

**UFMS – UNIVERSIDADE FEDERAL DO MATO GROSSO DO
SUL**

Leonardo Castelli Rister

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A GERAÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA PELAS EMPRESAS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA E PROCESSOS QUE PODEM
MITIGAR O VALOR GASTO COM ENERGIA**

Campo Grande – MS

2021

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PELAS EMPRESAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E PROCESSOS QUE PODEM MITIGAR O VALOR GASTO COM ENERGIA

Leonardo Castelli Rister

Orientador: Andrea Romero Karmouche

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Mato Grosso do Sul na Faculdade de
Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e
Geografia, como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro
Eletricista.

Campo Grande – MS

2021

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PELAS EMPRESAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E PROCESSOS QUE PODEM MITIGAR O VALOR GASTO COM ENERGIA

Monografia apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul na Faculdade de
Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, para obtenção da Graduação em
Engenharia Elétrica.

Banca Examinadora:

Prof. M.^a Andrea Romero Karmouche
Orientadora

Prof. Dr.^a Luciana Cambraia Leite

Prof. Dr. Saulo Gomes Moreira

Campo Grande – MS

2021

DECLARAÇÃO DE AUTORIA E RESPONSABILIDADE

Leonardo Castelli Rister, residente e domiciliado na cidade de Campo Grande, Estado do Mato Grosso do Sul, portador do RG de nº 476151181 e CPF nº 337.615.198-93, declaro que o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado, com o título “REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PELAS EMPRESAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E PROCESSOS QUE AJUDAM MITIGAR O VALOR GASTO COM ENERGIA” é de minha autoria e assumo a total responsabilidade pelo seu conteúdo e pela originalidade do texto. Declaro que identifiquei e referenciei todas as fontes e informações gerais que foram utilizadas para construção do presente texto. Declaro também que este artigo não foi publicado, em parte, na íntegra ou conteúdo similar em outros meios de comunicação, tendo sido enviado com exclusividade para a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

Campo Grande, 23 de fevereiro de 2021.

Leonardo Castelli Rister

RG: 2013.2103.165-3

Curso de Engenharia Elétrica - UFMS

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade que me foi dada. Além disso, agradeço aos meus pais, que sempre estiveram ao meu lado me dando forças para seguir; em especial minha mãe Cássia, minha inspiração.

Agradeço a toda minha família, lembrando dos meus avós que sempre confiaram em mim e ao meu irmão Gabriel que morou comigo um breve período, mas me ajudou durante essa trajetória.

Agradeço aos meus amigos que sempre me incentivaram a continuar e aos meus professores que fizeram o possível para passar o melhor conhecimento.

Além disso, não posso esquecer da minha namorada Maithe e de toda sua família.

RESUMO

O trabalho faz um estudo sobre tecnologias que ajudam a diminuir os gastos das empresas de abastecimento de água com energia elétrica. Para entender melhor cada método utilizado, inicialmente faz-se uma breve apresentação sobre geradores e PCHs. Posteriormente, analisa-se o consumo de energia elétrica em algumas empresas de abastecimento de água. Por fim, apresenta-se algumas tecnologias que são usadas para diminuir o gasto, como, por exemplo, a geração de energia elétrica em tubos de água das cidades.

Palavras-Chave: Geradores Elétricos, Pequenas Centrais Hidroelétrica, Água e Esgoto, Energia Renovável.

ABSTRACT

The work makes a study on technologies that help to reduce the expenses of the water supply companies with electric energy. To better understand each method used, initially a brief presentation is made on generators and PCHs. Subsequently, the consumption of electricity in some water supply companies is analyzed. Finally, we present some technologies that are used to reduce expenditure, such as, for example, the generation of electric energy in water pipes in cities.

Keywords: Electric Generators, Small Hydroelectric Plants, Water and Sewage, Renewable Energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de potências da máquina síncrona	18
Figura 2 – Gráfico da oferta interna de energia elétrica (OIEE) em 2019	19
Figura 3 – Ilustração de uma PCH a fio d'água	21
Figura 4 – Ilustração da geração de energia elétrica com água sob pressão	22
Figura 5 – Distribuição de água na Terra	23
Figura 6 – Exemplo de VRP	26
Figura 7 – Despesas do sistema produtor Rio das Velhas – MG	29
Figura 8 – Evolução do consumo de energia elétrica	30
Figura 9 – Correlação entre o consumo de água e energia e projeção de crescimento	31
Figura 10 – Ilustração da turbina da LucidPipe instalada	33
Figura 11 – Foto interna da turbina da LucidPipe	33
Figura 12 – Layout típico para um sistema de energia com 4 turbinas, 200 kW, em um tubo de diâmetro de 42”	35
Figura 13 – Modelo ilustrativo mostrando a maneira de instalação da microturbina da ATME	36
Figura 14 – Microturbina da ATME	36
Figura 15 – Modelo ilustrativo mostrando a conexão da microturbina com a bateria	37
Figura 16 – Evolução dos serviços de água e esgoto no país (em %)	38
Figura 17 – Usina de cogeração de energia elétrica localizada em Feira de Santana	39
Figura 18 – Comparação dos consumos específicos e específicos normalizados antes e depois da análise e aplicação de medidas de eficiência energética	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação, quanto a potência instalada, das PCHs	21
Tabela 2 – Diâmetro da tubulação e potência gerada	34
Tabela 3 – Alguns fatores que interferem na gestão de perdas e eficiência energética	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
1.2. JUSTIFICATIVA	13
1.3. OBJETIVOS	14
1.3.1. Objetivo Geral	14
1.3.2. Objetivos Específicos	14
1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	14
2. METODOLOGIA.....	15
3. GERADORES.....	16
3.1. TENSÃO INTERNA GERADA	16
3.2. POTÊNCIA E TORQUE EM GERADORES SÍNCRONOS.....	17
4. PEQUENAS CENTRAIS HIDROELÉTRICAS (PCHs)	19
4.1. FUNCIONAMENTO E TIPOS DE PCHs	20
4.2. PCHs A FIO D'ÁGUA OU ÁGUA SOB PRESSÃO.....	21
5. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	23
5.1. VAZÃO	23
5.2. POTÊNCIA E RENDIMENTO DAS BOMBAS.....	24
5.3. REDES DE DISTRIBUIÇÃO.....	25
5.4. DIÂMETRO DAS TUBULAÇÕES E VELOCIDADE DA ÁGUA.....	25
5.5. VÁLVULA DE REDUÇÃO DE PRESSÃO (VRP) E LOCALIZAÇÃO IDEAL DAS TURBINAS.....	26
6. GASTOS COM ENERGIA ELÉTRICA NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	29
7. TECNOLOGIAS QUE AUXILIAM A DIMINUIR O GASTO COM ENERGIA ELÉTRICA EM EMPRESAS DE ABASTECIMENTO.....	32

7.1.1. Modelo LucidPipe	32
7.1.2. Modelo Sabesp	35
7.1.3. Cogeração a Partir do Biogás.....	38
7.2. GESTÃO DE PERDAS E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	40
8. CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

O abastecimento de água está diretamente ligado a energia elétrica; isso porque usa-se a energia, tanto nos escritórios, quanto para o funcionamento das máquinas responsáveis pela captação e bombeamento do líquido.

Geralmente os sistemas de abastecimento são antigos, como veremos posteriormente no capítulo 5; por conta disso, existe um gasto excessivo de energia elétrica durante todo o processo. Esse gasto pode ser porque os equipamentos são antigos ou porque o sistema não é interligado e automatizado.

Além dos gastos desnecessários, existem pontos do sistema de abastecimento de água que podem ser usados para gerar energia elétrica. Essa geração é feita colocando turbinas conectadas a geradores elétricos nos pontos onde a pressão que a água exerce é maior e deve ter uma atenção especial. É possível encontrar esse sistema de geração em Portland – Oregon, Estados Unidos, instalado pela empresa LucidPipe e em partes da cidade de São Paulo – SP, Brasil, instalados pela Sabesp.

Outra opção para geração de energia elétrica que pode ser feita pela própria empresa de abastecimento de água é utilizando o biogás. Encontra-se esse sistema na cidade de Feira de Santana – Bahia, Brasil.

A ineficiência energética das empresas e a má gestão relacionada a área de energia também influenciam no maior consumo de energia. Com isso, estuda-se maneiras para mitigar o gasto com energia elétrica; essas maneiras estão ligadas a gestão de perdas e eficiência energética.

1.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O livro Fundamentos de Máquinas Elétricas, de Stephen J. Chapman (2013), teve função *sine qua non* para a produção do trabalho. Isso porque ele deu o amparo em relação aos conceitos de máquinas elétricas, assim como geradores.

Para de geração de energia elétrica em pequena escala, utilizou-se, em conjunto, artigos, como o Guia do Empreendedor de Pequenas Centrais Hidroelétricas, fornecido pela ANEEL (2003), que estudava pequenas centrais hidroelétricas e o livro de Daniel Carneiro, Adriana Coli e Fábio Dias, chamado “PCHs: Aspectos Jurídicos, Técnicos e Comerciais”. (CARNEIRO; COLI; DIAS, 2013).

Algumas técnicas de dimensionamento e do funcionamento do sistema de saneamento básico brasileiro foram obtidas no livro de Léo Heller e Valter Lúcio de Pádua (2016), chamado “Abastecimento de água para consumo humano”.

