

VIABILIDADE PARA CONSTRUÇÃO DE UMA MICRO HIDRELÉTRICA

Pedro Henrique da Rocha Costa ¹

Raphael Martins de Souza ²

Prof. Ms. Eng. Mozart Ferreira Braga Junior ³

Resumo

A partir da revolução industrial, mais especificamente a segunda, a demanda por energia elétrica na sociedade passou a ser cada vez maior, tendo em vista o surgimento e utilização de diversas máquinas e aparelhos que dela necessitam. A tendência continua, com a evolução destas tecnologias, seu uso cada vez maior em diversos equipamentos e o aumento populacional. Entretanto, no decorrer do tempo, esta necessidade foi suprida por fontes energéticas que causaram danos ao meio ambiente, os quais demoram anos para serem reparados. Portanto, é fundamental o desenvolvimento de centrais geradoras de energia elétrica, capazes de suprir esta demanda, de forma sustentável, ou seja, que não comprometa o meio ambiente para as próximas gerações. Este trabalho tem por objetivo realizar a análise técnica e econômica de uma micro central hidrelétrica e, através deste estudo, verificar a viabilidade deste empreendimento. O desenvolvimento foi realizado com aplicações práticas e revisão literária, identificando o potencial hidrelétrico, a potência efetivamente entregue à concessionária de energia, comparando-se com o faturamento do consumidor e, desta forma, verificando a energia excedente e seu abatimento na respectiva fatura de energia.

Palavras-chave: Demanda energética; Desenvolvimento sustentável; Micro Central Hidrelétrica.

Abstract

Since the industrial revolution, more specifically the second, the demand for electricity in society has been increasing, given the emergence and use of various machines and devices that need it. The trend continues, with the evolution of these technologies, their increasing use in different equipment and the population increase. However, over time, this need was met by energy sources that caused damage to the environment, which took years to be repaired. Therefore, it is essential to develop electric power generation plants, capable of supplying this demand in a sustainable way, that is, that does not compromise the environment for the next generations. This work aims to carry out the technical and economic analysis of a micro hydroelectric power plant and, through this study, verify the feasibility of this undertaking. The development was carried out with practical applications and literature review, identifying the hydroelectric potential, the power effectively delivered to the energy concessionaire, comparing it with the consumer's billing and, in this way, checking the excess energy and its deduction on the respective energy bill.

Key words: Energy demand; Sustainable development; Micro hydroelectric power plant.

¹ Rede de Ensinos Doctum – Unidade Juiz de Fora - aluno.pedro.costa1@doctum.edu.br – Graduando em Engenharia Elétrica.

² Rede de Ensinos Doctum – Unidade Juiz de Fora - aluno.rafael.martins@doctum.edu.br - Graduando em Engenharia Elétrica.

³ Rede de Ensinos Doctum – Unidade Juiz de Fora - prof.mozart.junior@doctum.edu.br - (**orientador do trabalho**)

1. Introdução

Desde a revolução industrial, mais especificamente a segunda, até os dias de hoje, a energia é um bem necessário para suprir a demanda de consumo da sociedade. Antes desta revolução, devido principalmente aos meios de produção, como o carvão para as indústrias têxteis, não havia tal necessidade, uma vez que na sociedade não havia sequer tecnologia que demandasse outro trabalho, prevalecendo o trabalho humano e o uso de energia térmica. Entretanto, com o passar do tempo, com o desenvolvimento de novas tecnologias, tais como as locomotivas movidas a vapor e as máquinas elétricas, produzindo eletricidade, de modo a proporcionar o funcionamento de outras máquinas elétricas, lâmpadas e outros serviços, até os dias atuais, impulsionando a indústria, comércio e demais setores produtivos, além do bem-estar e comodidades, desde a utilização de uma máquina de lavar, até a utilização de computadores para a elaboração de trabalhos.

Para o atendimento à crescente demanda de energia elétrica, foram desenvolvidas usinas geradoras de energia elétrica à base de combustíveis fósseis, que são restos orgânicos resultantes da decomposição de seres vivos, como plantas e animais, ao longo de milhões de anos. Como exemplo destes combustíveis pode-se citar o petróleo, o gás natural, o carvão mineral entre outros. Apesar da grande maioria da demanda energética ser atendida com este tipo de fonte, cerca de 85% [28], este uso se torna um problema, uma vez que esses recursos são limitados (após o consumo de todo o estoque disponível, seriam necessários milhões de anos para que fossem gerados novamente) e, também, por poluírem o meio ambiente demasiadamente. Estimou-se que a poluição por combustíveis fósseis ocasionou aproximadamente 20% das mortes no mundo em 2018 [4].

Entretanto, com a degradação do meio ambiente causada pelo uso dos combustíveis fósseis, e, também, por grandes usinas hidrelétricas, torna-se de grande necessidade para o desenvolvimento da sociedade e sua preservação a

utilização de fontes de energias renováveis e limpas, que são fontes inesgotáveis, sendo renovada constantemente [9], bem como fontes que não causem grandes transformações no ambiente em que serão inseridas, de modo que não cause impacto neste meio natural.

São exemplos dessas fontes: hídrica, que funciona por meio de recursos hídricos, como a água de um rio; solar, que converte a luz do sol em energia elétrica; eólica, que utiliza os ventos para a geração de energia; biomassa, utilizando restos orgânicos como força motriz entre outras.

Em consequência desta necessidade, surgem as fontes geradoras de energia de forma limpa, renovável e sustentável, dentre as quais se destacam a energia solar, eólica e a hidráulica. Apesar de serem muito recomendadas atualmente, estas fontes não estão disponíveis em todos os lugares, ou estão, contudo numa quantidade insuficiente. A energia hidráulica, por exemplo, necessita de uma disponibilidade de recursos hídricos, como rios em locais próximo, para que possa ser utilizada. A energia solar, por sua vez, requer de uma área com relativa incidência de luz solar para que possa ser um empreendimento viável. Além disso, nos casos de ambas as fontes citadas, pode acontecer a falta desses recursos em determinados períodos do ano, no caso de períodos de chuva e tempo nublado, acarretando a redução natural da luz solar, bem como os períodos de estiagem, ocasionando na redução da água dos rios.

