

## **ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA NO USO DE TURBINAS EM ADUTORAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

### **Daniel de Almeida Silva Gonçalves**

Tecnólogo em Hidráulica e Tecnólogo em Edificações pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo, Engenheiro Civil pela Universidade Mogi das Cruzes, Pós-graduado em Geo-Processamento pelo Senac de São Paulo e MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Instituto de Administração - FIA. Desde 2008 é Gestor do Cadastro Técnico da Produção da Unidade de Negócio de Produção de Água da Metropolitana da SABESP e, desde 2015, professor em Engenharia Civil na Universidade Mogi das Cruzes - UMC.

### **Nathalia Almeida Chagas Toni**

Tecnóloga em Construção de Edifícios e graduanda em Engenharia Civil pela Universidade de Mogi das Cruzes - UMC.

### **Raissa dos Santos Lima**

Técnica Eletricista de Manutenção Eletroeletrônica e graduanda em Engenharia Civil pela Universidade de Mogi das Cruzes - UMC.

**Endereço:** Rua Carlos Mazer, 416 Apto 33 Bl 01 – Itaquera – São Paulo – SP – CEP 08290-700 - Brasil - Tel: +55 (11) 2524-5197 ou +55 (11) 99855-5377- e-mail: dsgoncalves@sabesp.com.br

### **RESUMO**

A análise sobre simples processos de trabalho é fundamental para o desenvolvimento de tecnologias que resultam em benefícios ao meio ambiente e a sociedade. Pode-se citar a aplicação de minicentrals hidrelétricas (MCH), que produzem energia elétrica através do aproveitamento dos potenciais hidráulicos de rios e tubulações, evitando enchimentos de barragens e seus impactos ambientais e sociais na construção de usinas hidrelétricas. As MCH ainda são pouco utilizadas no aproveitamento de adutoras, que poderiam diminuir os custos com energia elétrica de empresas de saneamento, cujo gasto chegou a R\$ 6,19 bilhões em 2018. Ao mesmo tempo, elas possuem grandes extensões de adutoras para condução de água para abastecimento público, que podem ser utilizadas para instalação de MCH. Assim, o objetivo deste estudo é a análise da viabilidade técnica para implantação de MCH com turbina na Adutora do Rio Claro da SABESP, gerando energia elétrica para a EEA Sifão 22. Os resultados mostraram que ela traria uma economia média mensal de 18,46% no custo com energia elétrica da EEA com apenas uma turbina, representando um benefício à empresa e também à sociedade, favorecendo a criação de empregos, além de ser uma alternativa sustentável, colaborando com a preservação do meio ambiente.

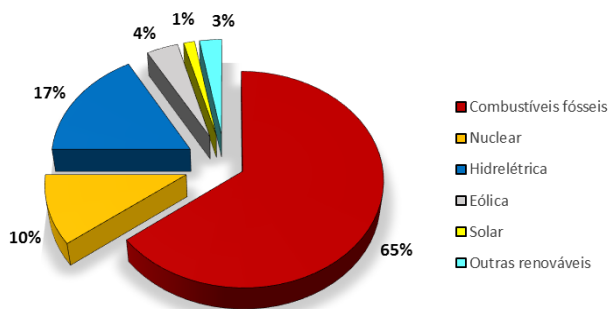
**PALAVRAS-CHAVE:** MCH, Turbinas em adutoras, Minicentral Hidrelétrica.

### **1. INTRODUÇÃO**

A preocupação envolvendo a preservação do meio ambiente e as alterações climáticas sofridas no decorrer do tempo é um assunto que vem ganhando cada vez mais importância desde o início dos anos 1970, época marcada por conferências internacionais sobre o meio ambiente. Cita-se como marco ao direito ambiental a Conferência de Cúpula realizada em Estocolmo em 1972, a qual foram traçadas diretrizes comuns para combater distúrbios relacionados ao meio ambiente derivados da exploração predatória (JAPIASSÚ; GUERRA, 2017).

Outra referência histórica a respeito da preservação ambiental no mundo foi a tomada de decisão sobre uma das áreas em que se fez necessária a criação de políticas de adaptação e mapeamento dos impactos causados ao meio ambiente, que é a área de produção de energia elétrica (SILVA, 2008). Conforme tratado no Artigo 2 do Protocolo de Quioto (MCTIC, 1998), as partes constituintes se comprometeram com o aprimoramento e implementação de políticas e medidas, a fim de promover pesquisas que incitem ao uso de novas formas de produção de energia renovável, ambientalmente seguras e inovadoras. A partir desta orientação, uma diversidade de métodos para produção de energia elétrica de fontes renováveis foi sendo aplicada.

No Anuário Estatístico de Energia Elétrica, apresentado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2019), são informadas as principais fontes de energia elétrica no mundo: combustíveis fósseis, hidrelétrica, nuclear e uma pequena porcentagem (8,0%) através de fontes renováveis: eólica, solar e outras (Figura 1).



**Figura 1: Produção de energia elétrica mundial em 2016 a partir da fonte geradora (EPE, 2019)**

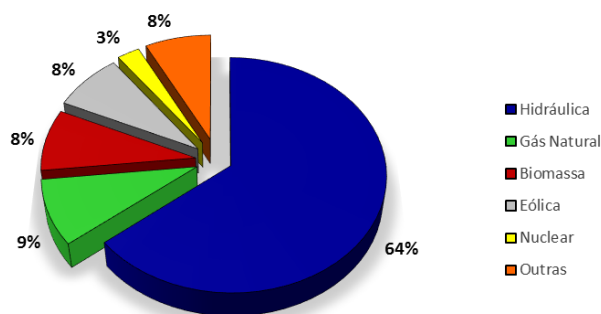
Fica evidente que a produção mundial de energia elétrica através de combustíveis fósseis ainda se sobrepõe as demais. Segundo BIZERRA, QUEIROZ e COUTINHO (2018 apud BAIRD; CANN, 2011 e ROCHA, 2013), tal fonte é apontada como um dos principais fatores causadores do efeito estufa e aquecimento global.

Trazendo essa questão para a realidade brasileira, é preciso destacar a década de 1980, marcada por importantes acontecimentos que parametrizaram as ações em prol desta causa, tal como o surgimento da Lei N° 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente.

A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos os seguintes princípios:

- I - ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo;
- II - racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar;
- III - planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais;
- IV - proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas;
- V - controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras;
- VI - incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais;
- VII - acompanhamento do estado da qualidade ambiental;
- VIII - recuperação de áreas degradadas;
- IX - proteção de áreas ameaçadas de degradação;
- X - educação ambiental a todos os níveis de ensino, inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do meio ambiente. (CONGRESSO NACIONAL, 1981).

Diferente do apresentado na matriz energética mundial, o Brasil tem como principal fonte de energia elétrica as hidrelétricas, evidenciando uma condição favorável para utilização dessa fonte em relação às outras, principalmente pela quantidade de rios (Figura 2).



**Figura 2: Produção de energia elétrica nacional em junho de 2019 a partir da fonte geradora (EPE, 2019)**

Todavia, as grandes centrais hidrelétricas podem acarretar impactos sociais negativos, principalmente em relação a alteração demográfica nos locais de implantação das grandes usinas. A partir desse fato, originam-se impactos sociais como desapropriações que rompem o processo de desenvolvimento social de moradores ribeirinhos, exigindo sua realocação (BORTOLETO, 2001).

Outro impacto relevante, porém, para o meio ambiente, acontece devido aos enchimentos necessários para construção das represas pertinentes à produção de energia elétrica em hidrelétricas. Esses enchimentos alteram o ciclo das águas e a formação de microclimas, interferindo na diversidade biológica, chegando ao ponto de extinguir espécies da fauna e flora da região. Sendo assim, o resultado é a degradação anaeróbia da matéria orgânica, tornando-se uma fonte de emissão de gases de efeito estufa (LENKEM, 2020).

Em razão da necessidade de aperfeiçoamento dos processos para produção de energia elétrica para torná-los mais eficazes e seguros, além de diminuir os impactos sociais e ambientais, pode-se evidenciar as Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH e Micro/Mini Centrais Hidrelétricas - MCH (Figura 3).