Para encontrar os valores gastos pelas empresas usou-se o portal da transparência e o Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento (SINS), além dos relatórios trimestrais e anuais fornecidos pela Águas Guariroba e Sabesp.

Além disso, o trabalho baseou-se em projetos das empresas Lucid Energy, Sabesp e Embasa.

1.2. JUSTIFICATIVA

O trabalho surgiu da ideia de realizar um estudo sobre a viabilidade de implementação de geradores elétricos em tubulações de água das cidades. Com isso, viu-se a necessidade de falar das tecnologias que, assim como a geração em tubulações de água, possam ajudar a reduzir os custos das distribuidoras.

Para justificar os investimentos em novas tecnologias, durante o trabalho, pesquisou-se os gastos com energia elétrica das empresas de abastecimento de água, aumento tarifário e projeções do valor e consumo de energia.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

Mostrar ao leitor o valor gasto pelas distribuidoras de água com energia elétrica e, com isso, apresentar tecnologias que ajudam a diminuir esse gasto. Além disso, mostrar o aumento do valor da energia e sua perspectiva de aumento futuro.

1.3.2. Objetivos Específicos

O trabalho visa esclarecer ao leitor os seguintes processos:

1. A possibilidade de gerar energia elétrica com a instalação de turbinas geradoras nos canos de água das cidades, funcionamento das turbinas alocadas nos canos de água das cidades e análise dos pontos adequados para a implementação do projeto;
2. Tecnologias que ajudam a mitigar o gasto das empresas de abastecimento de água com energia elétrica;
3. Analisar a variação do valor da energia elétrica ao passar do tempo, assim como os gastos com energia pelas empresas de abastecimento de água.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No Capítulo 2 está a metodologia utilizada no trabalho

No Capítulo 3 têm-se as principais equações e conceitos de geradores elétricos.

No Capítulo 4 estuda-se as pequenas centrais hidroelétricas (PCHs), dando um foco maior em PCH a fio d'água e água sob pressão.

No Capítulo 5 estuda-se os principais pontos referentes às redes de distribuição de água nas cidades. Além disso apresenta-se as condições mínimas que devem ser estudadas antes de se fazer um projeto de geração de energia elétrica nas redes urbanas de distribuição de água.

No Capítulo 6 observa-se os gastos das empresas de abastecimento de água com energia elétrica.

No Capítulo 7, apresenta-se o projeto de geração de energia das empresas LucidPipe, Sabesp e Embasa. Além disso observou-se sobre gestão de perdas e eficiência energética.

2. METODOLOGIA

Para a análise de geração de energia elétrica pelas empresas de abastecimento de água das cidades usou-se uma pesquisa bibliográfica, elaborada a partir de material já publicado pelas empresas e em artigos científicos. Além disso, usou-se uma pesquisa documental dos arquivos fornecidos pela Lucid Energy, Sabesp, Embasa, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento (SINS) e Balanço Energético Nacional (BEM).

Já para encontrar os gastos que cada empresa de abastecimento de água tem com energia elétrica fez-se uma pesquisa documental em arquivos, trimestrais e anuais, fornecidos pelas próprias empresas.

Finalmente, o trabalho faz uma pesquisa que busca gerar conhecimentos novos para avanço da ciência.

3. GERADORES

A função principal dos geradores elétricos é converter a energia mecânica em energia elétrica.

Tendo visto, nos subcapítulos anteriores, a teoria geral de máquinas; agora, focaremos nas máquinas síncronas que geram energia elétrica.

Basicamente, em um gerador, um campo magnético é produzido, por ímãs permanentes ou eletroímãs, no rotor da máquina. Com isso, e, fazendo com que o rotor do motor gire, por meio de uma força externa, um campo magnético girante é criado.

Se dois campos magnéticos estiverem presentes em uma máquina, um conjugado será criado para tentar alinhar os dois campos. Agora, se um dos campos magnéticos for produzido pelo estator e o outro pelo rotor, então, uma força será induzida no rotor, fazendo-o girar para que, o campo magnético, alinhe-se com o do estator.

3.1. TENSÃO INTERNA GERADA

A tensão induzida em uma dada fase do estator é dada a seguir.

$$E_a = \sqrt{2} \times \pi \times N_c \times \Phi \times f \quad [\text{V}] \quad (1)$$

Sendo:

- E_a : tensão induzida na fase a;
- N_c : número de espiras;
- Φ : fluxo magnético;
- f : frequência em Hz.

Além disso, a frequência pode ser calculada da seguinte forma:

$$f = \frac{Nm \times P}{120} \quad [\text{Hz}] \quad (2)$$

- Nm : velocidade mecânica do campo magnético. Essa velocidade, no caso das máquinas síncronas, é igual a velocidade do rotor;
- P : número de polos da máquina.

Após solucionar alguns problemas da máquina síncrona, a fórmula é simplificada, como observa-se a seguir.

$$Ea = K \times \Phi \times \omega \quad [\text{V}] \quad (3)$$

Sendo:

- ω : velocidade de rotação, em radianos elétricos por segundo ou radianos mecânicos por segundo;
- K : constante.

O valor de K varia dependendo da maneira que for expressa o ω . Ou seja, caso ele seja dado em radianos elétricos por segundo, o K é:

$$K = \frac{Nc}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

Agora, caso K seja dado em radianos mecânicos por segundo, tem-se:

$$K = \frac{Nc \times P}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

3.2. POTÊNCIA E TORQUE EM GERADORES SÍNCRONOS

Como dito no início do subcapítulo, os geradores têm, por objetivo, converter energia mecânica em energia elétrica. A força mecânica pode ser produzida de diversas formas; porém, durante o texto, essa geração será a turbina hidráulica.

Sabe-se que nenhuma máquina tem o rendimento de cem por cento. Portanto, nem toda potência mecânica disponível será convertida em potência elétrica. A partir disso, é possível calcular as seguintes potências.

$$P_{entrada} = \tau_{ap} \times \omega_m \quad [\text{W}] \quad (6)$$

Sendo:

- $P_{entrada}$: potência mecânica de entrada;

- τ_{ap} : torque aplicado.

Já a potência convertida é dada por:

$$P_{conv} = \tau_{ind} \times \omega_m = 3 \times E_a \times I_a \times \cos(\gamma) \quad [\text{W}] \quad (7)$$

Sendo:

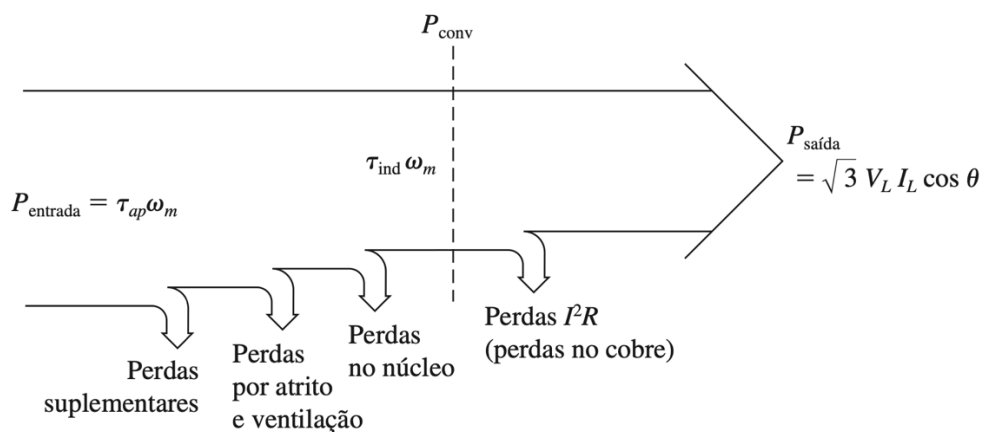
- P_{conv} : potência mecânica convertida internamente para potência elétrica;
- E_a : tensão na fase ‘a’;
- I_a : corrente na fase ‘a’;
- $\cos(\gamma)$: ângulo entre E_a e I_a .

Com isso, é possível obter a potência elétrica ativa do gerador síncrono.

$$P_{saída} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos(\theta) \quad [\text{W}] \quad (8)$$

Observa-se que, na equação da potência de saída, os valores de tensão e corrente são expressos como ‘linha’. Ou seja, não são grandezas de ‘fase’, como utilizada anteriormente.

Figura 1 – Diagrama de potências da máquina síncrona.



Fonte: (CHAPMAN, 2013)

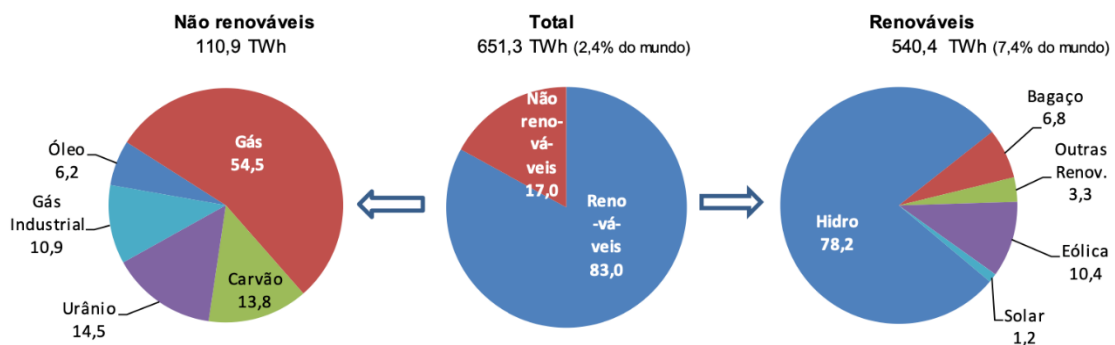
4. PEQUENAS CENTRAIS HIDROELÉTRICAS (PCHs)

A partir do conhecimento sobre geradores elétricos, assunto do capítulo 3, inicia-se a seguinte discussão: qual a melhor maneira de fazer o rotor do gerador girar?

