontradas informações do ano de 2022 na base de dados do SNIS, sendo o Relatório de Diagnóstico do 2021 o mais atual para esta unidade operacional.

Fonte: SNIS (2024b).

De acordo com os dados do SNIS (Figura 19), observa-se que as estações dos sistemas de água e esgoto da Sanepar em Foz do Iguaçu apresentaram um aumento considerável no índice de despesas por consumo de energia elétrica entre 2020 e 2021. Já o consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água apresentou um pequeno aumento e o mesmo índice para esgoto se manteve durante o período avaliado.

5 CONCLUSÃO

De modo geral, observa-se que o setor de saneamento básico apresenta grande contribuição para o alcance das metas nacionais e internacionais voltadas ao acesso de água e de energia elétrica, bem como na redução das emissões dos gases de efeito estufa na atmosfera, uma vez este segmento apresenta diversas estratégias e alternativas tecnológicas e estruturais voltadas à transição de energia para fontes renováveis e de eficiência energética, mesmo sendo um grande consumidor destas fontes (água e energia).

Ao avaliar as prestadoras de serviço de grande porte do país, observou-se que ambas estão implementando as principais tecnologias e processos voltados à eficiência energética nas suas unidades operacionais, de modo a terem vantagens econômicas ao longo do tempo e contribuírem de forma significativa com o clima.

As principais medidas que as prestadoras de serviço de saneamento selecionadas neste estudo adotaram foram: a automatização dos processos, a realização de melhorias nos sistemas de bombeamento, a construção de usinas solares, a utilização do biogás e a realização de estudos voltados a eficiência energética e a compra de energia no ambiente de contratação livre.

Alguns indicadores não apresentaram resultados satisfatórios em relação as despesas e ao consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. Deste modo, estes índices requerem atenção e acompanhamento nos próximos anos para realização de uma avaliação mais assertiva sobre a real condição em que se encontram, uma vez que se trata de unidades onde a alteração dos processos e tecnologias de transição de energia e eficiência energética é recente.

Cabe mencionar também, que é necessário a coleta de outras variáveis e maior tempo de estudo para a realização de uma análise mais precisa sobre os indicadores de desempenho avaliados neste trabalho.

Contudo, é inegável os diversos benefícios que a adoção dos processos e tecnologias voltados à eficiência energética no setor de saneamento básico traz aos seus prestadores de serviços, bem como aos seus consumidores, uma vez que estas medidas oferecem benefícios econômicos e ambientais de grande valia, bem como contribui com a redução de perdas de águas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEEÓLICA Associação Brasileira de Energia Eólica é uma instituição. 2024. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/brasil-permanece-em-60-lugar-no-ranking-mundial-de-energia-eolica/>. Acesso em: 01 dez. 2024.

ABICLOR. **Energia solar avança entre as companhias de saneamento.** 2022. Disponível em: <https://www.abiclor.com.br/energia-solar-avanca-entre-as-companhias-de-saneamento/>. Acesso em: 01 dez. 2024.

ABRACEEL Associação brasileira dos comercializadores de energia. **Empresas de saneamento básico buscam mercado livre de energia para reduzir custos e aumentar eficiência.** 2023a. Disponível em: <https://abraceel.com.br/press-releases/2023/03/empresas-de-saneamento-basico-buscam-mercado-livre-de-energia-para-reduzir-custos-e-aumentar-eficiencia/>. Acesso em: 01 dez. 2024.

ABRACEEL Associação brasileira dos comercializadores de energia **Cartilha do Mercado Livre de Energia: um guia para quem deseja comprar livremente sua energia elétrica!** Brasil: Abraceel, 2023b. 19 p. Disponível em: <https://abraceel.com.br/wp-content/uploads/post/2023/10/Cartilha-do-Mercado-Livre-de-Energia.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2024.

AEN Agência Estadual de Notícias. **Estação de tratamento de Foz do Iguaçu é premiada como melhor planta de saneamento do País.** 2023. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Estacao-de-tratamento-de-Foz-do-Iguacu-e-premiada-como-melhor-planta-de-saneamento-do-Pais>. Acesso em: 01 dez. 2024.