O desenvolvimento de pequenas e/ou micro centrais hidrelétricas são empreendimentos fundamentais para o desenvolvimento sustentável, devido aos moderados custos de instalação e baixo impacto.

O objetivo deste trabalho consiste no estudo da viabilidade técnica para construção de uma usina caracterizada como micro central hidrelétrica, com base em estudos e artigos relacionados, revistas, monografias, projetos práticos entre outros.

Em decorrência de todos os impactos acima citados, o desenvolvimento sustentável é tema de prioridade de estudos atualmente. As consequências do uso irrestrito de fontes energéticas fósseis estão cada vez maiores, com o aumento da temperatura média do planeta, mortes de seres vivos e a baixa qualidade de vida da sociedade. Portanto, esta pesquisa contribui significativamente para o desenvolvimento de novas tecnologias sustentáveis.

O método utilizado para o objetivo deste trabalho foi a pesquisa bibliográfica aliada à pesquisa de campo, uma vez que é um trabalho prioritariamente teórico, entretanto sendo necessários dados que serão obtidos de forma prática. Foi utilizado o procedimento quantitativo, de natureza aplicada, exploratório e indutivo.

O presente trabalho de conclusão de curso apresenta-se em: resumo, objetivos gerais e específicos, introdução, referencial teórico, metodologia científica e conclusões.

2. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal viabilizar o projeto de construção de uma micro usina hidrelétrica, abordando aspectos ambientais e econômicos.

3. Objetivo Específico

Identificar o potencial hidráulico em um curso d'água, localizado em uma propriedade rural no município de Maripá de Minas, no estado de Minas Gerais, e a capacidade de energia elétrica produzida pela micro usina hidrelétrica;

Apresentar os cálculos para produzir energia elétrica firme, considerando as suas perdas, e seu abatimento na fatura de energia.

4. Referencial Teórico

4.1. Aproveitamento de recursos hídricos

A Constituição Federal da República Federativa do Brasil de 1988 (CF) estabeleceu a água como sendo um bem público, de propriedade ou da União ou dos estados [6]. Foi criada a lei federal 9433, de 1997, dispondo sobre a regulamentação do uso da água em âmbito nacional, e a lei 13.199, de 1999, do estado de Minas Gerais, regulando o uso da água no âmbito de seu território. Segundo a política nacional de recursos hídricos, independem de outorga do poder público o uso de recursos hídricos para o benefício de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural; as derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes; as acumulações de volumes de água consideradas insignificantes [21].

Para a utilização de recursos hídricos com o fim de geração de energia elétrica, a outorga para seu uso fica condicionada à adequação ao Plano Nacional de Recursos Hídricos, bem como ao cumprimento de legislação setorial específica [23].

4.2. Geração Distribuída (GD)

O sistema de compensação de energia elétrica [27], no qual a energia ativa injetada na rede pela unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida à rede de distribuição da concessionária local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa. Por sua vez, a energia injetada é o montante de energia ativa fornecida ao sistema de distribuição pela unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída. O excedente de energia é averiguado pela diferença positiva entre a energia injetada e a consumida da rede de distribuição. O crédito de energia é o excedente de energia não utilizado no ciclo do faturamento em que foi gerado, sendo aproveitado nos subsequentes [32].

O conceito de mini ou microgeração é uma central geradora de energia, com potência menor ou igual a 75 kW, e que utiliza fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras [33].

A unidade consumidora com mini ou microgeração deve celebrar o Acordo Operativo ou Relacionamento Operacional, acordo, celebrado entre acessante acessada, que descreve e define as atribuições, responsabilidades e o relacionamento técnico-operacional do ponto de conexão e instalações de conexão, quando for o caso, e estabelece os procedimentos necessários ao Sistema de Medição para Faturamento e a potência da microgeração distribuída fica limitada à potência disponibilizada para a unidade consumidora onde a central geradora será instalada [32].

4.3. Procedimentos para implementação de Geração Distribuída

Para que se obtenha o acesso ao sistema de distribuição, é necessária uma solicitação junto à distribuidora titular da concessão da área geográfica onde se

localiza a instalação do acessante. Ademais, os procedimentos de acesso devem atender ao padrão de indicadores de desempenho e de qualidade do serviço de distribuição, de modo a assegurar a segurança e eficiência do sistema. A distribuidora deve disponibilizar todas as informações inerentes à prestação de serviço aos clientes [29].

O Sistema de Compensação de Energia Elétrica, no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com mini ou micro GD é cedida à distribuidora local e, posteriormente, compensada com o consumo de energia ativa, é necessário cumprir as seguintes etapas: solicitação de acesso, emissão de parecer, compra/ instalação da geração, conexão à rede de distribuição, realização de vistoria. As análises técnica e de documentação serão feitas logo após o procedimento relativo à solicitação de acesso, com a aprovação ou reprovação caso os requisitos sejam ou não atendidos, bem como a necessidade ou não de obras. O parecer de acesso é resultante da solicitação e contém as condições técnicas e comerciais, além dos requisitos para a conexão com a rede. Durante o procedimento de solicitação para a implementação do microssistema ligado à rede, é necessária a coordenação da proteção, etapa que se verifica a melhor maneira de se isolar a falta para que outros usuários não sejam prejudicados; bem como a análise da confiabilidade do sistema, na qual são analisados todos os impactos do acessante aos dispositivos de proteção [7].

4.4. Micro Usina Hidrelétrica

Micro Central Hidrelétrica (MCH) é uma alternativa tecnológica importante para a produção de energia elétrica de forma sustentável, aproveitando a vazão e as quedas dos cursos hídricos (desnível hídrico), sem provocar interferências no ecossistema. Tecnicamente, a MCH funciona aproveitando um pequeno recurso hídrico (energia potencial e cinética das águas) para a produção da energia elétrica e, para tanto, são instaladas próximas aos cursos d'água. O princípio de funcionamento da MCH correlaciona a vazão d'água, em litros por segundo, com o desnível hidráulico, em metros, e prevê a capacidade de produção máxima teórica, em kWh/mês, de energia elétrica [22].