Existem inúmeras formas de fornecer, ao rotor, uma força mecânica que o faça girar. Dentre elas estão a combustão de combustíveis fósseis, a combustão de matéria orgânica, como o bagaço da cana de açúcar, e a força da água.

O Brasil tem cerca de 78,2 % de sua matriz energética ligada a hidroelétricas.

Figura 2 – Gráfico da oferta interna de energia elétrica (OIEE) em 2019.



Disponível em: Ministério de Minas e Energia (2020)

Porém, a implementação de novas hidroelétricas de grande porte torna-se cada vez mais difícil; isso porque, para sua construção, é necessário que uma grande área seja transformada em reservatório. Além disso, essas áreas são compostas por vegetação nativa e população ribeirinha; tornando difícil a implementação das usinas.

Contudo, observa-se um aumento significativo das pequenas centrais hidroelétricas (PCHs). Esse fato deve-se à maior facilidade de construção, menor burocracia e menores danos ambientais.

As PCHs deram-se início, no Brasil, em 1883. Porém, só em 04 de agosto de 2015, por meio da Resolução da ANEEL nº 673/2015, definiu-se o enquadramento e características das PCHs. Além disso, para os que investirem em pequenas centrais hidroelétricas, criou-se diversos subsídios. (BRASIL, 2015).

No final do século XIX iniciou-se a construção da primeira PCH no Brasil, mais precisamente em Diamantina – MG. Porém, no final desse século e início do século XX predominavam as gerações térmicas.

Em meados do século XX a maioria dos estados brasileiros passou a adotar a geração através de hidroelétricas.

As PCHs eram usadas para abastecimento elétrico de pequenas cidades, vilarejos e indústrias isoladas. Com o crescimento da demanda para atendimento dos sistemas isolados iniciou-se um novo ciclo no setor elétrico brasileiro. Esse aumento da demanda impulsionou o surgimento de diversas pequenas companhias de eletricidade. Portanto, observa-se que as pequenas centrais hidroelétricas foram as precursoras da matriz hidroelétrica brasileira.

Contudo, diversas empresas estatais foram criadas dando, assim, início aos grandes investimentos no setor elétrico; abandonando as PCHs.

A partir da década de 80, iniciou-se um processo de reorganização e incentivo das PCHs. Entretanto, esse desenvolvimento não ocorreu como esperado pois o Brasil enfrentava grande crise econômica e social.

No ano de 1998, por meio da lei nº 9.648, fixou-se o limite de geração das pequenas centrais hidroelétricas. (BRASIL, 1998). Já em 2003, com a publicação da Resolução da ANEEL nº 652/2003, incentivou-se novos empreendimentos e facilitou-se a aprovação de projetos. Finalmente, em 2015, por intermédio da Resolução da ANEEL nº 673/2005, definiu-se o enquadramento e as regras que devem ser cumpridas para a construção de novas PCHs.

4.1. FUNCIONAMENTO E TIPOS DE PCHs

As pequenas centrais hidroelétricas assemelham-se, quanto a forma de geração, as grandes usinas. De acordo com a sua capacidade de regulação, as PCHs são separadas em:

- A fio d'água;
- Acumulação diária com regulação diária do reservatório;
- Acumulação diária com regularização mensal do reservatório.

Também podem ser classificadas quanto a potência instalada e altura do projeto, como pode ser observado na tabela abaixo.

Tabela 1 – Classificação, quanto a potência instalada, das PCHs.

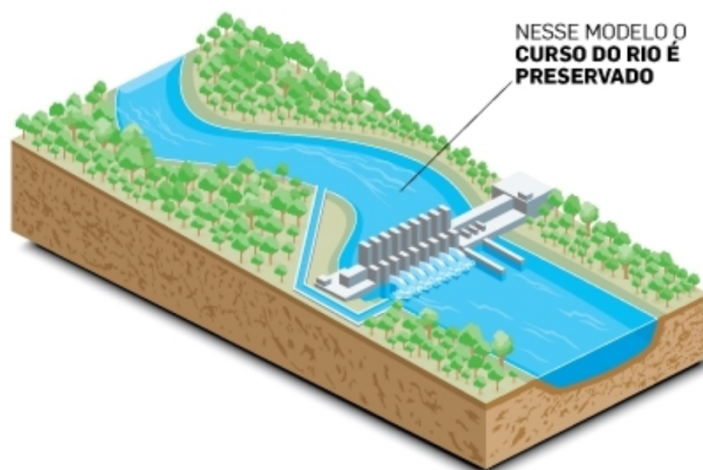
CLASSIFICAÇÃO DAS CENTRAIS	POTÊNCIA - P (KW)	QUEDA DE PROJETO - H_d (m)		
		BAIXA	MÉDIA	ALTA
MICRO	$P < 100$	$H_d < 15$	$15 < H_d < 50$	$H_d > 50$
MINI	$100 < P < 1.000$	$H_d < 20$	$20 < H_d < 100$	$H_d > 100$
PEQUENAS	$1.000 < P < 30.000$	$H_d < 25$	$25 < H_d < 130$	$H_d > 130$

Fonte: Eletrobrás (2017)

4.2. PCHs A FIO D'ÁGUA OU ÁGUA SOB PRESSÃO

As PCHs a fio d'água são aquelas que não dispõem de reservatório de água, ou seja, não mantêm um estoque de água em uma barragem. Esse fato promove uma menor mudança no ecossistema local, diminuindo a área alagada da barragem.

Figura 3 – Ilustração de uma PCH a fio d'água.



Fonte: Usina Baixo Iguaçu (2014)

Outra possibilidade que propicia pouca mudança no ecossistema local é a geração de energia elétrica com água sob pressão. Essa maneira de geração consiste em usar a energia cinética que a água tem devido a uma diferença de altura.

Essa água é colocada em tubulações para que passem em um gerador, como observa-se na figura abaixo.

Figura 4 – Ilustração da geração de energia elétrica com água sob pressão.



Fonte: Hidro (2020)

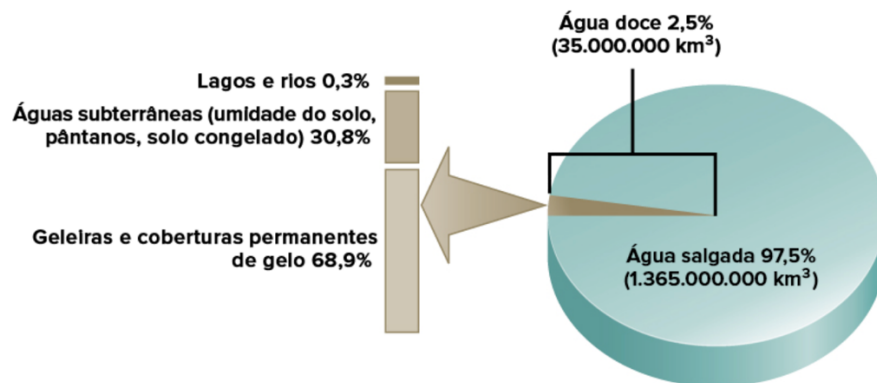
5. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

De acordo com Léo Heller e Valter Lúcio de Pádua (2016, p.29), o papel essencial da água para a sobrevivência humana e para o desenvolvimento das suas sociedades é de conhecimento geral. Ao mesmo tempo, sabe-se que a sua disponibilidade na natureza tem sido insuficiente para atender à demanda requerida em muitas regiões do planeta, fenômeno que vem se agravando.

Conforme a Organização Mundial da Saúde (OMS), saneamento básico é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos deletérios sobre seu bem-estar físico, mental ou social.

Sabe-se que os recursos hídricos vêm da natureza; por conta disso, sua quantidade se mantinha constante. Porém, com as mudanças que estão ocorrendo no meio ambiente, os recursos também estão sofrendo mudanças.

Figura 5 – Distribuição de água na Terra.



Fonte: Pena (2020)

Já, nas últimas décadas, observa-se que, devido ao aumento da população, industrialização e aumento do volume de perdas e desperdícios, a demanda por água é crescente no Brasil.

5.1. VAZÃO

A definição de vazão é dada, de acordo com o dicionário Michaelis, “3. *Volume de um fluido que escoar, por unidade de tempo, através de determinada seção transversal de um encanamento ou canal, medido em metro cúbico por segundo, no sistema internacional*”.

Seria mais fácil para a distribuição de água se os reservatórios fossem mais altos que o destino final, proporcionando o escoamento inteiramente por ação da gravidade. Porém, nem sempre o reservatório está no local mais alto. Por conta disso, é necessário utilizar máquinas que fazem o bombeamento desse líquido até o destino desejado; além disso, às vezes é preciso instalar bombas na rede de distribuição, conhecidas como *boosters*.

Alguns requisitos básicos devem ser lembrados na hora de escolher uma bomba para ajudar no escoamento de água. Esses requisitos são:

- A bomba não deve ter vazão superior a capacidade máxima do poço;
- A bomba não pode ter uma vazão de recalque que não seja compatível com a capacidade das estruturas;
- A bomba deve atender os quesitos da máxima demanda diária.