AESABESP Associação dos Engenheiros da Sabesp. **Eficiência Energética: será o Brasil a grande potência energética do século XXI?** 2008. Disponível em: <https://www.aesabesp.org.br/arquivos/saneas/saneas31.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2024.

ALFACOMP. **Telemetria.** Disponível em: <https://alfacom.net/portfolio-item/telemetria/>. Acesso em: 01 dez. 2024.

BOCCHINNI, Bruno. **Governo de SP conclui privatização da Sabesp ao vender 32% dos papéis.** 2024. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-07/governo-de-sp-conclui-privatizacao-da-sabesp-ao-vender-32-dos-papeis>. Acesso em: 01 dez. 2024.

BRASIL. Lei nº 11445, de 05 de janeiro de 2007. **Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.** Brasília, Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/L11445compilado.htm. Acesso em: 01 dez. 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto – PROBIOGÁS**. Brasília, 2015. 183p.

BRASIL. **Lei 14.026 de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm>. Acesso em: 26 nov. 2024.

BRASIL. **Lei 14.026 de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm>. Acesso em: 26 nov. 2024.

BEZERRA, Saulo de Tarso Marques; CHEUNG, Peter Batista. **Perdas de Água: tecnologias de controle**. João Pessoa: UFPB - Universidade Federal da Paraíba, 2013. 220 p.

BRITO, Ary. **Eficiência energética em sistemas de bombeamento de água: oportunidades e desafios**. 2024. Disponível em: <https://www.nivetec.com.br/eficiencia-energetica/>. Acesso em: 01 dez. 2024.

CASARIN, Ricardo. **Energia solar atinge 40 GW de capacidade instalada no Brasil**. 2024. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/operacao-e-expansao/oem/energia-solar-atinge-40-gw-de-capacidade-instalada-no-brasil>. Acesso em: 01 dez. 2024.

CASSINI, S. T. **Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento do Biogás**. 1 ed. Vitória: PROSAB FINEP, 2003. 196 p.

CASTILHO, Rubens. **Desastres ambientais no Brasil**. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/desastres-ambientais-no-brasil/>. Acesso em: 01 dez. 2024.

CCEE, Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Comercialização Consumo Distribuição Geração Mercado: estudo da CCEE aponta crescimento de 6,8% no consumo de energia no primeiro semestre de 2024**. 2024. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/estudo-da-ccee-aponta-crescimento-de-6-8-no-consumo-de-energia-brasileiro-no-primeiro-semester-de-2024>. Acesso em: 01 dez. 2024.

ENERGIA, Além da. **Brasil tem três das dez maiores hidrelétricas do mundo**. 2022. Disponível em: [https://www.alemداenergia.engie.com.br/brasil-tem-tres-das-dez-maiores-hidreletricas-do-mundo/#:~:text=Segundo%20a%20Ag%C3%AAncia%20Nacional%20de,centrais%20geradoras%20hidrel%C3%A9tricas%20\(CGHS\)](https://www.alemداenergia.engie.com.br/brasil-tem-tres-das-dez-maiores-hidreletricas-do-mundo/#:~:text=Segundo%20a%20Ag%C3%AAncia%20Nacional%20de,centrais%20geradoras%20hidrel%C3%A9tricas%20(CGHS).). Acesso em: 01 dez. 2024.

ENSAIOS, S.O.Esco. **Eficiência Energética de Sistemas de Saneamento: capítulo 1 - energia no saneamento**. Rondônia: S.O.Esco Ensaio, 2021. 31 p.

EPE Empresa de Pesquisa Energética. **Fontes de Energia**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia#:~:text=S%C3%A3o%20exemplos%20de%20fontes%20n%C3%A3o,mineral%2C%20g%C3%A1s%20natural%20e%20nuclear..> Acesso em: 01 dez. 2024a.