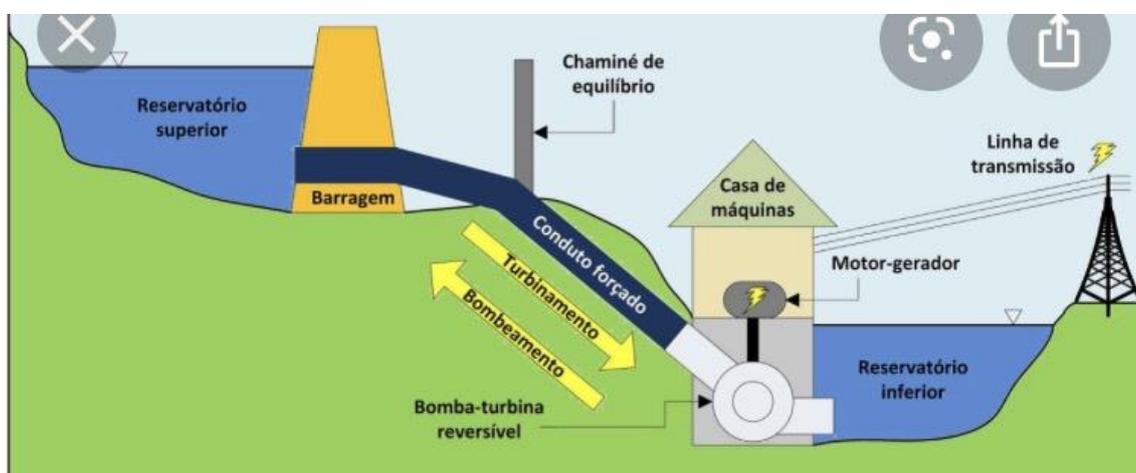
4.5. Funcionamento da usina hidrelétrica

O funcionamento de uma pequena hidrelétrica é semelhante ao de uma usina de grande porte [3]. Segundo Pereira [31], os componentes para a construção de uma hidrelétrica são:

- Uma barragem, que fecha o rio para criar uma carga hidráulica;
- Uma estrutura de tomada d'água, um conduto forçado e uma casa de máquinas (onde ficará o gerador);
- Um canal de fuga, pelo qual se restitui a água da turbina para o seu curso natural no rio.

A Figura 1 mostra o entendimento sobre o funcionamento da hidrelétrica:

Figura 1: Funcionamento da Hidrelétrica



Fonte: pt.quora.com

O reservatório é feito através de uma barragem, para criar a carga hidráulica. Os dutos direcionam a água do reservatório para as turbinas, controlando, por meio do seu diâmetro, a velocidade da água. As turbinas são alimentadas pela água e fazem com que o rotor do gerador gire, dessa forma criando um campo magnético girante no gerador, convertendo a energia cinética da água, antes potencial, em energia elétrica [3]. Após o gerador, há o canal de fuga para a água voltar ao rio [31]. A altura total de queda é igual à diferença da altura entre o reservatório e do canal de fuga [31].

É necessário levar em conta, para fins econômicos e viabilidade, a curva de permanência de vazões (CPV) que, segundo Costa e dos Santos [8], é a relação entre a vazão e a frequência com que esta vazão é superada ou igualada, sendo

que o método para a descoberta da CPV pode ser diário, mensal ou anual. Através da CPV, pode-se encontrar a potência hidráulica de uma seção fluvial (apud Tucci, 2012).

4.6. Energia potencial gravitacional e energia cinética

De acordo com Young e Freedman [37], a importância do conceito de energia reside no princípio da conservação de energia: a energia pode ser convertida de uma forma para a outra, porém não pode ser criada nem destruída. O trabalho é o ato de transferir energia [19] e é definido pela Equação 1:

$$W = \int_{x_1}^{x_2} F dx \quad [1]$$

Onde: W é o trabalho realizado expresso em Joule (J), F é a força aplicada sobre um objeto em kilograma-força (kgf), d é a distância (m) que este objeto percorre com a força aplicada e x_1 e x_2 são as posições iniciais e finais do objeto (m) conforme Young e Freedman [37].

A energia cinética, por sua vez, é a energia associada ao estado de movimento de um objeto [19] e é definida pela Equação 2:

$$E_C = \frac{1}{2} m v^2 \quad [2]$$

Onde: E_C é a energia cinética do objeto (J), m é sua massa (kg) e v sua velocidade (m/s), respectivamente [37].

O trabalho e a energia cinética se relacionam por meio do teorema trabalho-energia, fazendo adaptações nas equações do trabalho e da energia, constituindo a equação do teorema trabalho-energia da seguinte forma, Equação 3:

$$W_T = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 \quad [3]$$

Onde: W_T é o trabalho total (joule), m é a massa do objeto (Kg), v_1 , sua velocidade inicial e v_2 sua velocidade final (m/s) [38].

Ao longo de uma trajetória, um trabalho é realizado por uma força resultante, igual ao aumento da energia cinética da partícula [36].

Por fim, a potência é, basicamente, a taxa temporal da realização de um trabalho e é dada pela Equação 4:

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta T} \quad [4]$$

Onde: P é a potência (W), Δw é a variação do trabalho num período (J) e Δt é a variação do tempo no mesmo período (s).

Diferentemente da energia cinética, a energia potencial gravitacional está associada à posição do objeto, haja vista existir um potencial sobre este corpo que pode ser convertido em outros tipos de energia, como a cinética [38].