Nota-se que, no lugar de empregar a palavra máquinas, usou-se bomba. Isso porque, a bomba é uma máquina elétrica específicas para as operações que estão sendo estudadas.

5.2. POTÊNCIA E RENDIMENTO DAS BOMBAS

Como visto no capítulo 3, cada máquina, dependendo de sua construção, tem uma potência. Para determinar a bomba ideal primeiro deve-se saber a potência hidráulica, ou seja, qual o trabalho realizado sobre o líquido ao passar pela bomba em um segundo.

$$Ph = \frac{\gamma \times Q \times Hm}{75} \quad [cv] \quad (12)$$

Sendo:

- Ph : potência hidráulica;
- γ : peso específico da água, em $\frac{kgf}{m^3}$;
- Q : vazão de recalque, em $\frac{m^3}{s}$;
- Hm : altura manométrica, em m.

Porém, sabe-se que em todo o sistema existem perdas. No sistema de bombeamento para distribuição de líquido, as perdas podem ser devido a superfície da bomba, recirculação do líquido no interior da bomba, vazamento nas juntas, energia dissipada com atrito entre as partes da bomba e entre o fluido e a bomba.

Então, para calcular a potência requerida adiciona-se, na equação 12, o rendimento da bomba (ηb).

$$Pb = \frac{\gamma \times Q \times Hm}{75 \times \eta b} \quad [cv] \quad (13)$$

5.3. REDES DE DISTRIBUIÇÃO

De acordo com Léo Heller e Valter Lúcio de Pádua (2016, p.615), “*rede de distribuição é a unidade do sistema de abastecimento de água constituída por tubulações e órgãos acessórios instalados em logradouros públicos, e que tem por finalidade fornecer, em regime contínuo (24h por dia), água potável em quantidade, qualidade e pressão adequadas a múltiplos consumidores (residenciais, comerciais, industriais e serviços) localizados em uma cidade, vila ou outro tipo de aglomeração urbana*”. A denominação rede de distribuição provém da forma como as suas tubulações são instaladas, formando rede de condutos interligados entre si e possibilitando diversas derivações para a distribuição de água potável aos imóveis abastecidos.

As vazões, junto com a potência, influenciam no cálculo das redes de distribuição; isso porque as redes devem estar sujeitas a uma pressão mínima e uma pressão máxima.

A pressão mínima é calculada para garantir que o líquido vença os desníveis topográficos e as perdas de distribuição. Já a pressão máxima é calculada para garantir a integridade dos equipamentos utilizados na distribuição.

Porém, as pressões mais usadas no cálculo das redes de distribuição são as pressões dinâmicas mínimas e estática máxima. De acordo com a NBR 12.218/1994, pressão dinâmica simples é a “pressão referida ao nível do eixo da via pública, em determinado ponto da rede, sob condição de consumo não nulo”. (ABNT, 1994, p. 2). Já a pressão estática máxima é a “pressão referida ao nível do eixo da via pública, em determinado ponto da rede, sob condição de consumo nulo” (ABNT, 1994, p. 2).

5.4. DIÂMETRO DAS TUBULAÇÕES E VELOCIDADE DA ÁGUA

Para cada rede, o cálculo de diâmetro deve ser feito, isso porque o diâmetro interfere na vazão que, conseqüentemente, interferirá na potência.

De acordo com a NBR 12.218/1994, o diâmetro mínimo dos condutores é de 50 mm e, a velocidade mínima na tubulação deve ser de 0,6 m/s, já a máxima, de 3,5 m/s. A velocidade mínima é estabelecida para minimizar a corrosão interna e evitar a deposição de materiais em suspensão que podem existir; já a velocidade máxima é estabelecida para evitar efeitos que podem ser nocivos às redes de distribuição de água. (ABNT, 1994).

Contudo, muitos autores preferem estabelecer valores variáveis para a velocidade máxima. De acordo com o livro Manual da hidráulica, dos engenheiros José Martiniano de Azevedo Netto e Miguel Fernández y Fernández, os valores de velocidade máxima estabelecidos variam de 0.70 m/s para diâmetros de 50 mm a 2,20 m/s para tubulações com diâmetro de 1.000 mm. (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).

5.5. VÁLVULA DE REDUÇÃO DE PRESSÃO (VRP) E LOCALIZAÇÃO IDEAL DAS TURBINAS

Como visto anteriormente, nos sistemas de abastecimento de água é preciso respeitar, para cada tubulação, a vazão e velocidade do líquido. Sabe-se também que, ao adicionar turbinas com o intuito de gerar energia elétrica, as variáveis mencionadas anteriormente são alteradas.

Por conta disso, adiciona-se, nos pontos mais críticos, válvulas que conseguem controlar a pressão, também conhecidas como válvula de redução de pressão (VRP).

Figura 6 – Exemplo de VRP.



Fonte: Jefferson (2020)

Essas válvulas atuam de acordo com a pressão do momento; ou seja, ela “abre” ou “fecha” de acordo com a demanda da população.

Por conta disso, basear-se apenas nas pressões máxima e mínima encontradas para cada diâmetro de tubulação não traria um resultado satisfatório para o projeto de geração de energia.

Através de ensaios, é possível obter a equação abaixo, desenvolvida por Prescott e Ulanicki (2008), responsável por calcular a vazão na VRP.

$$Qv = Cv(Xm) \times \sqrt{Hp1 - Hp2} \quad (14)$$

Sendo:

Qv : vazão na VRP [m^3/s];

Cv : coeficiente de perda de carga localizada na VRP obtida em função de Xm ;

Xm : posição da válvula;

$Hp1$: pressão de montante no instante $t + \Delta t$;

$Hp2$: pressão de jusante no instante $t + \Delta t$.

Com isso, é possível obter a pressão na saída (Ps) no instante desejado ($t + \Delta t$).

$$Ps = Pe - \frac{Qv^2}{Cv^2} \quad (15)$$

Sendo:

Pe : Pressão na entrada.

Para ter um funcionamento ideal é necessário fazer uma análise dos melhores pontos em que as bombas podem ser instaladas. Então é necessário analisar a curva de demanda em separadas áreas das cidades; além da pressão, vazão e tempo.

As redes com maior vazão e, ao mesmo tempo, maior demanda, são as ideais para a instalação das turbinas. Porém, pode-se analisar os pontos onde estão instaladas as VRP pois, lá encontra-se uma alta pressão.

Além dos pontos de maior pressão, é necessário analisar o entorno geográfico. Isso porque, com a instalação da turbina, torna-se necessário a construção de cabines para fazer a proteção do sistema e, ao mesmo tempo, conectar essa energia à rede elétrica.

Portanto, para selecionar o ponto ideal das turbinas é necessário simular a qualidade do abastecimento de água antes e depois da implementação da turbina.

A partir daí, de acordo com Lima (2017), é possível obter uma função (FO) que se aproxima do ponto ideal para a instalação das turbinas.

$$FO = \frac{1}{\sum_{i=1}^{24} [te \times \frac{\gamma \cdot Qi \cdot Hi \cdot \eta_i \cdot \Delta t}{1000} \times \sum_{j=1}^{NN} ta \times K \times (\sqrt{Pj1 - Pj2}) \times 3600]} + Penp \quad (16)$$

Sendo:

te : tarifa da energia $\left[\frac{\$}{\text{kWh}} \right]$;

γ : peso específico da água $\left[\frac{\text{N}}{\text{m}^3} \right]$;

Qi : vazão que passa pela turbina no instante i $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$;

Hi : variação de carga inserida pela turbina no instante i [m];

η_i : rendimento da turbina no instante i ;

Δt : variação do tempo [h];

NN : número de nós na rede;

ta : tarifa da água $\left[\frac{\$}{\text{m}^3} \right]$;

K : coeficiente de vazamento $\left[\frac{\text{L}}{\text{s} \times \sqrt{\text{m}}} \right]$;

$Pj1$: pressão no nó j , no instante i , antes da instalação da turbina;

$Pj2$: pressão no nó j , no instante i , depois da instalação da turbina;

$Penp$: função de penalização da pressão [\$].

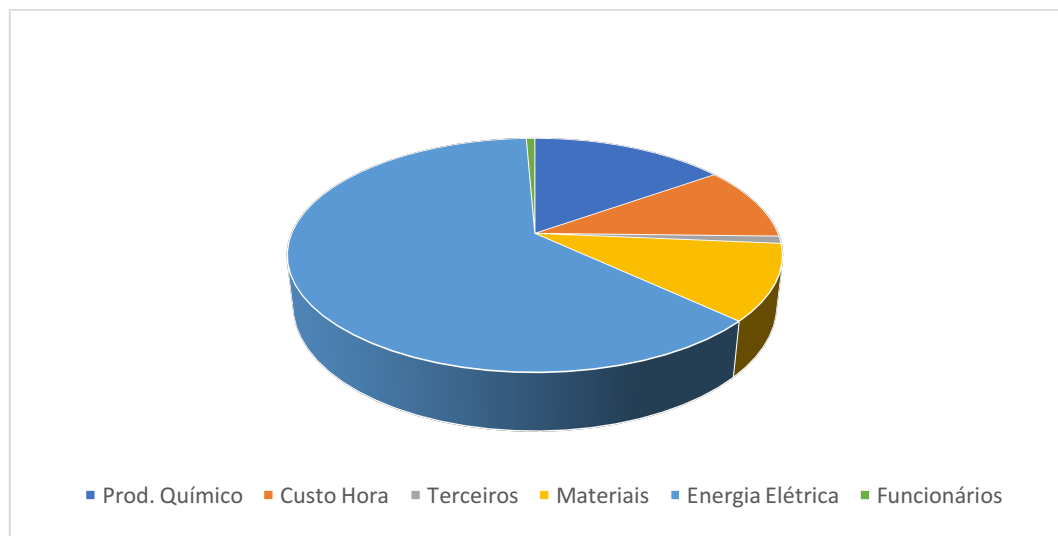
6. GASTOS COM ENERGIA ELÉTRICA NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Assim como todas as indústrias, as companhias de água e esgoto não funcionam de maneira diferente, ou seja, todas elas são muito dependentes da energia elétrica, tanto para seus escritórios quanto para suas máquinas.