**Figura 3: MCH Ponte Alta em Mato Grosso do Sul (Intertechne, 2020)**

Ambas as tecnologias trabalham basicamente da mesma forma que as grandes usinas: a força da água aplicada nas pás das turbinas, em conjunto com a instalação de geradores, produzirá energia elétrica. Contudo, a diferença está na forma de utilização da água, onde as PCH e MCH não precisam de grande represamento de água, eliminando a necessidade de enchimento (BOYAYAN, 2009).

Para regulamentação da geração de energia elétrica de mini e micro centrais, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL elaborou e publicou a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, já para padronização de pequenas centrais a ANEEL normatiza através da Resolução nº 875, de 10 de março de 2020 os requisitos e procedimentos para centrais hidrelétricas, que também classifica o tipo de usina de acordo com a quantidade de energia produzida (Tabela 1).

**Tabela 1: Critério para classificação do tipo de geração de energia elétrica (ANEEL, 2012; ANEEL, 2020)**

NOMENCLATURA	POTÊNCIA INSTALADA (kW)
Microgeração (MCH)	$\leq 75$
Minigeração (MCH)	$75 < P \leq 5.000$
Pequena geração (PCH)	$5.000 < P \leq 30.000$

O Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul – BRDE (2002) descreve que as PCH e MCH, além de evitarem os malefícios causados pelas usinas hidrelétricas convencionais, proporcionam prazos de implantação menores, livre acesso às redes de transmissão desde que obedecidas as normas e características técnicas do sistema, assim como a facilidade de promover energia em pontos com maior dificuldade de acesso, diminuindo gastos com linhas de transmissão e garantindo o fornecimento de energia elétrica a um maior número de pessoas.

Assim posto, as PCH e MCH são ótimas alternativas para geração de energia em diversos casos. Uma delas pode ser a aplicação desta tecnologia em empresas de saneamento básico, que chegam a consumir de dois a três por cento da energia produzida mundialmente (FELIZATTO et al., 2017 apud JAMES et al., 2002).

No Brasil, o consumo de energia elétrica de empresas de saneamento pode ser encontrado no Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, elaborado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2019). Ele mostra que essas empresas chegaram a gastar em 2018 um total de 6,19 bilhões de reais com energia elétrica, com um consumo total de 12,9 TWh.

Uma das maiores empresas de saneamento do Brasil e do mundo, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP é uma referência no setor e pode ser utilizada como parâmetro de gasto com energia elétrica. No ano de 2019, ela consumiu 2,53 TWh de energia elétrica, sendo 81,5% no processo de distribuição de água (captação, produção, adução e tratamento) e 17,7% no afastamento e tratamento de esgotos. O restante, 0,8%, foi utilizado nos setores administrativos (SABESP, 2020).

O consumo de energia elétrica de empresas de saneamento básico apresentado acima ratifica a necessidade de busca por tecnologias que diminuam esse impacto no custo da empresa e ao meio ambiente. Uma possível solução é a geração de energia hidrelétrica através de turbinas instaladas nas tubulações, de forma a aproveitar o fluxo de água que passa pelo seu interior.

No sistema de abastecimento público, as adutoras são consideradas como tubulações principais, compostas de dutos de maior diâmetro que levam a água desde a captação nos corpos hídricos (água bruta) até os centros de reservação para abastecimento do cliente final (Figura 4), após seu tratamento.



**Figura 4: Construção da Adutora do Agreste (COMPESA, 2018)**

Ao observar o sistema de captação de água, que realiza a interligação entre a captação no corpo hídrico e a Estação de Tratamento de Água (ETA), é possível observar uma série de obstáculos a serem vencidos pelas adutoras, que afetam a capacidade da energia da água de vencê-los. Para resolver essa questão, entram em cena as Estações Elevatórias de Água – EEA, que recalcam água de uma cota topográfica para outra mais alta através de bombas hidráulicas que necessitam, para isso, de uma grande quantidade de energia elétrica (TSUTIYA, 2006).

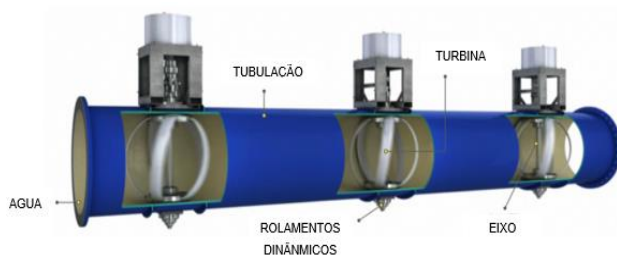
A EEA (Figura 5) possui estrutura física, ou seja, uma edificação e sua parte hidráulica é formada pela tubulação de entrada (sucção), tubulação de saída (recalque) e demais peças de segurança do sistema como: válvula de controle, válvula de retenção e ventosas. Já a parte elétrica é composta por painéis de controle, transformadores e linhas de transmissão de energia elétrica.



**Figura 5: Estação Elevatória de Água Tratada ABV**

Tendo em vista que as EEAs estão em cotas baixas para recalcar a água a cotas mais altas, a tubulação de chegada de água (sucção) poderia ser modificada para receber turbinas que transformam a energia hidráulica em energia elétrica pela passagem da água que chega nesse ponto, criando-se, assim, uma mini ou micro central hidrelétrica.

Já há alguns exemplos dessa aplicação pelo mundo, como o sistema gerador de energia elétrica instalado nos canos da rede de abastecimento de água na cidade de Portland, no estado norte-americano do Oregon, composto por quatro turbinas instaladas na tubulação com 107 cm de diâmetro (Figura 6). Estima-se que essa instalação produza 1.100 MWh de energia elétrica anualmente (AGÊNCIA ENERGIA, 2016).



**Figura 6: Sistema de pequenas turbinas na cidade de Portland (Adaptado de Agência Energia, 2016)**

Outro exemplo relevante, agora no Brasil, é a utilização de uma MCH no Centro de Reservação Mussolini da SABESP, na cidade de São Bernardo do Campo (Figura 7), estado de São Paulo. Inaugurado em 2018, o sistema possui a capacidade para gerar até 20 mil KWh/mês e a energia produzida é direcionada para alimentação da estação de bombeamento que abastece a população da região (HIGRA, 2020).



**Figura 7: Minicentral hidrelétrica instalada no reservatório Mussolini (HIGRA, 2020)**

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

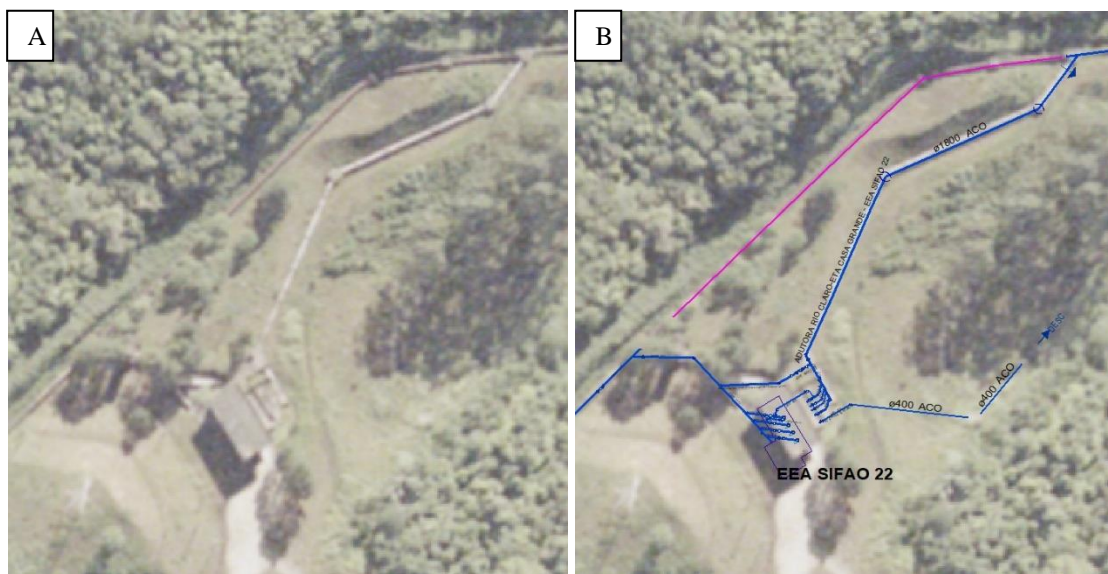
O Sistema Produtor Rio Claro é administrado pela SABESP e destina-se a captação, tratamento e condução da água para centros de reservação na cidade de São Paulo e municípios ao seu redor. Sua bacia de contribuição ocupa uma área de 173,9 km<sup>2</sup> e está localizada nos municípios de Biritiba Mirim e Salesópolis, composta pela represa do Ribeirão do Campo e contribuição da transposição do Rio Guaratuba (Figura 8).