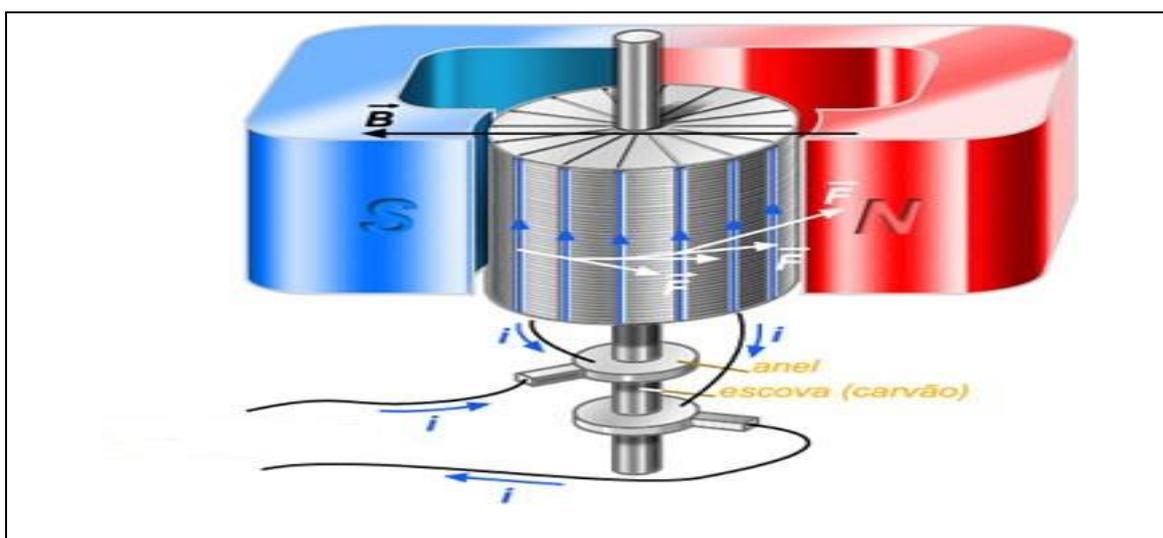
A energia hidráulica, que é obtida pelo aproveitamento da energia potencial gravitacional da água [10], é a base para produção de eletricidade, a energia potencial gravitacional da água está armazenada na represa. Mas com a necessidade de expansão na geração de energia elétrica, estima-se que 37% será pela força da água. E tudo indica que a principal matriz continuará sendo a hidráulica [20].

Para geração de eletricidade, a energia cinética advinda da água é convertida pela turbina. Com esse movimento rotacional a energia cinética é convertida em energia elétrica pelo gerador [20].

4.7. O gerador

A máquina elétrica tem a função de converter energia elétrica em mecânica ou energia mecânica em elétrica. Se ela for usada para converter a energia mecânica em elétrica, a máquina será chamada de gerador. Essa conversão é exercida pelo campo magnético [5].

Figura 2: Máquina elétrica



Fonte: brasilescola.com

A figura 2 mostra o princípio básico de funcionamento de uma máquina elétrica, que consiste em um ímã estacionário, que irá produzir um campo magnético constante e uniforme, e dentro desse campo uma espira de fio condutor em rotação. O rotor é denominado a parte rotativa da máquina e o estator é a parte estacionária [5].

A Lei de Faraday diz que, em um campo magnético, o seu fluxo variando através de um material condutor, surge uma corrente elétrica por meio de indução eletromagnética. Graças a descoberta de Michael Faraday em 1831, que foi possível produzir energia elétrica [17].

5. Metodologia

Este capítulo tem como finalidade apresentar o estudo para a viabilidade do projeto relativo à construção de uma micro central hidrelétrica, bem como os cálculos estimados referentes ao potencial possível de ser obtido da fonte hídrica e o seu aproveitamento energético, levando em consideração os materiais utilizados e seus respectivos custos, visando, também, a alternativas economicamente mais viáveis, sem comprometer sobremaneira a eficiência da usina, objetivando a máxima exploração da geração.

5.1. Abordagem

A abordagem da pesquisa ocorreu de forma quantitativa, obtendo-se dados estimados, em relação à energia potencial, energia gerada pelo gerador, considerando a eficiência do gerador utilizado.

5.3. Objetivos

O objetivo desta pesquisa é demonstrar a viabilidade da construção de uma micro central hidráulica, levando em conta seus aspectos que impactam diretamente no valor da energia gerada, como o gerador e a turbina. Calcular o potencial elétrico gerado e o quanto, efetivamente, o gerador poderá entregar à rede de distribuição, avaliando-se diferentes componentes dentro de aspectos de eficiência e economicidade.

5.4. Procedimento técnico da pesquisa

Para fomentar o embasamento teórico, utilizou-se da pesquisa em artigos, revistas, livros, uma pesquisa de campo e outros materiais afins para fazer a avaliação da viabilidade da implementação da MCH, considerando as variáveis como território, disponibilidade do recurso hídrico no local.

5.5. Método científico

Trata-se de uma pesquisa sobre viabilidade, através da combinação teórica, com análise de artigos, bem como medições acerca dos valores das variáveis levadas a cálculo, a fim de analisar a contribuição energética possível de se obter de um córrego para um sítio situado às margens deste.

6. Procedimento para o cálculo da vazão

A vazão, ou fluxo volumétrico, é o volume de um fluido que escoar numa seção de um conduto a uma velocidade, conduto este que pode ser um rio, lago ou córrego. Para a determinação do fluxo, por sua vez, são necessárias as variáveis relacionadas a: área da seção do córrego, velocidade atingida pelo fluido e o fator de correção, que é uma constante que considera as perdas de velocidade do líquido, similar ao atrito, levando em conta a rugosidade das paredes do córrego, sendo o seu valor, no caso das paredes pertencentes ao objeto de estudo, entre 0,65 e 0,75. A vazão é dada pela Equação 5:

$$Q = F_c \times A \times v \quad [5]$$

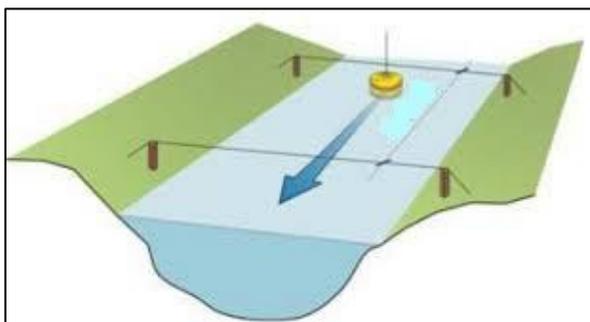
Onde: Q é a vazão (l/s), F_c é o fator de correção, A é a área (m²) e v é a velocidade (m/s). O cálculo da área depende dos valores de sua largura e comprimento, bem como, no caso da velocidade, da profundidade.