Por conta disso, as empresas têm um custo muito elevado com a energia elétrica; esse valor, na maioria das companhias, representa o maior gasto na instalação de abastecimento de água.

De acordo com a agência reguladora de água e esgoto ARSAE – MG, sistema produtor do Rio das Velhas abastece em média 2,5 milhões de pessoas na região metropolitana de Belo Horizonte, principalmente os municípios de Belo Horizonte, Santa Luzia, Raposos, Nova Lima e Sabará. Esse sistema produtor conta com captação superficial no Rio das Velhas.

Figura 7 – Despesas do sistema produtor Rio das Velhas – MG.



Fonte: Heller e Pádua (2016)

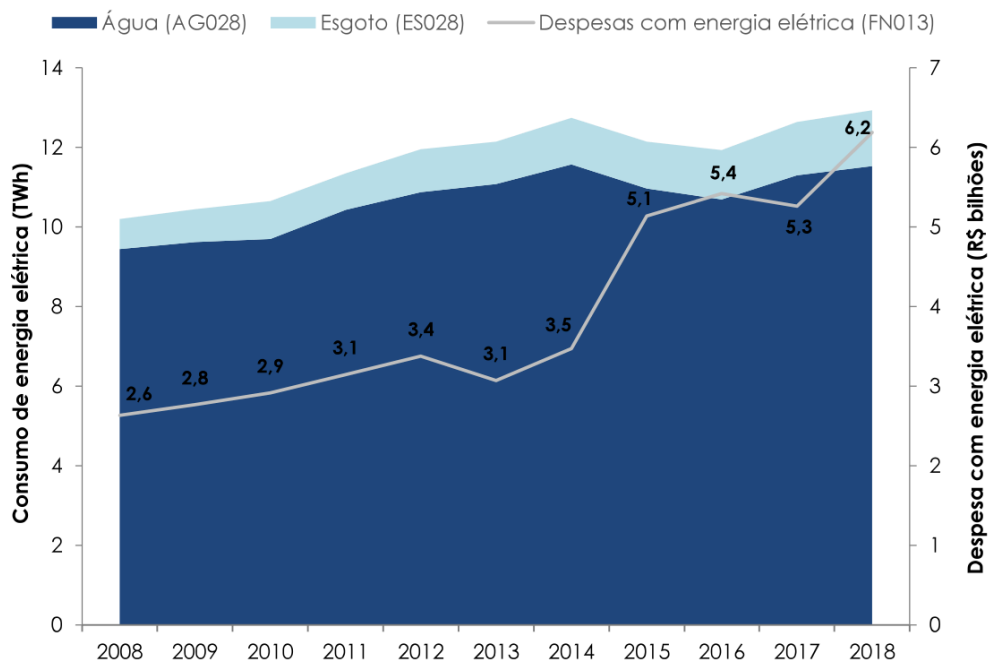
Já de acordo com as informações trimestrais da Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), os gastos com energia elétrica cresceram 10,1 % entre o terceiro trimestre de 2019 e o terceiro trimestre de 2020. Ainda de acordo com o documento, as despesas com energia elétrica totalizaram R\$ 311,0 milhões no terceiro trimestre de 2020, um acréscimo de R\$ 28,5 milhões, se comparadas ao valor de R\$ 283,5 milhões gastos no terceiro trimestre de 2019.

Conforme diz o documento mencionado no parágrafo anterior, um dos principais fatores que influencia a variação do gasto com energia é o aumento médio de 44 % nos preços do ACL (Ambiente de Contratação Livre), com acréscimo de 16,8 % no consumo.

Agora, conforme as informações trimestrais referentes ao ano de 2020 da Águas Guararobas – MS, no segundo trimestre de 2020 os custos com energia elétrica totalizaram R\$ 10,4 milhões, um aumento de 5,5 %. Isso deve-se, principalmente, a mudança de bandeira tarifária. Também se observa que, em junho de 2020, os custos de energia elétrica somaram R\$ 20,8 milhões, um aumento de 13,6 % se comparado com o mesmo período do ano anterior.

Além disso, os gastos com energia elétrica vêm aumentando mais que o consumo de água. Esse fato deve-se ao aumento do valor da energia elétrica e ao sistema tarifário. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 2015, por exemplo, as despesas com energia tiveram um aumento de quase 50 % em relação a 2014.

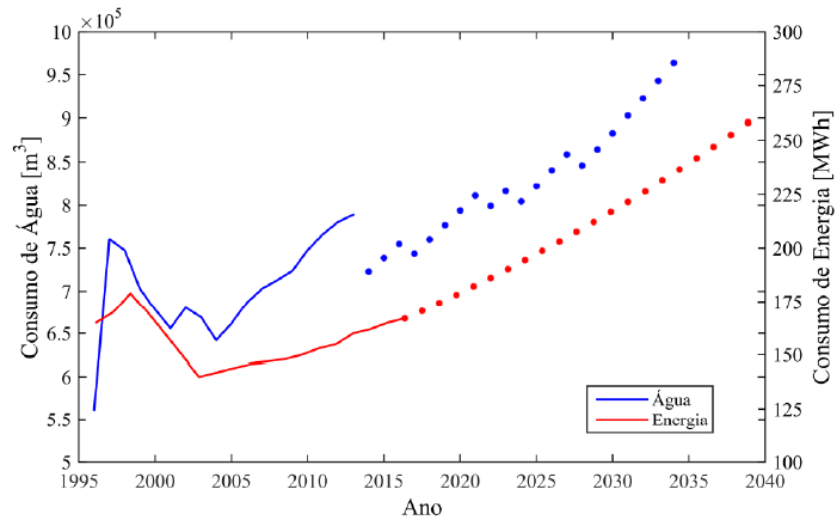
Figura 8 – Evolução do consumo de energia elétrica.



Fonte: SNIS (2019)

Nota-se que, conforme o gráfico acima, o consumo de água e o esgoto aumentam, ou diminuem, de maneira similar. Já a despesa com energia elétrica não seguiu o mesmo crescimento e aumento, como dito anteriormente, quase 50 %.

Figura 9 – Correlação entre o consumo de água e energia e projeção de crescimento.



Fonte: Meirelles et al (2017 *apud* LIMA, 2017).

Observando a figura acima nota-se o prolongamento dos gráficos; para isso utilizou-se o coeficiente de Pearson de 0.454, o crescimento de 2.2 % esperado pelo BEM (Balanço Energético Nacional), a probabilidade de épocas de seca e a variação da tarifa de energia.

7. TECNOLOGIAS QUE AUXILIAM A DIMINUIR O GASTO COM ENERGIA ELÉTRICA EM EMPRESAS DE ABASTECIMENTO

7.1. ALTERNATIVAS PARA GERAÇÃO PRÓPRIA DE ENERGIA

7.1.1. Modelo LucidPipe

Mostraremos agora um sistema de geração de energia elétrica em tubulações de água. Esse sistema, conhecido como LucidPipe, idealizado pela startup norte-americana Lucid Energy, foi instalado em Portland, no estado de Oregon, nos Estados Unidos.

De acordo com Gregg Semler, presidente e CEO da Lucid Energy, em entrevista dada em 2015, a vantagem do sistema de tubos Lucid é que produz eletricidade o tempo todo, 24 horas por dia e sem nenhum impacto ambiental. E, sabe-se que é muito incomum encontrar, no mundo, fontes de energia que possam produzir eletricidade sem nenhum impacto ambiental.

Na mesma entrevista, Gregg também compara o custo do sistema de energia da tubulação Lucid com outras fontes de energias renováveis. Ele diz que, para gerar a mesma quantidade de energia que a Lucid está gerando, as outras formas de geração custariam três a quatro vezes mais.

O FAQ da Lucid Energy informou que, “quando estiver totalmente operacional, espera-se que a instalação gere US \$ 2.000.000,00 em capacidade de energia renovável ao longo de vinte anos, com base em uma média de 1.100 MW de energia por ano, eletricidade suficiente para abastecer 150 residências”. (LUCID ENERGY, 2016b, tradução livre).

De acordo com artigo de 2016 encontrado no site da Lucid Energy, a turbina hidrodinâmica foi cuidadosamente projetada e testada para maximizar a eficiência e a geração de energia sem interromper o fluxo de água. À medida que as velocidades aumentam, a produção de energia aumenta. Devido ao design baseado em elevação, o sistema gera energia em uma ampla gama de condições de fluxo, volumes e velocidades.

Figura 10 – Ilustração da turbina da LucidPipe instalada.



Fonte: RTC (2020)

Figura 11 - Foto interna da turbina da LucidPipe.