**Figura 8: Sistema Produtor Rio Claro (SABESP, 2019)**

O sistema Rio Claro tem seu abastecimento integralmente aduzido através de um sistema de adutoras e aquedutos, com estações elevatórias (Sifão 22, Sifão 20 e Sifão 16) em posições estratégicas, chegando até o centro de reservação Mooca.

Para atender ao objetivo deste artigo, foi escolhida a EEA Sifão 22 da SABESP (Figura 9), localizada no distrito de Biritiba Ussu, município de Mogi das Cruzes (SP), pertencente ao Sistema Produtor Rio Claro.



**Figura 9: a) Vista aérea da EEA Sifão 22; b) Traçado das adutoras da EEA Sifão 22**

Para estabelecer o local mais apropriado para instalação deste sistema gerador de energia elétrica, alguns critérios precisaram ser determinados para a escolha da EEA Sifão 22. Eles dependeram fundamentalmente da existência de transformadores para utilização da energia elétrica gerada (que estão dentro da EEA), de área disponível ao lado das adutoras para instalação das turbinas e tubulação transportando água por gravidade para não impactar em perda de carga, não tendo interferências significativas no transporte da água tratada.

Localizado a pouco menos de 100 km da capital de São Paulo, o sistema foi projetado para minimizar a crise no abastecimento de água enfrentada pela Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) no início do século. Em junho de 1939, foi lançado oficialmente o primeiro trecho da adutora Rio Claro, entre os quilômetros 0 e 78, enquanto prosseguiram as obras na parte superior entre os quilômetros 78 e 86, inaugurada dois anos depois.

Pela grande extensão da canalização, 86 km, e pelas dificuldades construtivas de configuração, a obra demorou 15 anos para ser finalizada. Na década de 90, o engenheiro Mário Otsubo, hoje aposentado da Sabesp, foi um dos responsáveis pela recuperação de uma parte da adutora entre a Vila Guarani/Sapopemba até a elevatória de Mauá. De acordo com ele, uma das peculiaridades da adutora é que, durante todo o percurso, não há apenas um só tipo de tubulação, mas três seções: a circular, utilizada nos trechos de túnel (cambota de ferro fundido) e sifão, a dupla semi-elipse, usada nas áreas enterradas, e a retangular, para as partes aéreas (aquedutos) (SABESP, 2013).

A adutora Rio Claro percorre trechos altos e baixos através de adutora conduzindo a água por gravidade (aquedutos) ou por pressão com uso de EEAs. A EEA Sifão 22 é a primeira estação após a saída da ETA Casa Grande e conta com uma área construída para abrigar as bombas e os transformadores, as tubulações de sucção e recalque, e a subestação que reduz a tensão de chegada da energia elétrica até os transformadores (Figura 10).



**Figura 10: Vista por satélite da EEA Sifão 22 (GOOGLE MAPS, 2020)**

A Figura 11 apresenta a tubulação de chegada (sucção) da EEA Sifão 22, com diâmetro de 1800 mm, e a área disponível para instalação da MCH.



**Figura 11: Trecho proposto para instalação da MCH**

A estrutura civil da EEA Sifão 22 é composta por pilares e vigas pré-moldadas em concreto armado e as paredes são em alvenaria convencional (Figura 12).



**Figura 12: Vista externa da EEA Sifão 22**

O fornecimento de energia elétrica para a EEA Sifão 22 é de responsabilidade da empresa Bandeirantes Energia S/A através de uma linha de transmissão com entrada de 138.000 VAC (Voltagem para corrente alternada) até a subestação transformadora, que reduz a tensão para 13.800 VAC (Figura 13).



**Figura 13: Subestação transformadora na EEA no Sifão 22**

Da subestação, a energia elétrica chega ao transformador (Figura 14), que rebaixa a tensão para 440 VAC, alimentando as bombas da Estação Elevatória.



**Figura 14: Transformador trifásico na EEA Sifão 22**

Este transformador ou trafo é responsável, também, pela diminuição de tensão para alimentação de painéis de controle, iluminação e demais equipamentos.

Internamente, a EEA Sifão 22 possui quatro conjuntos motor-bomba verticais de modelo Worthington 24 KMD 30-2, cujas características estão na Tabela 2, interligados à tubulação de sucção e recalque, além de válvulas de retenção que funcionam como segurança do sistema contra sobre-pressão e refluxo da água, que pode gerar o "Golpe de Ariete" e danificar as pás do rotor da bomba.

**Tabela 2: Dados técnicos da EEA Sifão 22**

DESCRIPTIVO	ESPECIFICAÇÕES
Rotações por minuto	710 RPM
Vazão da bomba	4.788 m <sup>3</sup> /h
Altura manométrica	14,51 mca
Classe de Pressão	PN 10
Potência	350 HP

Por estratégia da área de operação da EEA Sifão 22, somente três permanecem em operação, para que, se houver um problema ou necessidade de desligamento de qualquer outra bomba, esta possa entrar em operação (Figura 15).

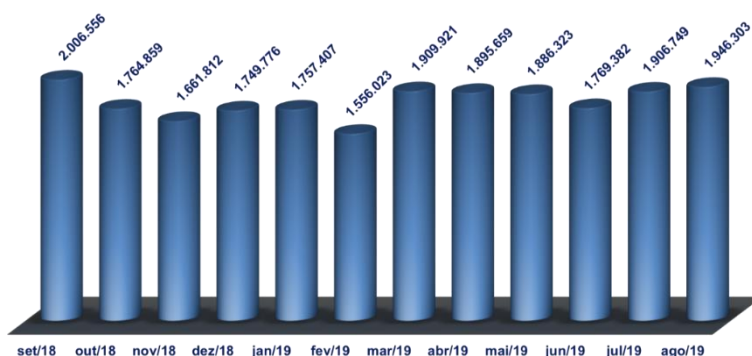


**Figura 15: Instalação hidráulica da EEA Sifão 22**

## 2.2. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DA EEA SIFÃO 22

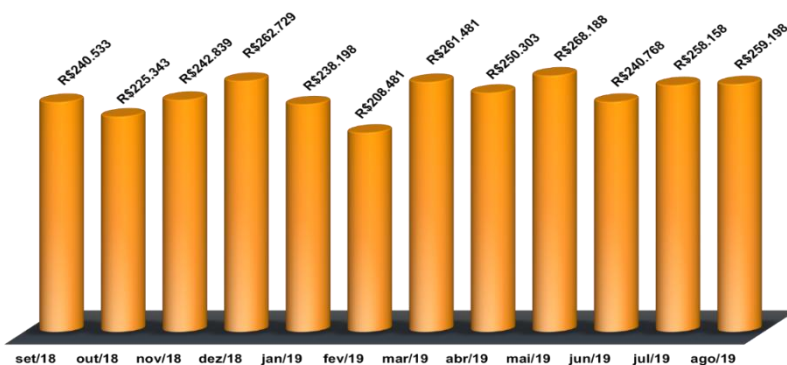
Todo o processo para recalcar a água demanda uma grande quantidade de energia elétrica para o perfeito funcionamento da estação elevatória. A Figura 16 apresenta o consumo mensal em kWh da EEA Sifão 22, ao qual seu valor médio mensal chega a 1.817.564 kWh.