6.1. Velocidade de fluidez da água

Para a obtenção da velocidade, foi utilizado, dentre os métodos existentes, o do flutuador, que consiste em afixar 4 estacas, sendo duas em cada margem, e medindo-se o comprimento entre cada um dos dois pares, para identificar o comprimento do trecho a ser percorrido pelo flutuador.

A figura 3, por conseguinte, ilustra o método do flutuador:

Figura 3: Método do Flutuador



Fonte: electricalelibrary.com

A figura 4 ilustra o curso d'água no local de pesquisa do trajeto e as linhas de comprimento utilizadas nas margens.

Figura 4 – Linhas do comprimento do trajeto



Fonte: Autores, 2021

Após esta etapa, lança-se o flutuador, que é um recipiente preenchido com, ao menos, 25% de sua capacidade volumétrica, ao córrego em uma das linhas transversais, e cronometra-se o tempo decorrido até que este alcance a linha subsequente. A Equação 6 apresenta a velocidade encontrada:

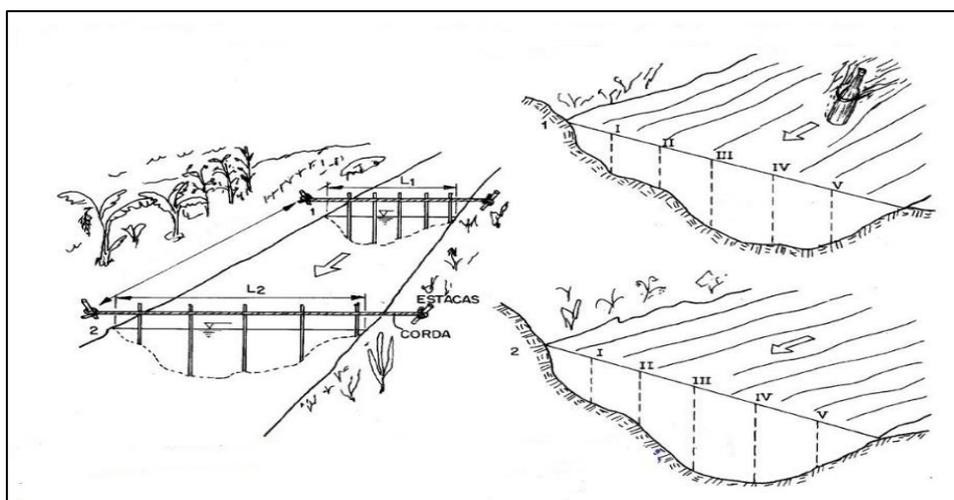
$$v = \frac{d}{t} \quad [6]$$

Onde: v é a velocidade (m/s), d é a distância percorrida (m) e t é o tempo decorrido (s).

6.2. Medição da seção transversal do curso d'água

Para este cálculo, utilizaram-se os mesmos trechos das linhas transversais do método do flutuador. Abaixo destas, a seção formada de uma margem à outra foi dividida em 5 partes, medindo-se, logo depois, a profundidade de cada uma. Realizou-se o mesmo processo para a margem subsequente, resultando em 10 pontos de profundidade, apresentado na figura 5.

Figura 5: Seção transversal do córrego



Fonte: slideplayer.com

Este procedimento é necessário para a maior precisão dos resultados, tendo em vista a irregularidade de cada trecho de profundidade córrego, sob a perspectiva de sua largura. Após os resultados de profundidade encontrados, realizou-se a média entre eles, pela seguinte equação:

$$P_M = \frac{P_1 + \dots + P_{10}}{10} \quad [7]$$

Onde: P_M representa a profundidade média (m), $P_1 + \dots + P_{10}$ representa o somatório das profundidades encontradas (m) e o numerador, o total de partes a ser dividida.

Ato contínuo, com os dados da profundidade média, calculou-se a área da seção transversal do córrego pela Equação 8:

$$A_{ST} = P_M \times L \quad [8]$$

Onde: A_{ST} é a área da seção transversal do córrego (m^2), P_M é a profundidade média (m) e L é largura de uma linha transversal à outra do córrego.

7. Potência gerada

A potência possível de ser obtida, considerando as grandezas citadas nos tópicos anteriores, é dada pela Equação 9:

$$P = d \times h \times g \times Q \quad [9]$$

Onde: P é a potência (W), d é a densidade da água (kg/m^3), h é a altura da queda d'água (m), g é a gravidade (m/s^2) e Q é a vazão (L/s).

8. Potência efetiva

Considerando os efeitos de perdas de potência, as quais ocorrem naturalmente em qualquer sistema, devido a fatores naturais como atritos, efeito Joule e perdas mecânicas, a potência efetivamente entregue pelos motores se dá pela Equação 10:

$$P_{ef} = P_{inst} \times \eta_s \quad [10]$$

Onde: P_{ef} é a potência eficaz (W), P_{inst} é a potência injetada no motor (W) e η_s é a eficiência total do sistema.

É importante ressaltar que, uma vez que a micro central hidráulica dispõe de diversos componentes para seu funcionamento, como a turbina, o motor a ser utilizado, o próprio canal que transporta a água à usina, para o cálculo da eficiência total são levados em conta as eficiências que compõem este sistema, que são: η_h , η_t , η_m , η_g e η_e , sendo estes indicadores, respectivamente, das eficiência do sistema hidráulico (como a turbina e o canal), da turbina, da transmissão mecânica, do gerador e da transmissão elétrica (Hidro GD, 2021).

A eficiência total do sistema, apresentada na Tabela 1, pode ser obtida, multiplicando-se todos estes fatores, demonstrando a eficiência total aproximada de acordo com a potência instalada.