Fonte: Engenharia Livre (2020)

Como visto no Capítulo 4 e no início do Capítulo 5, em alguns pontos das tubulações é necessário fazer um controle mais preciso da pressão, consequentemente, interferindo na vazão e potência. Para isso, usa-se a VRP. Porém, esse controle também pode ser feito utilizando as turbinas com rotação variável.

De acordo com artigo publicado em 2016 no serviço de bibliotecas da Universidade Purdue, na maioria das tubulações de transmissão de água alimentadas por gravidade é desejável reduzir o excesso de pressão para evitar tensão indevida e diminuir a incidência de vazamentos. Normalmente esse controle é feito com válvulas redutoras de pressão (VRP); em vez disso, o sistema LucidPipe™ converte o excesso de pressão em eletricidade. Ou seja, remove-se a pressão indesejada e, ao mesmo tempo, gera energia.

Ainda, de acordo com o artigo mencionado no parágrafo anterior, a LucidPipe™ utiliza uma turbina esférica de eixo vertical único que se encaixa dentro de tubos de água de grande diâmetro (24”- 60”). A água flui através da turbina hidrodinâmica, gerando energia conforme a turbina gira.

Observa-se, na tabela abaixo que, para cada diâmetro da tubulação há uma potência que pode ser gerada pela turbina. Lembra-se que, como dito anteriormente, as tubulações vão de 24” a 60”, isso corresponde a 600 mm e 1500 mm, respectivamente.

Tabela 2 – Diâmetro da tubulação e potência gerada.

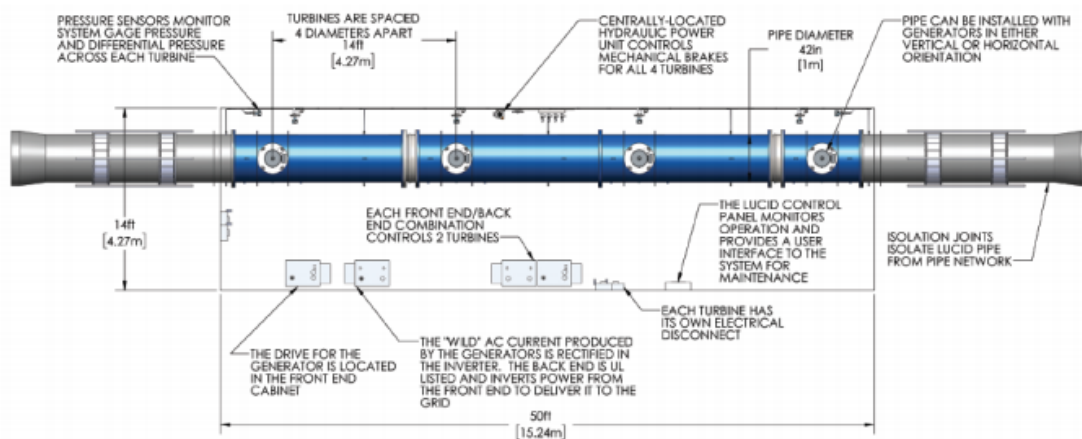
Diâmetro da Tubulação (mm)	Potência Gerada por Turbina (kW)
600	14
1000	50
1500	100

Fonte: LUCID Energy (2016)

Após uma análise feita na tubulação, encontra-se os locais ideais onde serão colocadas as turbinas. Esses locais foram explicados no item 5.2. Visto isso, de acordo com a Lucid Energy, é possível implementar mais turbinas em um espaçamento menor; isso geraria uma economia de dinheiro e um controle mais fino da pressão. Por outro lado, esse tipo de instalação deve ser realizado em tubos onde a água está descendo por conta da força gravitacional, e não onde a água está sendo bombeada.

Ainda de acordo com artigo publicado no serviço de bibliotecas da Universidade Purdue e, observando a figura 12, tem-se um sistema típico de quatro turbinas instalado em linha com uma tubulação de transmissão de água. O sistema de controle, eletrônica de potência e sistemas de freio estão todos localizados na tubulação ou próximos a ela; minimizando as perdas e os custos de instalação.

Figura 12 – Layout típico para um sistema de energia com 4 turbinas, 200 kW, em um tubo com diâmetro de 42”.



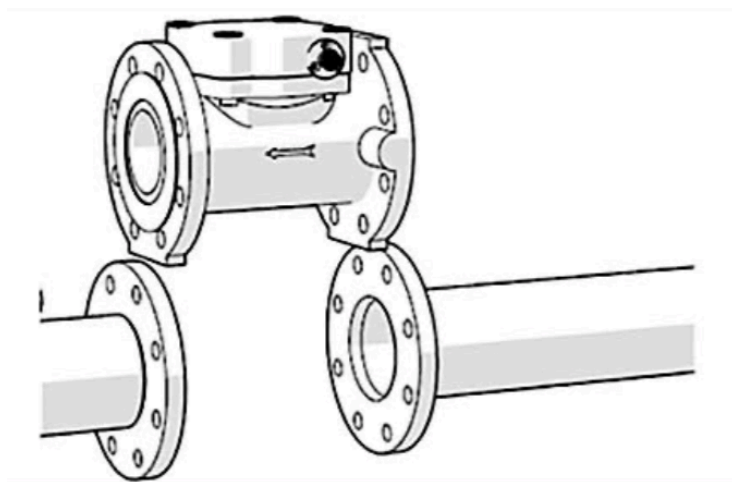
Fonte: Team (2016)

7.1.2. Modelo Sabesp

Como visto no capítulo anterior, é possível gerar energia a partir dos canos de água. A companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) enfrenta desafios importantes para gerir um sistema de mais de 73 mil quilômetros de tubulações, como é o caso da região metropolitana de São Paulo.

Utilizando o mesmo conceito usado em hidroelétricas para um projeto piloto na Vila Prudente e na Cidade Universitária, a Sabesp empregou uma tecnologia israelense da ATME Eco Solutions para tirar proveito do fluxo das águas contido na tubulação de água, girando uma microturbina que produz eletricidade de forma não poluente. Essa energia pode carregar as baterias responsáveis por abastecer os equipamentos críticos do sistema, ou seja, esses equipamentos garantem a gestão eficiente do abastecimento. Os sensores que fazem parte do sistema medem a pressão, vazão e qualidade da água.

Figura 13 – Modelo ilustrativo mostrando a maneira de instalação da microturbina da ATME.



Fonte: Tem Sustentável (2017)

Figura 14 – Microturbina da ATME.



Fonte: ATME Eco (2020)

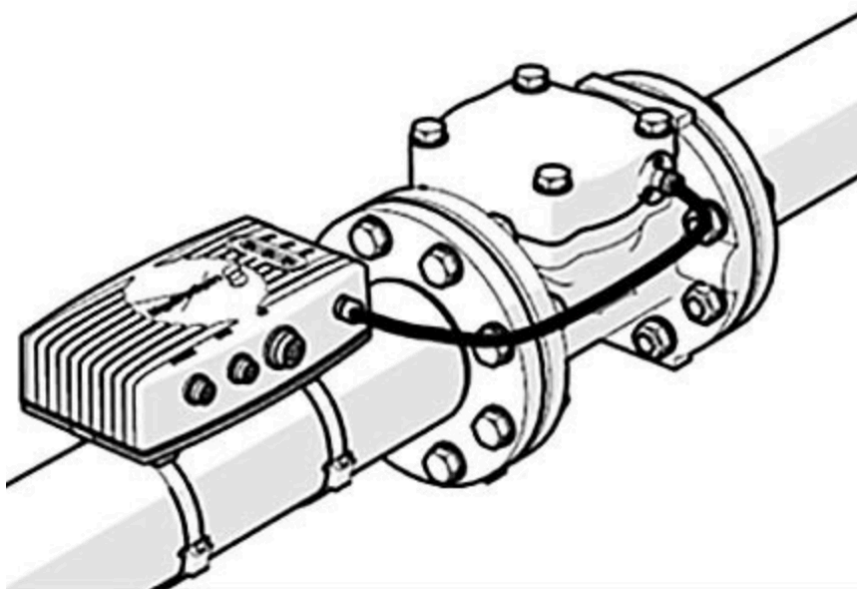
Após a implementação do projeto piloto, mencionado anteriormente, e a análise de viabilidade econômica, que será realizada pela Sabesp, a empresa tem o plano de instalar microturbinas, também conhecidas como “mini-hidroelétricas” em 200 pontos do sistema de saneamento da cidade. A energia será transmitida para a Eletropaulo, em troca de abatimento de 3,2 % dos gastos da Sabesp, certa de 16 milhões de reais.

A ideia da implementação dos pontos de geração e o acordo com a Eletropaulo parte do superintendente Aurélio Fiorindo, responsável pelo projeto.

De acordo com artigo publicado no site da Sabesp, com a redução da pressão, é possível diminuir a quantidade de vazamentos, reduzindo assim as perdas de água. Apenas na região metropolitana de São Paulo, a Sabesp conta com 1.463 VRPs instaladas na rede. Isso apresentaria uma economia de 10 mil litros de água por segundo, o que equivale a 16,3 % do total produzido.

As válvulas são monitoradas por um sistema de telemétrica, ou seja, coletam e enviam informações sobre as condições do abastecimento. Como dito anteriormente, esse sistema é alimentado por baterias que duram de 2 a 3 anos, transmitindo dados em média a cada 6 horas. Se a companhia precisar de dados com uma frequência maior, a energia das baterias também será consumida mais rapidamente. Com a instalação das turbinas, a transmissão de dados pode ser realizada de 15 em 15 minutos, sem a necessidade de troca de bateria, garantindo um controle mais eficiente.