**Figura 16: Consumo de energia elétrica em kWh da EEA Sifão 22**

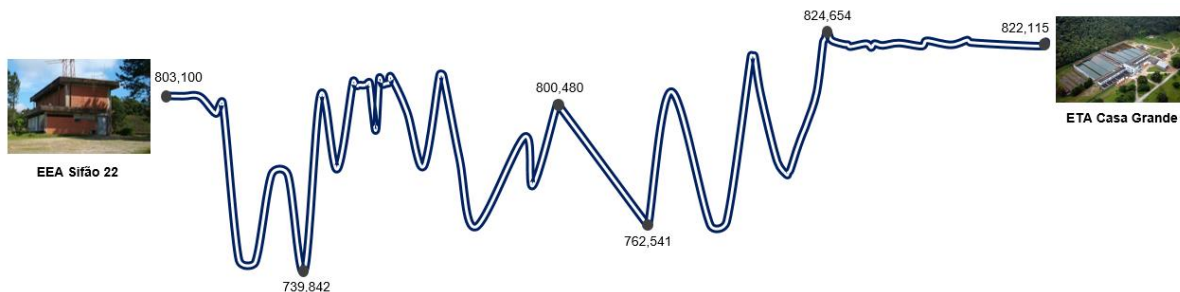
Esse consumo de energia elétrica traz um custo alto, conforme Figura 17, que apresenta o valor médio mensal de R\$ 246.351,63 na EEA Sifão 22.



**Figura 17: Custo de energia da EEA Sifão 22**

### 2.3. PERFIL TOPOGRÁFICO DA ADUTORA

O conhecimento a respeito das cotas de nível ao longo do trecho da adutora é de extrema importância visto que tal dado estabelecerá a altura de queda do sistema da MCH. A cota para instalação da turbina encontra-se em 803,100 (chegada na EEA Sifão 22) e o ponto mais alto antecedente a EEA Sifão 22 corresponde a 824,954 (Figura 18).

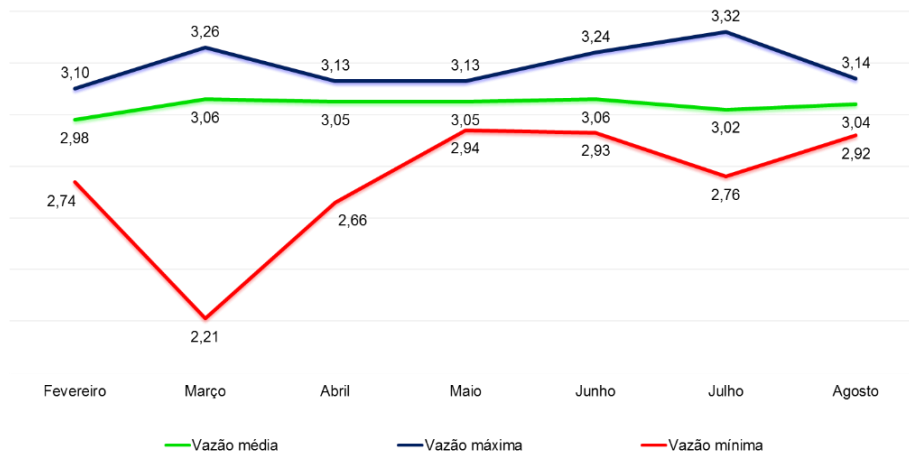


**Figura 18: Cotas de níveis do trecho anterior a EEA Sifão 22**

### 2.4. VAZÃO E PRESSÃO NA ADUTORA

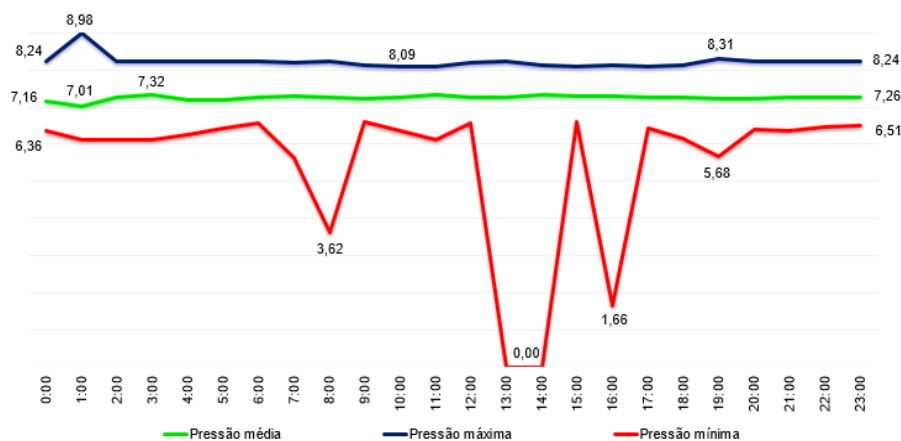
O conhecimento sobre vazão e pressão na adutora se faz necessário visto que um é parâmetro de medição do volume de fluido que escoar através da seção da tubulação por tempo e o outro é a razão entre a força aplicada pela sua área de contato. Tais dados caracterizam o local de implantação da MCH e estão diretamente ligados a estimativa para geração de energia elétrica.

Ao observar as medições de vazão de chegada na EEA Sifão 22 durante o período de fevereiro a agosto de 2019, nota-se que a mesma possui uma média de 3,04 m³/s, com desvio padrão de 0,10 m³/s. Na Figura 19 é ilustrado o comportamento da vazão média mensal nesse período juntamente com a vazão máxima e mínima em cada mês.



**Figura 19: Análise das vazões (m³/s) de chegada da EEA Sifão 22**

A pressão relevante para a MCH é a pressão de chegada na EEA Sifão 22, que foi medida de hora em hora no período de fevereiro a agosto de 2019. Os dados obtidos na SABESP mostraram uma média de 7,25 mca, com desvio padrão de até 0,43 mca. A Figura 20 apresenta a variação média mensal da pressão, juntamente com a pressão máxima e mínima em cada horário.



**Figura 20: Análise de pressões de chegada da EEA Sifão 22**

## 2.5. DEFINIÇÃO DE PEQUENAS TURBINAS HIDRÁULICAS

Turbinas hidráulicas são equipamentos que tem por finalidade transformar a energia de escoamento contínuo da água em trabalho mecânico e podem ser divididas em duas categorias: ação e reação (SOUZA, 1983).

Nas turbinas hidráulicas de ação, o escoamento através do rotor ocorre sem variação da pressão estática, transformando somente a energia cinética da água. Exemplos desse tipo de turbina: Turbinas Pelton, Turgo e Michell-Banki (Figura 21).



**Figura 21: (a) Turbina Pelton; (b) Turbina Turgo (c) Turbina Michell-Blanki (Adaptado de Hidro GD, 2019)**

Nas turbinas de reação, o escoamento através do rotor ocorre com variação de pressão estática, onde o trabalho mecânico é obtido pela transformação de energia cinética e de pressão da água. Alguns exemplos desse tipo de turbina: Turbinas Francis, Kaplan e Hélice (Figura 22).



**Figura 22: (a) Turbina Francis; (b) Turbina Kaplan; (c) Turbina Hélice (Adaptado Mecânica Industrial, 2017)**

Mesmo com a grande variedade de turbinas hidráulicas, cada uma atua dentro de suas limitações, exercendo suas determinadas funções em seus casos específicos. A partir das delimitações que o projeto estudado possui, o tipo de turbina adotado foi de reação e tubular, onde também existem variações e modelos diferentes.

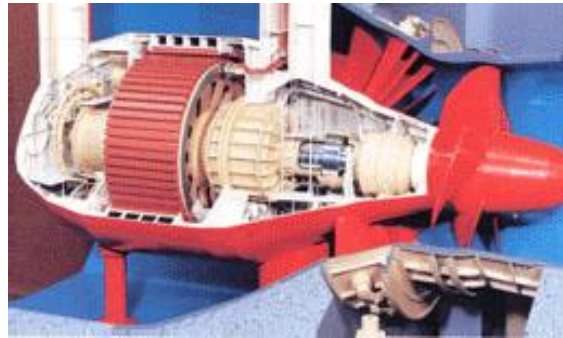
As turbinas que adotam os rotores Kaplan ou hélice são turbinas tubulares e as “S”, exatamente por seus formatos (FILHO, 2008).