Tabela 1 - Eficiência Total Aproximada

Potência instalada (kW)	η_s aproximada
Até 2,5	0,50
Acima de 2,5 até 6	0,55
Acima de 6 até 15	0,60
Acima de 15 até 35	0,65
Acima de 35 até 80	0,70
Acima de 80 até 200	0,75
Acima de 200 até 500	0,80
Acima de 500	0,85

Fonte: hidro.gd.com

9. Impacto no consumo do proprietário

Com o fim de medição do impacto no consumo do proprietário, são necessários os demonstrativos dos consumos relativos aos 12 meses anteriores à implementação da micro central. Sendo estes obtidos na fatura de energia, faz-se sua média aritmética, de modo a obter o consumo médio mensal, conforme a Equação 11:

$$D_{média} = \frac{C_1 + C_2 + \dots + C_{12}}{12} \quad [11]$$

Onde: $D_{média}$ é a demanda média mensal, C é o consumo.

Em seguida, com a demanda média, é possível a obtenção da demanda da geração, por meio da Equação 12:

$$D_{geração} = D_{média} - D_{mín.} \quad [12]$$

Onde: $D_{geração}$ é a quantidade necessária de energia a ser gerada pela usina, em kWh, e $D_{mín.}$ é o valor mínimo cobrado pela concessionária local de acordo com a ligação que há no local, também em kWh.

É necessário auferir o consumo diário do usuário, o que é feito por meio da Equação 13:

$$D_{diário} = \frac{D_{média}}{30} \quad [13]$$

A geração diária, que é a quantidade de energia gerada pela usina por dia, é encontrada utilizando-se a Equação 14:

$$G_{diária} = P_{ef} \times 24h \quad [14]$$

Onde: $G_{diário}$ é a geração diária, dada em kWh.

Por fim, para que se averigue a diferença entre o que foi gerado pela usina e o que foi consumido pelo usuário, realiza-se a diferença entre ambos os valores, conforme a Equação 15:

$$E_{diário} = G_{diário} - D_{diário} \quad [15]$$

Onde: $E_{diário}$ é a diferença, que pode resultar em excedente, dado em kWh.

10. Resultados obtidos

Para efeito dos resultados quanto ao potencial energético possível de ser obtido, foram levados em consideração fatores inerentes ao local de implantação, tais como as dimensões do córrego, velocidade da água, períodos de estiagem e cheia, bem como a média das variações de precipitação de chuvas no decorrer dos anos no local.

Utilizando-se o método do flutuador, baseado em três medições de igual modo, visando à maior precisão quanto aos valores, foi obtida a velocidade média da água no córrego, aplicando-se os valores de 5 m de distância e tempo de 14,86 segundos aproximadamente, pela Equação 15:

$$v = \frac{d}{t} = \frac{5}{14,86} = 0,3364 \text{ m/s} \quad [16]$$

Para a seção transversal, por sua vez, tendo em vista os aspectos relativos à profundidade do córrego, com variados desníveis, foi obtido o valor de 0,227 metros para a profundidade média, conforme a Equação 16:

$$P_M = \frac{0,15+0,20+0,30+0,25+0,20+0,16+0,21+0,33+0,28+0,19}{10} \quad [17]$$

Com este dado, e com o valor do L medido de 1,5 m, obteve-se o valor de 0,3405 m² para a área da seção transversal, de acordo com a Equação 17.

$$A_{ST} = 0,227 \times 1,5 = 0,3405 \text{ m}^2 \quad [18]$$

Com os dados referentes à velocidade e área da seção transversal, foi possível a obtenção da vazão do córrego, cujo valor foi de $0,07445 \text{ m}^3/\text{s}$, levando-se em conta o fator de $0,65$ atribuído ao fator de correção, para a prevenção de uma geração abaixo do projetado, seguindo-se a Equação 5:

$$Q = 0,65 \times 0,3405 \times 0,3364 = 0,07445 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para efeito do cálculo da potência, a altura máxima possível de ser alcançada no local, para a queda d'água do reservatório, de modo que seja economicamente viável, é de $1,5 \text{ m}$. Para chegar nesse valor de altura da queda, foram feitas medições no local, e tomado pontos para referência, como a altura do baranco de ambas as margens e o desnível do terreno. Aplicando-se este valor com o da gravidade, que corresponde a, aproximadamente, $9,8 \text{ m/s}^2$, e com a densidade da água, 997 kg/m^3 , obteve-se uma potência instalada equivalente a $1,091 \text{ kW}$, conforme a Equação 9:

$$P = 997 \times 1,5 \times 9,8 \times 0,07445 = 1,091 \text{ kW}$$

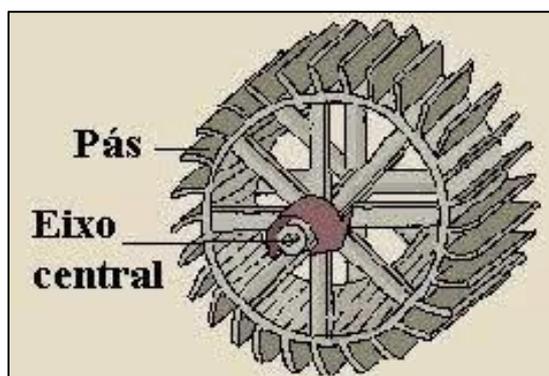
. Considerando as perdas do sistema geração, utilizou se a Equação 10 para obter a potência efetiva, que foi de $0,545 \text{ kW}$:

$$P_{ef} = 1,091 \times 10^3 \times \eta_s = 0,545 \text{ kW}$$

10.1. Definição da turbina

A roda d'água é um dispositivo usado desde à Grécia Antiga, até os dias atuais, sendo aperfeiçoada ao longo dos anos. Utilizada para a geração de energia, aproveitando o recurso hídrico disponível, constituída basicamente de madeira ou metal (MUSEU WEG, 2021). A figura 7 ilustra como é basicamente uma roda d'água:

Figura 7: *Roda d'água*



Fonte: cepa.if.usp.br

A sua estrutura consiste em um formato radial, com as pás em formato de concha, colocadas às extremidades, para captar a força da água e obter um movimento circular, que por meio de uma correia acoplada ao seu eixo, sendo transmitida ao gerador (MUSEU WEG, 2021). Tendo em vista que este projeto atende a uma área cuja altura da queda é de 1,5 metros, a roda d'água se mostra mais eficaz para o projeto, além de possuir relativamente um menor custo financeiro. Devido as condições geográficas do local onde será construída a micro central, essa altura da queda d'água foi considerável para que não haja danos ao ambiente em questão. Por ser um terreno relativamente plano, uma barragem com altura superior a esta, conseqüentemente terá uma área alagada maior, também um custo mais elevado com a parte estrutural para conter um grande volume de água. E essa altura proposta, o represamento da água será menor e mais viável sem que interfira no ecossistema local.