Figura 15 – Modelo ilustrativo mostrando a conexão da microturbina com a bateria.



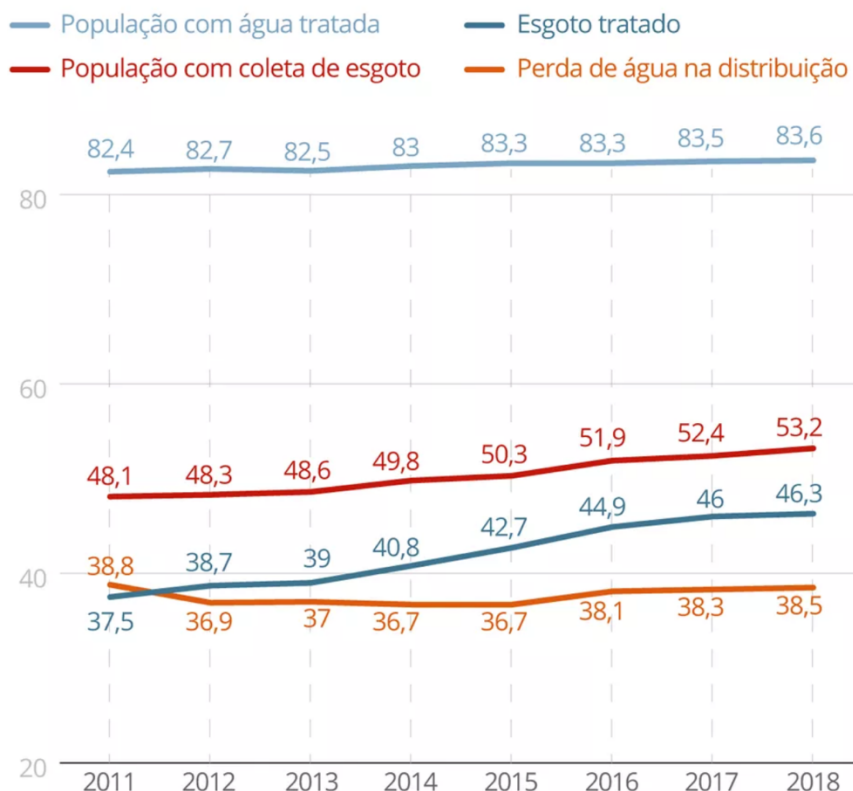
Fonte: Tem Sustentável (2017)

7.1.3. Cogeração a Partir do Biogás

Cogeração é o processo de geração simultânea de eletricidade e calor através do uso eficiente de quantidades de energia de uma mesma fonte. A cogeração é conhecida, no setor energético, por buscar a eficiência em sistemas de distribuição de energia elétrica; ou seja, aproveitar a energia que antes era dispersada para o meio ambiente em outros processos.

Quando se trata das companhias de abastecimento de água, o principal insumo que pode ser usado na cogeração é o esgoto e o lixo urbano. Porém, de acordo com o Sistema Nacional de informações sobre Saneamento (SINS), divulgado em 2020 e referente a 2018, quase 100 milhões de pessoas, ou 47 % dos brasileiros, utilizam medidas alternativas para lidar com os dejetos.

Figura 16 – Evolução dos serviços de água e esgoto no país (em %).



Fonte: Instituto Trata Brasil.

Esse fato levou a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) e a Associação dos Engenheiros da Sabesp (AESABESP) realizarem um estudo conjunto, intitulado “Viabilidade de Estações de Tratamento de Esgoto com Cogeração com Biogás em

Diferentes Escalas de Suprimento de Energia – análise econômica”, sobre a cogeração de energia com o tratamento de esgoto. Essa análise englobou aspectos técnicos e econômicos com propósito de gerar energia elétrica a fim de tratar o esgoto sem fonte externa de energia.

De acordo com o estudo o projeto é viável e até rentável se instalado em municípios de 50.000 até 500.000 habitantes. Considerando um projeto no qual a companhia permaneça com o contrato de saneamento básico por 15 anos, o investimento retorna em 4 a 6 anos.

Desde 2016 a cidade de Feira de Santana, na Bahia, possui uma usina de energia elétrica a base de biogás. O projeto foi aprovado junto a Aneel e já está em funcionamento. O insumo para a usina é gerado pela estação de tratamento de esgoto Jacuípe II, no próprio município.

Figura 17 – Usina de cogeração de energia elétrica localizada em Feira de Santana.



Fonte: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb).

O investimento foi na ordem de R\$ 4,6 milhões e foi executado pela Empresa Baiana de Água e Saneamento (Embasa).

Toda a energia produzida a partir do biogás será utilizada para suprir em 80 % o consumo mensal de eletricidade do próprio sistema de esgoto. A conversão reduz em 95 % a emissão de gases poluentes e diminui o gasto mensal da Embasa, em manutenção do sistema, de R\$ 26.000 para R\$ 5.000, gerando uma economia anual de R\$ 252.000.

7.2. GESTÃO DE PERDAS E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Os sistemas de abastecimento de água têm demandado consumo crescente de energia, ampliando os custos de operação. No que refere à eficiência energética, às atividades de captação, tratamento e distribuição de água, bem como às inerentes ao esgoto, têm a energia elétrica como principal insumo.

Dados da Alliance to Save Energy (ASE) revelam que entre 2 e 3 % do consumo de energia mundial é usado no bombeamento e tratamento de água. No Brasil, de acordo com dados de 2009 do SINS, o sistema de abastecimento consome, aproximadamente, 7,8 bilhões de kWh/ano, equivalendo a R\$2 bilhões.

A despesa gerada pela ineficiência energética é estimada em 25 a 30 % (GOMES, *et al.*, 2009), e esse custo é repassado para o consumidor.

Para com Marques, Haddad e Guardia (2007), a gestão energética deve abordar as seguintes medidas:

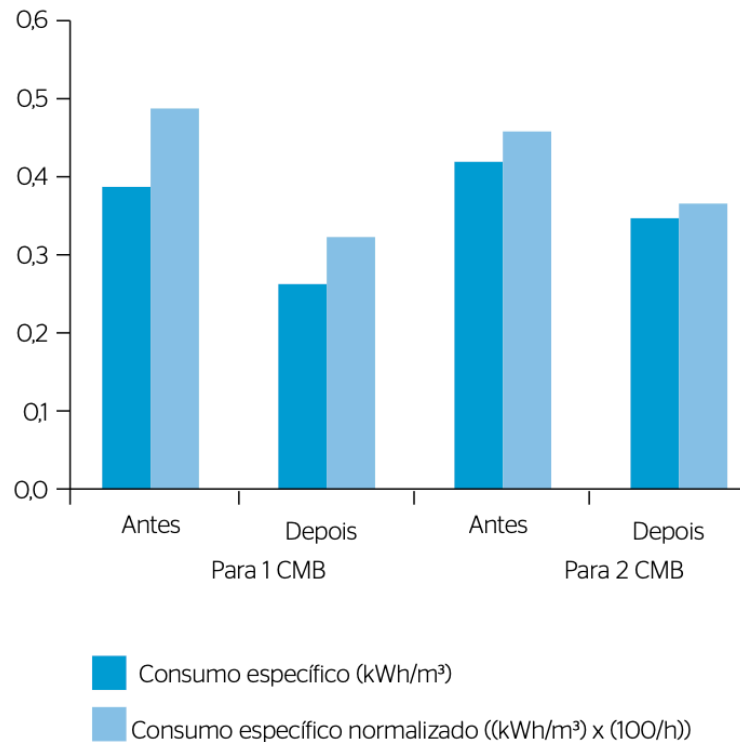
- Conhecimento das informações concernentes a fluxos de energia, das ações que influenciam esses fluxos e, ainda, dos processos e atividades que usam a energia e a relacionam com o produto ou serviço;
- Acompanhamento dos índices de controle, como consumo de energia, custos específicos, fator de utilização, etc;
- Atuação nos índices que visam reduzir o consumo energético por meio da implementação de ações que buscam a utilização racional da energia.

De acordo com a Rede de Capacitação e Extensão Tecnológica de Saneamento (ReCESA), as principais questões que devem ser analisadas visando à redução das despesas com energia elétrica são:

- Tarificação imprópria e falhas administrativas;
- Falhas de ajustes de equipamentos;
- Superdimensionamento da potência dos equipamentos;
- Falta ou falha de controle operacional.

Analisando os dados da empresa Embasa, é possível construir o gráfico abaixo que mostra os dois indicadores analisados, apresentando redução depois da implementação das medidas para eficiência energética mencionadas anteriormente. Observa-se que CMB significa Conjunto Motor Bomba.

Figura 18 – Comparação dos consumos específicos e específicos normalizados antes e depois da análise e aplicação de medidas de eficiência energética.



Fonte: Embasa.

De acordo com o artigo de Renavan Andrade Sobrinho e Patrícia Campos Borja intitulado “Gestão das Perdas de Água e Energia em Sistemas de Abastecimento de Água da Embasa: um estudo dos fatores intervenientes na RMS”, identificou-se um conjunto de variáveis (tabela abaixo) que se mostram importantes para o desenvolvimento de ações para a gestão integrada de água e eficiência energética.