A turbina tubular é formada por um rotor axial, com pás fixas ou móveis, que são acopladas dentro de um tubo por onde escoar a água. O gerador é unido ao eixo da turbina e sua instalação acontece na parte externa, tendo a capacidade de atuação do seu eixo na horizontal ou vertical (Figura 23) (GOMES, 2010).



**Figura 23: Modelo reduzido de turbina hélice do tipo tubular, com tubo de sucção desmontado para visualização do rotor (ALBUQUERQUE, 2006 apud LHPCH – UNIFEI)**

As turbinas do tipo bulbo, conforme NBR 6445, são de reação, na qual o fluxo d’água penetra axialmente no distribuidor e no rotor, estando o gerador contido em bulbo, remetendo a idealização da turbina tubular. A diferença ocorre no acoplamento do gerador no interior do rotor, que também pode ser construído com a utilização de pás fixas ou móveis (Figura 24) (NBR 6445, 2016).



**Figura 24: Modelo de turbina bulbo com rotor de pás móveis e gerador interno (FILHO, 2008)**

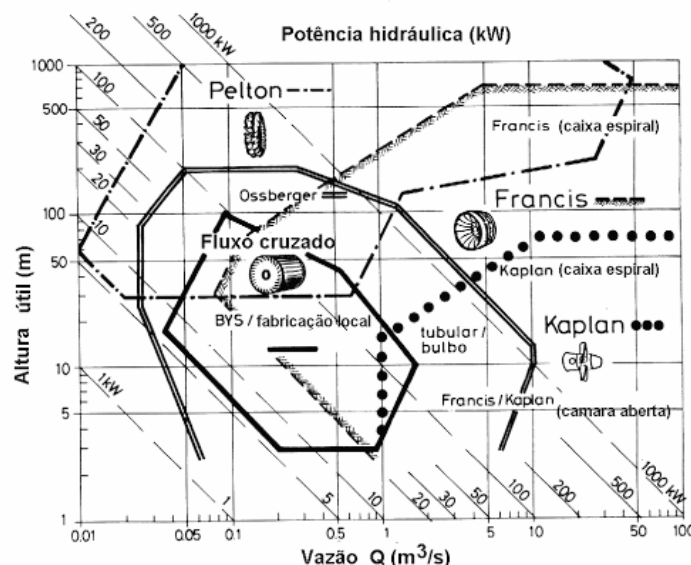
As configurações dos tipos bulbo e tubular vêm sendo usadas cada vez mais em diversos países, entre os quais o Brasil, em detrimento às turbinas Kaplan convencionais de eixo vertical. São empregadas na maioria das vezes para aproveitamento de baixa queda e quase sempre a fio d'água (KJOLE, 2001).

Sua concepção compacta em comparação a turbina Kaplan reduz consideravelmente o volume das obras civis, tornando a mesma de menor custo. Em compensação, o custo do equipamento eletromecânico, turbina e gerador é maior que o das turbinas convencionais, pela tecnologia e processos de fabricação aplicáveis em termos de ajustes e vedações (KJOLE, 2001).

Pela relação do SIPOT (Sistema de Informação do Potencial Hidrelétrico Brasileiro), pode-se encontrar algumas dessas turbinas instaladas nos mais diversos estados brasileiros, de potências variando de 0,43 MW (Aripuanã-MT-CEMAT) até 42 MW (Igarapava-SP/MG-CEMIG), ou ainda nas turbinas da usina de Canoas, com 80 MW (Grupo Votorantim) (ELETROBRAS, 2003).

## 2.6. CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DA TURBINA HIDRÁULICA

Segundo JÚNIOR (2000), a partir de valores de vazão, altura de queda d'água e potencial hidráulico do sistema a ser desenvolvido é possível escolher o modelo ideal a ser utilizado baseado no ábaco de turbinas hidráulicas (Figura 25).



**Figura 25: Determinação de turbinas hidráulicas (JÚNIOR, 2000)**

Para se obter a Altura Útil mencionada na Figura 25 é necessário primeiramente realizar os cálculos de potência hidráulica nominal, de potência hidráulica efetiva e altura de queda d'água.

- **Potência hidráulica nominal**

O potencial de um grupo gerador de energia hidráulica tem a potência nominal resultante da Equação 1 (SOSNOSKI, 2015).

$$P_n = Q \cdot H \cdot \gamma_{\text{água}} \quad \text{Equação (1)}$$

Sendo:

**P<sub>n</sub>**: Potencial da planta geradora (kW);  
**Q**: Vazão turbinada expressa (m<sup>3</sup>/s);  
**H**: Queda expressa (m);  
**γ<sub>água</sub>**: Peso específico da água, igual a 9,81 (kN/m<sup>3</sup>).

- **Potência hidráulica efetiva**

No entanto, a potência hidráulica efetiva produzida considera as características de perdas de carga provocadas pela turbina, além de que existem as perdas de rendimento provenientes de tubulações e geradores. Tal cálculo se dá através da Equação 2 (NUEMBERG; SPECK, 2017).

$$P_e = g \cdot Q \cdot H_b \cdot \eta_t \cdot \eta_g \quad \text{Equação (2)}$$

Sendo:

**P<sub>e</sub>**: Potência efetiva (kW);  
**g**: Força gravitacional, igual 9,81 (m/s<sup>2</sup>);  
**Q**: Vazão (m<sup>3</sup>/s);  
**H<sub>b</sub>**: Altura geométrica (m);  
**η<sub>t</sub>**: Eficiência da turbina hidráulica (%);  
**η<sub>g</sub>**: Eficiência do gerador (%).

A partir da análise de rendimento dos equipamentos mecânicos, concebe-se que as turbinas se aproximam de um rendimento estimado de 77% e, por sua vez, os geradores chegam a 95%, resultando em uma simplificação da Equação 2, sendo revisada e adaptada conforme Equação 3 (GUITARRARA, 2012 apud ELETROBRÁS, 1985).

$$P_e = 7,16 \cdot Q \cdot H_b \quad \text{Equação (3)}$$

Sendo:

**P<sub>e</sub>**: Potência efetiva (kW);  
**Q**: Vazão (m<sup>3</sup>/s);  
**H<sub>b</sub>**: Altura geométrica (m).

- **Altura de queda d'água**

A altura de queda d'água é o produto entre a diferença da cota mais alta da adutora do Rio Claro desde a ETA Casa Grande até a cota para instalação da turbina na chegada à EEA Sifão 22.

- **Altura útil**

No entanto, a potência que é efetivamente produzida considera as características de perdas de carga provocadas pela turbina, juntamente com o cálculo da altura útil da planta que representa a altura da queda efetiva ou útil de água, resultando na potência útil (efetiva) do sistema. Sendo assim, através da Equação 4 se determina a altura útil considerando suas perdas de carga (SOSNOSKI, 2015).

$$H_u = P_e / (\eta_t \cdot Q \cdot \gamma_{\text{água}}) \quad \text{Equação (4)}$$

Sendo:

**Hu:** Altura útil (m);

**Pe:** Potência efetiva (kW);

**$\eta$ :** Rendimento do sistema, igual a 73,15%;

**Q:** Vazão (m<sup>3</sup>/s);

**$\gamma$ água:** Peso específico da água, igual a 9,81 (kN/m<sup>3</sup>).

## 2.7 Critérios para definição do gerador elétrico

Os geradores têm a função de transformar a energia mecânica proveniente das turbinas em energia elétrica e estão disponíveis no mercado em duas categorias (SOSNOSKI, 2015):

- **Síncronos:** possuem um regulador de tensão acoplado ao equipamento de excitação que capacita que a energia produzida esteja na mesma tensão, frequência e ângulo de fase requerida pelo sistema;
- **Assíncronos:** não possui a mesma capacidade de regulagem de tensão, mas são simples motores que funcionam por indução e geram a tensão de acordo com a frequência e velocidade de giro, sendo aplicados em situações de baixa potência.

Em MCH's normalmente são utilizados geradores síncronos, que operam com velocidade do campo girante constante independentemente da carga elétrica que é colocada em seus terminais (BALARIM, 1996).