10.2. Definição do gerador

Levando em conta a potência obtida com a queda d'água e a vazão do córrego, considerando, também, as eficiências dos componentes que envolvem o sistema, optou-se por um gerador síncrono, monofásico, de 0,5 HP de potência, 60 Hz e fator de potência de 0,82.

No gerador síncrono, a frequência da corrente produzida se mantém com valor proporcional à frequência de rotação do motor, e, quando funcionando em regime permanente senoidal, mantém a velocidade constante [35]. Por possuir alta eficiência, a sua utilização abrange desde as micro centrais até grandes centros produtores de energia elétrica no país [35].

10.3. Abatimento na fatura de energia

Para verificar os benefícios financeiros deste empreendimento, adotou-se um comparativo de consumo dos doze últimos meses referentes a média anual, resultando em um valor de 250 kWh/mês. Aplicou-se a equação [9]:

$$D_{média} = \frac{240+243+260+250+235+239+248+270+255+249+260+258}{12} = 250 \text{ kWh/mês}$$

A concessionária de energia cobra um valor mínimo de acordo com a ligação que há no local da implantação do projeto em geração distribuída. O sítio dispõe de uma alimentação monofásica em 127v, fase e neutro, diante disso, esse valor

será de 30kWh por mês. Esse valor mínimo, por sua vez, será subtraído da média mensal de consumo, conforme a Equação [10]:

$$D_{geração} = 250kWh - 30kWh = 220 kWh$$

Logo, para o dimensionamento, será utilizado o valor de 220 kWh/mês.

Com estes valores, aplica-se a equação [11], para que se chegue ao valor do dimensionamento do consumo diário:

$$D_{diário} = \frac{220kWh/mês}{30} = 7,4kWh/dia$$

Com um valor de 7,4 kWh/dia obtidos, que corresponde a uma média diária, para atender essa demanda, será utilizado um gerador síncrono de 0,5 HP, que equivale a uma potência de 0,372 kW. Para atingir a geração diária da micro usina hidrelétrica, multiplicou-se a potência do gerador por 24h, conforme a Equação [12]:

$$G_{diária} = 0,372kW \times 24h = 8,9kWh/dia$$

A geração diária será de 8,9kWh/dia, produzido pelo recurso hídrico do local. Logo, tendo sido observados estes dados, foi possível o abatimento total da energia consumida e obtendo-se um excedente diário de 1,5kwh/dia. Chegou-se a esse valor subtraindo a geração diária pelo dimensionamento diário, de acordo com a Equação [13]:

$$E_{diário} = 8,9kWh - 7,4kWh = 1,5 kWh/dia$$

11. Considerações finais

Este trabalho apresentou um estudo de viabilidade da construção de uma micro usina hidrelétrica, e o possível aproveitamento energético de se obter no pequeno riacho situado nesta localidade, analisando o custo deste investimento e seu retorno para o empreendedor. Observou-se que, com os dados em questão, foi possível obter um excedente de energia quanto ao que é consumido, demonstrando a viabilidade do empreendimento.

A micro central hidrelétrica apresentou baixos níveis de impactos ambientais, haja vista que a sua implementação dispensa a reforma em relação à estrutura do local onde será implementada ou a exige sem modificação significativa.

Contudo, o projeto em questão pautou-se em alguns dados estimados quanto aos componentes construtivos da usina, como a turbina e o gerador do projeto para analisar o seu real potencial energético, com os valores reais de todas as variáveis levadas em conta para efeito de cálculos, exceção feita à demanda média mensal e as medidas de vazão e área da seção transversal do curso d'água.

Outrossim, o nível de profundidade médio do curso d'água foi medido no período considerado como de estiagem, ou seja, um período prolongado de baixos índices pluviométricos. Para que sejam considerados mais fiéis ao longo do tempo, seriam necessárias medições ao longo do ano para chegar no valor médio de profundidade e, assim, no valor médio de produção de energia possível de ser obtido.

Diante dos resultados apresentados, tendo a micro central hidráulica produzindo energia elétrica diária que supere a demanda média diária do consumidor, excedente este correspondente a 1,5 kWh/dia.

Considerando o faturamento do cliente numa residência diversa da qual está instalada a micro central no valor de 273,35 R\$, referente ao consumo de 250kWh/mês, é possível o abatimento deste faturamento com esta energia excedente, sendo este valor de 234,55 R\$. Há de se lembrar a possibilidade do autoconsumo remoto na modalidade de geração distribuída. Será cobrado um valor mínimo mensal de 38,80 R\$, referente a 30kWh/mês cobrado pela distribuidora de energia local, pelo tipo de alimentação de energia da propriedade, que é monofásica, em 127V, fase e neutro.

Tendo em vista os aspectos abordados, percebe-se que a micro central é um investimento viável, tanto no aspecto técnico, devido à estrutura local favorável à sua instalação, sem necessidade de transformação do ambiente, como no aspecto econômico, uma vez que, no caso objeto de estudo, a geração foi capaz de atender à demanda média mensal, excedendo-se este valor, inclusive, possibilitando o uso destes créditos num prazo de 60 meses.