EPE Empresa de Pesquisa Energética. **Expansão de Geração: Fontes**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/fontes>. Acesso em: 01 dez. 2024b.

EPE Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 01 dez. 2024c.

EPTV 1. **1ª estação de tratamento de esgoto com energia solar do Brasil é inaugurada em Mogi Mirim**. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/2019/07/25/1a-estacao-de-tratamento-de-esgoto-com-energia-solar-do-brasil-e-inaugurada-em-mogi-mirim.ghtml>. Acesso em: 01 dez. 2024.

FREITAS, Carlos M. de *et al.* Acidentes químicos ampliados: um desafio para a saúde pública. **Revista Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 29 (6), p. 503-514, 1995.

GOVERNO, Portal do. **Mogi Mirim recebe 1º sistema de energia solar em saneamento**. 2019. Disponível em: <https://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/mogi-mirim-recebe-1o-sistema-de-geracao-de-energia-solar-em-saneamento/>. Acesso em: 01 dez. 2024.

LEGNER, Carla. **Telemetria Em Sistemas De ETA e ETE**: edição nº 30 - abril/maio de 2016 - ano 5. Edição Nº 30 - abril/maio de 2016 - Ano 5. 2016. Disponível em: <https://www.revistatae.com.br/Artigo/136/telemetria-em-sistemas-de-eta-e-ete>. Acesso em: 01 dez. 2024.

LIMA, Soares Rafaelle Vanessa. Eficiência energética em sistemas de saneamento básico sob a perspectiva do nexo água, energia e alimentos. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

LIMA, Leandro José Barbosa. HAMZAGIC, Miroslava. Estratégias para a transição energética: Revisão de literatura. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. ed. 06, vol. 08, pág. 96 – 120. Jun. 2022.

LUTTERBACK, Rafael. **Os 6 tipos de sistemas fotovoltaicos**. 2020. Disponível em: <https://www.evolar.com.br/post/os-6-tipos-de-sistemas-fotovoltaicos>. Acesso em: 01 dez. 2024.

JACOBBER, Adriana Aparecida; SILVA, Alexander Barra Pereira da; LUZ, Caio de Souza; LIMA, Felipe Garcia de; SILVA, Luiza Layana Martins; MAXIMIANO, Suellen Roberta dos santos. **Avaliação do potencial energético da gaseificação da biomassa produzida no reator uasb de estação de tratamento de esgoto sanitário.** 2021. 46 f. Projeto Integrador - Curso de Curso Superior de Tecnologia em Gestão de Energia e Eficiência Energética, Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza Faculdade de Tecnologia de Campinas, Campinas, 2021.

MACHADO, L. L. N. **Aspectos Técnicos Relacionados à Geração de Energia Elétrica a Partir do Lodo de Esgoto** da dissertação. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado no Curso de Engenharia Ambiental) Escola Politécnica & Escola de Química do Programa de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

MME Ministério de Minas e Energia. **Energia renovável: energia eólica registra primeiro recorde de geração instantânea de 2022.** 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2022/08/energia-eolica-registra-primeiro-recorde-de-geracao-instantanea-de-2022>. Acesso em: 01 dez. 2024.

MME Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas.** Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/plano-nacional-de-eficiencia-energetica/documentos/plano-nacional-eficiencia-energetica-pdf.pdf/view>. Acesso em: 01 dez. 2024.

MOURA, Emily. **Vida útil de equipamentos solares garante economia por mais de 25 anos.** 2023. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/tecnologia/equipamentos-fv/vida-util-de-equipamentos-solares-garante-economia-por-mais-de-25-anos>. Acesso em: 01 dez. 2024.

OC OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Brasil precisa cortar emissões em 92% até 2035.** 2024. Disponível em: <https://www.oc.eco.br/brasil-precisa-cortar-emissoes-em-92-ate-2035/>. Acesso em: 01 dez. 2024.

ONU Organização das Nações Unidas. **Objetivo 7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos.** Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/7>. Acesso em: 01 dez. 2024.