Contudo, a aplicação de geradores síncronos deve avaliar a relação custo x benefício. Sua capacidade para atuação está diretamente ligada a potência do grupo gerador superior a 1MW e inferior ou igual a 30MW (SOUSA et al, 2016).

De acordo com JÚNIOR (2015), o gerador assíncrono tem uma estrutura relativamente simples, composto pelo estator (parte fixa do conjunto gerador) e pelo rotor (parte móvel que é separada por um entreferro), onde sua indução pode ser construída por dois tipos, bobinado ou gaiola (Figura 26).

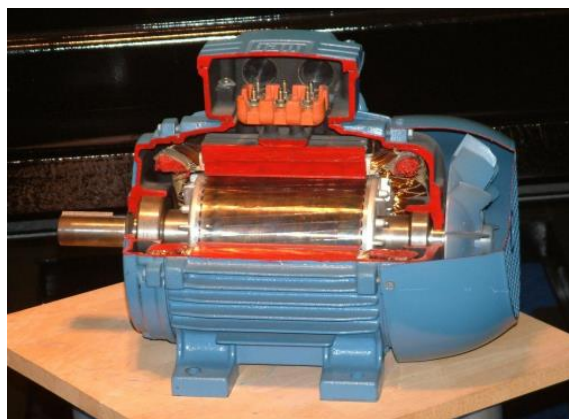


Figura 26: Perfil de máquina de indução do tipo gaiola (JÚNIOR, 2015 apud S. J. WAARD)

## 2.8 Energia elétrica produzida por uma central hidrelétrica

O cálculo da energia resultante de um período de estudo para o sistema gerador deve ser representado pela integração da equação de potência útil ao longo de um intervalo de tempo determinado (Equação 5), usualmente mensal ou anual, para facilitar a avaliação da produção de energia quando comparada ao consumo (SOSNOSKI, 2015).

$$E = \int t1 - t0 (\eta * Q * H_u * \gamma_{\text{água}}) \quad \text{Equação (5)}$$

Sendo:

E: Energia potencial (kWh);  
 $\eta$ : Rendimento do sistema, igual a 73,15%;  
 Q: Vazão (m<sup>3</sup>/s);  
 H: Queda útil (m);  
 $\gamma_{\text{água}}$ : Peso específico da água, igual a 9,81 (kN/m<sup>3</sup>).

Por último, o estudo a ser validado deve considerar a capacidade de produção em KWh/ano, o qual é obtido através da Equação 6 (SOSNOSKI, 2015).

$$E = P * 8760 \quad \text{Equação (6)}$$

Sendo:

E: Energia Potencial (kWh/ano);  
 P: Potência (kW).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. DADOS MÉDIOS DE PRESSÃO, VAZÃO E CONSUMO NA EEA SIFÃO 22

Para parametrização dos dados considerados neste artigo, a SABESP disponibilizou as informações referentes a vazão, pressão de sucção, pressão de recalque, consumo e custo com energia elétrica.

O período considerado para verificação dos dados de pressão e vazão foi de 01 de fevereiro de 2019 a 31 de agosto de 2019, sendo que a pressão foi coletada de hora em hora e a vazão somente uma vez ao dia. O resumo dos dados obtidos está na Tabela 3, inclusive com seu respectivo desvio padrão.

**Tabela 3: Resumo de dados para projeção da MCH**

PARÂMETROS DE MEDIDAS	VALOR MÉDIO	DESVIO PADRÃO
Pressão de sucção (mca)	7,25	0,43
Vazão (m <sup>3</sup> /s)	3,04	0,10
Consumo (kWh)	1.817.564	124.357,65
Consumo (R\$)	246.351,63	16.616,76

#### 3.2. POTENCIAL HIDRÁULICO ASSEGURADO E INSTALADO

Foram verificados os níveis de cota topográfica onde o maior ponto observado possui uma cota de 824,954 e o ponto de instalação proposto 803,100, portanto a altura de queda d'água equivale a 21,854 metros.

Para definição do tipo de turbina a ser aplicada é de fundamental importância o conhecimento da Potência Hidráulica (nominal) e, de acordo com os cálculos obtidos através da Equação 1, sendo a vazão média de 3,04 m<sup>3</sup>/s, altura de queda de 21,854 m e peso específico da água, resultou em 651,74 kW.

$$P_n = 3,04 * 21,854 * 9,81 = 651,74 \text{ kW}$$

Considerando o percentual de rendimento da turbina hidráulica, do gerador e a perda de energia dinâmica do fluido, conforme Equação 3, estima-se que o rendimento efetivo do sistema é de 73,15%. Como a equação atende aos cálculos de forma global, tal percentual é aplicado sobre o valor da força de gravidade ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ), chegando a um valor fixo de 7,16. Os demais dados referem-se a média de vazão e altura de queda, resultando em 475,68 kW de potência instalada, encaixando este estudo numa minicentral hidrelétrica (MCH).

$$P_e = 7,16 * 3,04 * 21,854 = 475,68 \text{ kW}$$

O último valor necessário para determinação da turbina é a altura útil de queda d'água. Para tanto, retomando que 475,68 kW é o potencial efetivo encontrado na Equação 3, 0,77 refere-se ao rendimento da turbina hidráulica (77%), 0,95 o rendimento do gerador (5%),  $3,04 \text{ m}^3/\text{s}$  é a média da vazão e o  $9,81 \text{ m/s}^2$  é o valor da força da gravidade, a altura útil resultante, de acordo com a Equação 4, é 21,81 m.

$$H_u = (475,68 / (0,77 * 0,95 * 3,04 * 9,81)) = 21,81 \text{ m}$$

### 3.3. DETERMINAÇÃO DA TURBINA HIDRÁULICA

A partir dos dados acima foi possível definir que o tipo ideal de turbina a ser aplicada na MCH é a turbina hidráulica de reação do tipo tubular ou bulbo (Figura 27).

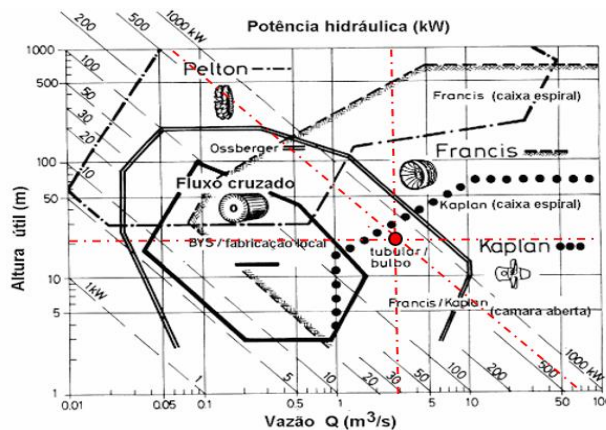


Figura 27: Turbina hidráulica ideal para instalação da MCH da EEA Sifão 22 (Adaptado de JÚNIOR, 2000)

Vale lembrar que a turbina bulbo adotada possui a vantagem de ter o gerador acoplado no interior do corpo estrutural da turbina, além de ser utilizada para pequenas quedas d'água, utilizadas em usinas "fio d'água" e marémotrizes.

### 3.4. DETERMINAÇÃO DO GERADOR ELÉTRICO

O gerador mais adequado, conforme tratado no item 2.7 - Critérios para definição do gerador elétrico, tem ligação direta ao potencial hidráulico. Sendo conhecido tal dado, o gerador do tipo assíncrono apresenta a melhor relação custo x benefício.

Mesmo o tipo de gerador síncrono apresentando grandes vantagens, seu custo se torna elevado devido a maior complexidade na construção da máquina e nos equipamentos adicionais que auxiliam em seu perfeito funcionamento. Assim, sua utilização se torna viável apenas em centrais geradoras com potencial maior que 1MW.