Tabela 3- Alguns fatores que interferem na gestão de perdas e eficiência energética.

Categorias Analíticas	Variáveis
Fatores Técnicos	Implantar sistema de medição hidráulica e elétrica em cada unidade operacional.
	Incentivar o uso de medição individualizada.
	Implementar VRPs e <i>boosters</i> .
	Implementar sistema de informações de água e eficiência energética.

Fatores Técnicos	Implementar conversores de frequência.
	Implementar banco de capacitores.
	Estabelecer o controle automático do sistema.
	Substituir equipamentos obsoletos.
Fatores Operacionais	Adequar hidráulica e eletricamente os sistemas.

8. CONCLUSÃO

Observou-se que grande parte do gasto das empresas de abastecimento de água é com energia elétrica. E, boa parte desse gasto poderia ser evitado aplicando técnicas de eficiência energética, como implementar inversores de frequência no sistema, e gestão de perdas, como substituir equipamentos obsoletos.

Com a implementação desses processos pela empresa de abastecimento Embasa, viu-se que o consumo de energia no Conjunto Motor Bomba foi reduzido significativamente.

Viu-se também que é possível usar da energia cinética e mecânica que já existe em pontos específicos do sistema de abastecimento para gerar energia elétrica e ajudar a diminuir o valor gasto com a mesma. Esse processo de geração de energia pode ser observado na cidade de Portland, pela startup Lucid Energy, e na cidade de São Paulo, pela empresa de abastecimento de água Sabesp.

Além da geração de energia elétrica em tubos de água das cidades viu-se que é possível gerar energia elétrica a partir do esgoto, transformando-o em biogás, como faz a empresa Embasa, na cidade de Feira de Santana.

Com isso, observa-se que é possível reduzir o gasto com energia elétrica com eficiência energética e gestão de perdas; além disso, também é possível produzir sua própria energia, de diversas formas, ajudando a reduzir ainda mais o gasto das empresas de abastecimento de água com energia elétrica.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.218**: projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Guia do empreendedor de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Brasília: ANEEL, 2003.

ASSIS, Andre Koch Torres. **Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade**. Canadá: Apeiron Montreal, 2018. v. 2. Disponível em: <https://www.ifi.unicamp.br/~assis/Eletricidade-Vol-2.pdf> Acesso em: 17 nov. 2020

ASSIS, Andre Koch Torres. **Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade**. Canadá: Apeiron Montreal, 2010. v. 1. Disponível em: <https://www.ifi.unicamp.br/~assis/Eletricidade.pdf> Acesso em: 17 nov. 2020.

AZEVEDO NETTO, José Martiniano de; FERNÁNDEZ; Miguel Fernández y. **Manual de Hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

BODANIS, David. **Universo elétrico**: a impressionante História da Eletricidade. Rio de Janeiro: Record, 2008.

BRASIL. Resolução normativa da ANEEL nº 673, de 4 de agosto de 2015. Estabelece os requisitos e procedimentos para a obtenção de outorga de autorização para exploração de aproveitamento de potencial hidráulico com características de Pequena Central Hidrelétrica - PCH. **Diário Oficial**: República Federativa do Brasil: seção 1, Brasília DF, ano 152, n. 166, p. 118, 31 ago. 2015.

BRASIL. Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998. Altera dispositivos das Leis no 3.890-A, de 25 de abril de 1961, no 8.666, de 21 de junho de 1993, no 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, no 9.074, de 7 de julho de 1995, no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e autoriza o Poder Executivo a promover a reestruturação da Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRÁS e de suas subsidiárias e dá outras providências. **Diário Oficial**: República Federativa do Brasil: seção 1, Brasília DF, ano 135, n. 100, p. 1, 28 maio 1998.

CARNEIRO; Daniel; COLI, Adriana; DIAS, Fábio. **PCHs: pequenas centrais hidráulicas: aspectos jurídicos, técnicos e comerciais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2017.

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. Tradução: Anatólio Laschuk. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

ELETROBRÁS – Centrais Elétricas do Brasil. Manuais e Diretrizes para Estudos e Projetos. **Eletrobras**, [S. l.], 2017. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Manuais-e-Diretrizes-para-Estudos-e-Projetos.aspx> Acesso em: 18 nov. 2020.

ENGENHARIA LIVRE. Imagem. **Engenharia Livre**, [S. l.], [2020?]. Disponível em: <http://engenharialivre.com/lucidpipes-energia-eletrica-em-tubulacoes/> Acesso em: 18 nov. 2020.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2016. 2 v.

HIDRO – Energy Solutions. Como funciona. **Hidro**, Curitiba, [2020?]. Disponível em: <https://hidreo.com.br/como-funciona/> Acesso em: 18 nov. 2020.

JEFFERSON – Engenharia de Processos Industriais. Válvula redutora de pressão para água. **Jefferson**, Ribeirão Preto, 2020. Disponível em: <https://www.jefferson.ind.br/conteudo/valvula-redutora-de-pressao-para-agua-wzlhck.html> Acesso em: 18 nov. 2020.

LIMA, Gustavo Meirelles. **Geração de energia e controle de pressão em redes de abastecimento de água utilizando bombas funcionando como turbina**. 2017. 138 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2017.

LUCID ENERGY, INC. **LucidEnergy™**: Harvesting renewable, low-cost electricity from gravity-fed water pipes. [S.l.], 2016a. Disponível em: <http://lucidenergy.com/> Acesso em: 18 nov. 2020.

LUCID ENERGY, INC. **LucidPipe Power System Technical FAQ**. [S.l.], 2016b. Disponível em: <http://lucidenergy.com/> Acesso em: 18 nov. 2020.

LUCID ENERGY, INC. **How drinking water pipes can also deliver electric power**. [S.l.], 2015. Disponível em: <http://lucidenergy.com/> Acesso em: 18 nov. 2020.

MÁQUINAS ELÉTRICAS I. Aula 22 – Energização do motor de indução com rotor bobinado. **Máquinas Elétricas I**, [S. l.], 2 out. 2019. Disponível em: <http://maquinaseletricasi.blogspot.com/2013/04/aula-32-motor-de-inducao-trifasico-com.html> Acesso em: 18 nov. 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (Brasil); EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2020**. Relatório final. Brasília: Ministério de Minas e Energia; EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020> Acesso em: 18 nov. 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (Brasil). **Resenha Energética Brasileira**: oferta e demanda de energia, instalações energéticas, energia no mundo. Ano base 2019. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2020. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/36208/948169/Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+-+edi%C3%A7%C3%A3o+2020/ab9143cc-b702-3700-d83a-65e76dc87a9e> Acesso em: 18 nov. 2011.

MUSEU WEG – Museu de Ciência e Tecnologia. A história do motor elétrico que você precisa conhecer. **Blog com Ciência**, [S. l.], 2019. Disponível em: <https://museuweg.net/blog/a-historia-do-motor-eletrico/> Acesso em: 18 nov. 2020.

Disponível em: http://www.anpad.org.br/diversos/down_zips/33/ADI-D2790.pdf Acesso em: 17 nov. 2020.

PBS NewsHour. How drinking water pipes can also deliver electric power. **PBS**, New York, NY, 14 abr. 2015. Disponível em: <https://www.pbs.org/newshour/show/water-power> Acesso em: 18 nov. 2020.

PENA, Rodolfo F. Alves. A distribuição de água no mundo. **Mundo Educação**, [S. l.], 2020. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/a-distribuicao-agua-no-mundo.htm> Acesso em: 18 nov. 2020.

PRESCOTT, Simon L.; ULANICKI, Bogumil. Improved control of pressure reducing valves in water distribution networks. **Journal of hydraulic engineering**, v. 134, n. 1, jan. 2008. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9429%282008%29134%3A1%2856%29> Acesso em: 18 nov. 2020.

RESPONDE AÍ. Teoria completa. **Responde aí**, Rio de Janeiro, [201-]. Disponível em: <https://www.respondeai.com.br/conteudo/eletrica/circuitos-magneticos/introducao-aos-circuitos-magneticos/1450> Acesso em: 18 nov. 2020.

RTC – Reprogramming the City. Renewable Energy Under City Streets: Generating Power from the City Water Pipes. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://reprogrammingthecity.com/generating-power-from-city-water-infrastructure/> Acesso em: 18 nov. 2020.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Consumo de energia nos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário. *In*: SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2018**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2019. p. 99-104. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2018/Diagnostico-SNIS-AE-2018-Capitulo-09.pdf> Acesso em: 18 nov. 2020.

TEAM, Purdue ECT. LucidPipe™ Power System. **ECT Fact Sheets**, p. 1-5, 2016. Disponível: <https://docs.lib.purdue.edu/ectfs/224/> Acesso em: 18 nov. 2020.

TONIDANDEL, Danny Augusto Vieira; ARAÚJO, Antônio Emílio Angueth de; BOAVENTURA, Wallace do Couto. História da Eletricidade e do Magnetismo: da Antiguidade à Idade Média. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S. l.], v. 40, n. 4, p. 1-8, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v40n4/1806-9126-RBEF-40-04-e4602.pdf> Acesso em: 18 nov. 2020.

USINA BAIXO IGUAÇU. Usinas hidrelétricas “a fio d’água”. **Usina Baixo Iguaçu**, [Paraná], 27 fev. 2014. Disponível em: <http://usinabaixoiguacu.blogspot.com/2014/02/usinas-hidreletricas-fio-dagua.html> Acesso em: 18 nov. 2020.