PROEESA 2.0 ONLINE Projeto de Eficiência Energética no Abastecimento de Água 2.0 ONLINE. **Funcionalidades do sistema supervisor - SAAE Indaiatuba:** rede de aprendizagem em gestão de água e energia. Apresentado por Adriana Aparecida Jacober -. Rede de Aprendizagem em Gestão de Água e Energia -. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=oYOPckK-aUo>. Acesso em: 01 dez. 2024.

PROEESA Projeto de Eficiência Energética no Abastecimento de Água. **Descrição institucional da Cooperação**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/proeesa-projeto-de-eficiencia-energetica-no-abastecimento-de-agua/proeesa>. Acesso em: 01 dez. 2024.

QUEVEDO, Renata Tomaz. **Biogás**. 2016. Disponível em: <https://www.infoescola.com/combustiveis/biogas/>. Acesso em: 01 dez. 2024.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável**: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2016. 452 p.

TRATA BRASIL. **Água tratada perdida poderia abastecer 54 milhões de brasileiros por um ano, enquanto mais de 32 milhões de brasileiros vivem sem o recurso**. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/06/Release-Perdas-de-Agua-2024.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2024.

RAÍZEN, Times de Sustentabilidade e Comunicação Corporativa da. **Relatório de Sustentabilidade: o que você precisa saber**: o que você precisa saber. 2024. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/relatorio-sustentabilidade>. Acesso em: 01 dez. 2024.

SABESP Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Relatório de Sustentabilidade 2023**. São Paulo: Sabesp, 2023. 187 p.

SANEPAR Companhia de Saneamento do Paraná (Curitiba – PR). **Eficiência energética no saneamento**: trabalhos contemplados no prêmio Sanepar de tecnologias sustentáveis e no prêmio inova Sanepar. 16. ed. Curitiba. 2017. p. 1-130.

SANEPAR Companhia de Saneamento do Paraná (Curitiba – PR). **Relatório de Sustentabilidade 2021**.Paraná: Sanepar, 2021. 121 p.

SEEG. **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil**. Brasil: SEEG, 2023. 34 p. Disponível em: https://oc.eco.br/wp-content/uploads/2023/11/Relatorio-SEEG_gases-estufa_2023FINAL.pdf. Acesso em: 01 dez. 2024.

SILVA, Enrique Douglas Casado da. **Eficientização energética para um sistema de distribuição de água**. 2020. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2020.

SOLAR, Boreal. **Potencial de energia solar: Quais as melhores regiões brasileiras para captação da luz solar**. Disponível em: <https://borealsolar.com.br/blog/2016/10/26/potencial-de-energia-solar-quais-as-melhores-regioes-brasileiras-para-captacao-da-luz-solar/>. Acesso em: 01 dez. 2024.

SPOLAOR, Antônio Sérgio. **Automação nos sistemas de abastecimento de água. Caso do controle da reservação de distribuição.** 2011. 121 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

SNIS Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento:** gestão técnica de água ano de referência 2021. Brasil: SNIS, 2023. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/Snis/AGUA_E_ESGOTO/DIAGNOSTICO_TEMATICO_GESTAO_TECNICA_DE_AGUA_AE_SNIS_MAI_2023.pdf. Acesso em: 01 dez. 2024.

SNIS Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento. **SNIS.** Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis>. Acesso em: 01 dez. 2024a.

SNIS Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento. **Diagnósticos SNIS.** Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis>. Acesso em: 01 dez. 2024b.

UENO, Alessandra. **Hidrelétricas são responsáveis por mais de 60% da geração de energia elétrica brasileira.** 2024. Jornal da USP. Disponível em: <https://jornal.usp.br/radio-usp/hidreletricas-sao-responsaveis-por-mais-de-60-da-geracao-de-energia-eletrica-brasileira/>. Acesso em: 01 dez. 2024.

VENKATESH, G.; BRATTEBO, H. Energy consumption, costs and environmental impacts for urban water cycle services: case study of oslo (norway). **Energy**, v. 36, n. 2, p. 792-800, fev. 2011. Elsevier BV.