### 3.5 ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA

Através dos valores obtidos de potencial hidráulico assegurado e altura útil, foi possível identificar a quantidade de energia produzida (kWh). Considerando os rendimentos da turbina e gerador, respectivamente 77% e 95%, a vazão média (3,04 m<sup>3</sup>/s) e a força da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>), e aplicando-as na Equação 5, encontra-se 475,79 kWh de energia elétrica gerada.

$$E = \int t1 - t0 (0,77*0,95*3,04*21,81*9,81) = 475,79 \text{ kWh}$$

Por fim, é necessário utilizar um coeficiente de segurança a respeito da quantidade de energia produzida, visto que a vazão é fator determinante para o cálculo de potencial hidráulico e a mesma não se trata de uma medida constante. Estipula-se que o desvio padrão do conjunto de dados observado pode ser relacionado ao percentual de alteração, portanto o desvio equivale a 3,29% da média da vazão, ou seja, pode-se considerar que a energia produzida equivale a 460,14 kWh. A produção de energia aplicando a Equação 6 resulta em 335.901,67 kWh/mês.

$$E = 460,14 * 8760 = 4.030,82 \text{ MWh/ano} = 335.901,67 \text{ kWh/mês}$$

### 3.6. ESTRUTURA HIDRÁULICA PARA INSTALAÇÃO DE UMA CENTRAL HIDRELÉTRICA

A instalação de equipamentos e dispositivos que auxiliam o funcionamento da central geradora são também necessários. O by-pass hidráulico caracteriza-se pelo caminho alternativo estabelecido para o fluxo de água, cujo objetivo é não causar interferências ou interrupções na passagem de água.

Em relação aos componentes civis, a estrutura deverá ser projetada para acomodar todo o sistema da MCH (ABREU, 2015). Tal estrutura conta apenas com a área adequada para o número de grupos a ser instalado (considerando peso e esforços dos mesmos), área para montagem e manutenção dos equipamentos. Seu dimensionamento deverá proporcionar a menor largura possível em uma construção retangular (ABREU, 2015).

A estrutura civil, ponto inicial na obra para implantação do sistema, foi escolhida com o intuito de amparar e assegurar o sistema considerando que os equipamentos que compõem a MCH já possuem proteção para atuar em ambientes abertos, ou seja, no modelo outdoor.

### 3.7. ESTRUTURA ELÉTRICA PARA A MCH

Tendo conhecimento a respeito das instalações elétricas disponíveis, foi necessário determinar a necessidade de algum equipamento auxiliar para que a EEA continue com seu funcionamento seguro através da energia elétrica fornecida pelo grupo gerador de MCH.

O sistema de transmissão é o responsável por conduzir a energia produzida até o seu consumidor e, para que este apresente um bom desempenho, é aplicado que quanto maior for a tensão de transmissão maior será a potência conduzida. Todavia, a tensão de saída dos geradores é baixa, tendo variação entre 13,8 kV e 24 kV, e, para que sua tensão chegue aos níveis de transmissão, faz-se necessária a utilização de um transformador elevador (AMARAL, 2007).

Outro ponto importante a ser considerado para que a funcionalidade da MCH seja aprimorada é a automação do sistema, usando para isso: regulador de velocidade, controle sobre partida e parada da sincronização das máquinas e componentes específicos, lógica de proteção de velocidade excessiva e lógica de desligamento seguro em caso de falha (LIMA, 2002).

### **3.8 ECONOMIA GERADA COM A CENTRAL HIDRELÉTRICA**

Definida a energia elétrica produzida no período de um mês com apenas uma turbina no sistema MCH, foi possível determinar a economia gerada.

Com os dados abordados no tópico 2.2 - Consumo de energia elétrica da EEA Sifão 22, a empresa responsável pelo fornecimento de energia elétrica cobra o equivalente a R\$ 0,1353916 por kWh, considerando os impostos e tarifas. Tendo em vista que o gasto com consumo de energia elétrica na EEA chega a R\$ 246.351,63 por mês e a geração de energia elétrica mensal é de 335.901,67 kWh com a MCH, obtém-se uma economia mensal de R\$ 45.478,26, o que equivale a 18,46% dos custos com energia elétrica na EEA Sifão 22.

De acordo com Leonardo Sant'anna, presidente da Associação Brasileira de Geração de Energia Limpa (ABRAGEL), uma das grandes características positivas das Pequenas Centrais Geradoras é sua vida útil, estimada em mais de 100 anos (ABRAPCH, 2016). Partindo deste princípio, a economia total gerada durante a vida útil com apenas uma turbina ultrapassaria os 50 milhões de reais (desconsiderando reajustes e inflação).

## **4. CONCLUSÃO**

Tendo em vista os estudos realizados, identificou-se a crescente necessidade de aperfeiçoamento dos métodos utilizados para geração de energia elétrica, não somente pelos impactos ambientais, mas também sociais.

Para que se tenha uma perfeita consciência do cenário atual, notou-se que mundialmente a maior fonte para produção de energia elétrica se dá através de combustíveis fósseis, que é apontado como um dos principais causadores do efeito estufa e aquecimento global. Já no Brasil, a principal fonte que se destaca é a hidrelétrica, entretanto, mesmo sendo considerada como renovável, é responsável por impactos sociais - como desapropriações de ribeirinhos - e também ambientais, pois altera o ciclo biológico devido aos enchimentos.

Seguindo a tendência a respeito de novas tecnologias para produção de energia elétrica, este artigo propôs-se apresentar o aprimoramento deste processo de produção, de modo a torná-lo mais eficaz através da adoção de micro e minicentrals hidrelétricas, que surgem como uma alternativa ao sistema de hidrelétricas.

Alguns pontos negativos a respeito das MCH podem ser questionados devido a interferência na biodiversidade da fauna e flora quando utilizadas em rios ou lagos, todavia, se aplicada em um ambiente ao qual não ocasione interferências significativas, essas desvantagens são anuladas, como é o caso de sua aplicação em tubulações.

Para tanto, foi determinado um local que agregasse as principais facilidades para o perfeito funcionamento de uma MCH, a EEA Sifão 22, pertencente ao Sistema Produtor de Água Rio Claro, que dispõe de área livre na chegada da adutora à EEA. Essa chegada se dá por gravidade, que minimiza perdas de energia hidráulica. Além disso, possui uma subestação de energia elétrica, caso a tensão produzida fosse muito alta. Assim, com os dados técnicos conhecidos, foi possível definir a central mais adequada, composta por uma turbina do tipo bulbo e gerador assíncrono.

A fim de evidenciar um aspecto econômico sobre a implantação da turbina na adutora foram realizados cálculos para estimativa de energia elétrica produzida, resultando numa economia média mensal de R\$ 45.478,26 no custo com energia elétrica da EEA Sifão 22, o que representa 18,46% de economia com apenas uma turbina.

Esse resultado não representa apenas um benefício econômico à empresa de saneamento básico, mas suas vantagens vão muito além pois deixam em aberto a possibilidade de um sistema autossuficiente, assim como a criação de um novo segmento. Também agrega benefícios à sociedade favorecendo a criação de novos empregos para as empresas envolvidas neste processo, além de ser uma alternativa sustentável, colaborando com a preservação do meio ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRAPCH – Associação brasileira de PCHs e CGHs. PCH: pequenos investidores, grandes ambições. 2016. Disponível em: <<https://abrapch.org.br/2016/05/13/pch-pequenos-investidores-grandes-ambicoes/>>. Acesso em: 18 mar. 2020.
2. ABREU, Thiago. Proposta de metodologia para definição de quantidade de grupos geradores de pequenas centrais hidrelétricas. 2015. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876412/Disserta%C3%A7%C3%A3o+Thiago+Abreu+2015.pdf/7d05c97f-4e45-054c-33c6-020884240fef>>. Acesso em: 25 abr. 2020.
3. Agência de energia. Cidade usou a tubulação de água para gerar energia elétrica. Casa da sustentabilidade. 2016. Disponível em: <<http://www.agenciaenergia.com.br/noticia.php?cidade-usou-a-tubulacao-de-agua-para-gerar-energia-eletrica-75>>. Acesso em: 22 abr. 2020.
4. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resolução Normativa Nº 482, de 17 de Abril de 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acesso: 01 fev. 2020.
5. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resolução Normativa Nº 875, de 10 de Março de 2020. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-normativa-n-875-de-10-de-marco-de-2020-248070610>> Acesso: 17 mai. 2020.
6. AMARAL, Nádia. Estudo sobre critérios para a especificação de transformadores elevadores de estações geradoras. 2007. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-09082007-182328/publico/Dissertacao.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2019.
7. BALARIM, Carlos. Avaliação expedida do custo de implantação de micro centrais hidrelétricas. 1996. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 1996.
8. Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul (BRDE). Informe sobre as PCH's. 2002. Disponível em: <[https://www.brde.com.br/media/brde.com.br/doc/estudos\\_e\\_pub/Informe%20Sobre%20PCHs.pdf](https://www.brde.com.br/media/brde.com.br/doc/estudos_e_pub/Informe%20Sobre%20PCHs.pdf)>. Acesso em: 06 jan. 2020.
9. BIZERRA, Ayla; QUEIROZ, Jorge; COUTINHO, Demétrios, 2018 apud BAIRD; CANN, 2011 e ROCHA, 2013. O impacto ambiental dos combustíveis fósseis e dos biocombustíveis: as concepções de estudantes do ensino médio sobre o tema. Revista brasileira de educação ambiental. V. 13, No 3: 299-315, São Paulo, 2018.
10. BORTOLETO, Elaine. A Implantação de grandes hidrelétricas: Desenvolvimento, discurso e impactos. Geografares, Vitória – ES, n. 2, 2001.
11. BOYAYAN, Miguel. Pequenas em expansão: Novas hidrelétricas de até 30 megawatts e recuperação de usinas desativadas ampliam capacidade de geração. Revista pesquisa FAPESP. Ed. 157, mar. 2009.
12. CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS (ELETROBRAS). Diretrizes para estudos e projetos de pequenas centrais hidrelétricas. Rio de Janeiro, 1982.
13. CONGRESSO NACIONAL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Política Nacional do Meio Ambiente Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm)>. Acesso em: 04 fev. 2020.
14. EPE. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2019 – ano base 2018. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio\\_2019\\_WEB.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio_2019_WEB.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2019.
15. FELIZATTO, Mauro; et al., 2017 apud James et al., 2002. II-412 – Avaliação do consumo de energia elétrica do tratamento de esgotos sanitários por reator uasb seguido de filtração por membranas submersas. Congresso ABES, FENASAN 2017. Disponível em: <<https://www.saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2019/04/II-412.pdf>>. Acesso em: 09 out. 2019.
16. FILHO, T. et al. Pequenos Aproveitamentos Hidroelétricos – Soluções Energéticas para a Amazônia. 1. ed. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.
17. GOMES, Carla. Noções de geração de energia utilizando algumas fontes de baixo impacto ambiental. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
18. GUITARRARA, G. Estimativa de vazão para a implantação de micro centrais hidrelétricas com utilização do SIG. São Carlos, 2012. Disponível em: <[https://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce/Guitarra\\_Gabriel\\_Bozzola.pdf](https://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce/Guitarra_Gabriel_Bozzola.pdf)>. Acesso em: 16 abr. 2019.

19. HIGRA. Tecnologia inovadora converte potenciais hidráulicos em energia elétrica. Disponível em: <<http://www.higra.com.br/pt-br/blog/tecnologia-inovadora-converte-potenciais-hidr%C3%A1ulicos-em-energia-el%C3%A9trica>>. Acesso em: 05 mai. 2020.
20. JAPIASSÚ, Carlos; GUERRA, Isabella. 30 anos do relatório *brundtland*: nosso futuro comum e o desenvolvimento sustentável como diretriz constitucional brasileira. Revista de Direito da Cidade, Rio de Janeiro, v. 9, p. 18, 3 set. 2017.
21. JUNIOR, Antônio. A turbina de fluxo cruzado (*Michell-Blanki*) como opção para centrais hidráulicas de pequeno porte. 2000. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-15052013-144737/publico/AntonioMelloJr.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2020.
22. KJOLE, Arne. Energia Elétrica na Noruega – equipamento mecânico. *Trondheim*, 2001. Capítulo 3 (Classificação de Turbinas – Principais Características).
23. LEMKE. Fontes alternativas de energia vão complementando cada vez mais a matriz energética brasileira. A construção de novas usinas hidrelétricas se torna cada vez mais inviável devido aos impactos ambientais e sócio-políticos que ela traz consigo. Disponível em: <<https://engenharia-sustentavel.com/usinas-hidreletricas-e-seus-impactos-ambientais/>>. Acesso em: 03 nov. 2019.
24. LIMA, R. Padronização de projetos elétricos de pequenas centrais hidrelétricas. 2002. Dissertação (Engenharia de Energia). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/34519036-Padronizacao-de-projetos-eletricos-de-pequenas-centrais-hidreletricas.html>>. Acesso em: 12 abr. 2020.
25. NBR 6445/88 - Turbinas hidráulicas, turbinas-bombas e bombas de acumulação.
26. NUEMBERG, João; SPECK, Jaison. Cálculo de potencial hidroelétrico no sistema de abastecimento de água em Siderópolis-SC. 2017. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/5908/1/Jo%C3%A3oPedroBortolottoNuernberg.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2020.
27. Protocolo de Quioto. Convenção sobre a mudança do clima. 1998. Disponível em: <[http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/Protocolo\\_Quito.pdf](http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/Protocolo_Quito.pdf)>. Acesso em: 07 out. 2019.
28. SABESP. Memória: duplicação da adutora Rio Claro em 1976 ampliou oferta de água para a região leste. 2013. <<http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticias-detalle.aspx?secaoid=65&id=5370>>. Acesso em: 18 abr. 2020.
29. SABESP. Relatório de Sustentabilidade SABESP referente ao ano de 2019. 2020. Disponível em: <[http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/relatorios\\_sustentabilidade/Relatorio\\_Sustentabilidade\\_2019\\_port.pdf](http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/relatorios_sustentabilidade/Relatorio_Sustentabilidade_2019_port.pdf)>. Acesso em: 04 mar. 2020.
30. SABESP. Sistema Rio Claro. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=31>>. Acesso em: 18 abr. 2020.
31. SILVA, Carlos. Estamos preparados para enfrentar os desafios da mudança do clima? Brasília, 2008. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/outras-publicacoes/volume-v-constituicao-de-1988-o-brasil-20-anos-depois.-os-cidadaos-na-carta-cidada/meio-ambiente-estamos-preparados-para-enfrentar-os-desafios-da-mudanca-climatica>>. Acesso: 07 out. 2019.
32. SIPOT - Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro. Eletrobras. 2012. Disponível em: <[www.eletrobras.com/elb/data/Pages/LUMIS21D128D3PTBRIE.htm](http://www.eletrobras.com/elb/data/Pages/LUMIS21D128D3PTBRIE.htm)>. Acesso em: 16 abr. 2020.
33. SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto de 2018. Disponível em: <[http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2018/Diagnostico\\_AE2018.pdf](http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2018/Diagnostico_AE2018.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2019.
34. SOSNOSKI, André. Produção de energia por mini e micro hidrelétricas na rede de distribuição de água. 2015. Disponível em: <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-03052016-141852/publico/AndreSandorKajdacsyBallaSosnoski\\_PPGEC\\_Corrigida\\_2015.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-03052016-141852/publico/AndreSandorKajdacsyBallaSosnoski_PPGEC_Corrigida_2015.pdf)>. Acesso em: 07 set. 2019.
35. SOUSA, Humberto et al. Geradores síncronos na geração de energia em pequenas centrais hidrelétricas. 2016. Disponível em: <[https://www.peteletricaufu.com/static/ceel/doc/artigos/artigos2016/ceel2016\\_artigo103\\_r01.pdf](https://www.peteletricaufu.com/static/ceel/doc/artigos/artigos2016/ceel2016_artigo103_r01.pdf)>. Acesso em: 05 mar. 2020.
36. SOUZA, Z.; FUCHS, R.; SANTOS, A. Centrais hidro e termelétricas. São Paulo: Ed. *Blücher*, 1983.
37. Tsutiya. M.T., 2006. Abastecimento de Água. 3ª Edição. São Paulo – SP. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2006.