Referências

- [1] Agência Nacional de Energia Elétrica. *Geração Distribuída*. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>. Acesso em: 18/04/2021.
- [2] Agência Nacional de Energia Elétrica. *Micro e Mini Geração Distribuídas*. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>. Acesso em: 13/07/2021.
- [3] ALBARELLO, Leonardo. *Guia Para Implantação de Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs*. Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Cauduro. TCC (Pós – Graduação) - Apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, UFSM. Panambi, Rio Grande do Sul, 2014.
- [4] Burrows, Leah. Deaths from fossil fuel emissions higher than previously thought. Disponível em: <https://www.seas.harvard.edu/news/2021/02/deaths-fossil-fuel-emissions-higher-previously-thought>. Acesso em: 10 de agosto de 2021 às 19:30.
- [5] CHAPMAN, Stephen J.; *Fundamentos de Máquinas Elétricas*, e. 5. Porto Alegre, 2013.
- [6] Cruz, J. S.; Tucci, C. E. M. *Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, v. 13, e. 01, p. 111-124, Jan/ Mar 2008.
- [7] Companhia Energética de Minas Gerais. *Cartilha Microgeração Distribuída*. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/mini-e-microgeracao-distribuida/>. Acesso em: 15/07/2021.
- [8] COSTA, Faria Thaís; SANTOS, S. F. Ivan. *Análise do impacto da metodologia de construção da curva de permanência de vazões sobre os benefícios ótimos de uma central hidrelétrica*. XII Conferência de Pequenas Centrais Hidrelétricas, Universidade Federal de Itajubá, 2018.
- [9] EPE-Empresa de Pesquisa Energética. *De onde vem a energia que nós utilizamos?* Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>. Acesso em: 04/06/2021.
- [10] Esfera Blog. *O que é energia hidráulica e como funciona a principal fonte energética do Brasil?* Disponível em: <http://esferaenergia.com.br/blog/o-que-e-energia-hidraulica/>. Acesso em: 28 de julho de 2021.
- [11] Figura 1. *Funcionamento de uma Hidrelétrica*. Disponível em: <https://pt.quora.com/Como-funciona-uma-usina-hidrel%C3%A9trica>. Acesso em: 09/12/2021.
- [12] Figura 2: *Máquina Elétrica*. Disponível em: <https://s1.static.brasilecola.uol.com.br/be/e/Esquema%20de%20funcionamento%20de%20um%20motor%20eletrico.jpg>. Acessado em: 22/07/2021, às 20:50h.[14] Figura 3: *Método*

do flutuador. Disponível em: <https://electricalelibrary.com/2019/10/26/5-metodos-de-medicao-de-vazao-dos-rios/>. Acesso em: 14/09/2021, às 16:50.

[13] Figura 4: *Linhas do comprimento do trajeto. Autores.*

[14] Figura 5: *Seção transversal do córrego.* Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/5649912/6/images/4/2.1+-+M%C3%A9todo+do+Flutuador+Laranja%2C+garrafa+%283%2F4+de+%C3%A1gua%2C+etc.%29+A1.+A2.+Escolher+um+trecho+reto+do+rio+%28x+%3D+5+a+10m%29%3B.jpg>. Acessado em: 14/09/2021 às 19:55h.

[15] Figura 6. *Eficiência Aproximada.* Disponível em: <http://hidro.gd/calculando-a-energia-gerada/>. Acessado em: 03/10/2021 às 15:37h.

[16] Figura 7: Roda d'água. Disponível em: <http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo2B/Hidraulica/roda.htm>. Acessado em: 11/10/2021, às 19:40h.

[17] HELERBROCK, Rafael. *Lei de Faraday.* Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/lei-faraday.htm>. Acessado em: 22/07/2021, as 21h

[18] HIDRO GD. *Calculando a energia gerada.* Disponível em: <http://hidro.gd/calculando-a-energia-gerada/>. Acessado em: 03/10/2021 às 15:50h.

[19] Instituto de Física Gleb Wataghin. Física Geral I, e. Aula 7 – Energia Cinética e Trabalho. São Paulo, 2011.

[20] ITAIPU BINACIONAL. *Energia Hidráulica.* Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/energia/energia-hidraulica>. Acessado em: 22/07/ 2021.

[21] Lei Federal nº 4933, de 8 de janeiro de 1997. *Institui a política nacional de recursos hídricos e cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos. Diário oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF.*

[22] LIMA, Diego Roberto Sousa. *Micro Central Hidrelétrica: como funciona, vantagens e benefícios.* Disponível em: <https://oakenergia.com.br/blog/micro-central-hidreletrica-como-funciona-vantagens-e-beneficios/>. Acesso em: 20/07/2021.

[23] Lei Estadual 13.199, de 29 de janeiro de 1999. *Dispõe sobre a Política Estadual de uso de recursos hídricos. Diário do Executivo, Minas Gerais.*

[24] MUSEU WEG. *História da roda d'água e sua importância para nosso desenvolvimento.* Disponível em: <https://museuweg.net/blog/historia-da-roda-dagua-e-sua-importancia-para-nosso-desenvolvimento/>. Acessado em: 11/10/2021 às 20:12h.

[25] NORMA DE DISTRIBUIÇÃO 5.30. *Fornecimento de Energia Elétrica em Média Tensão Rede de Distribuição Aérea ou Subterrânea.* Item 2.9 – Geração Própria. CEMIG, 2020.

[26] NORMA DISTRIBUIÇÃO 5.31. *Requisitos Para Conexão de Acessantes Produtores de Energia Elétrica ao Sistema de Distribuição da Cemig D – Média Tensão*. Item 8.7. Requisitos Técnicos. CEMIG, 2020.

[27] NORMA TÉCNICA 78/2019. *Alteração das Resoluções Normativas nº 482, de 17 de abril de 2012 e nº 414, de 9 de setembro de 2010, e aprovação da revisão do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST*. ANEEL, 2019.

[28] NOVACANA. *Demanda por combustível fóssil terá golpe histórico por impactos da covid-19, diz BP*. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/mercado/gasolina/demanda-combustivel-fossil-golpe-historico-impactos-covid-19-bp-140920>. Acesso em: 03/06/2021.

[29] PROCEDIMENTOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL MÓDULO 3. *Acesso ao sistema de distribuição*. ANEEL, 2017.

[30] OLIVEIRA, Igor E. R.; Santos, Lucas V. L. dos; Silva, Paulo H. G. da. *A importância do desenvolvimento sustentável: trabalhando os conceitos com atitudes práticas*. Disponível em: <https://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/view/4427>. Acesso em: 28 de julho de 2021.

[31] PEREIRA, Magela Geraldo. *Projetos de usinas hidrelétricas passo a passo*. ed. 1. São Paulo. Oficina de Textos, 2015.

[32] RESOLUÇÃO NORMATIVA 482/2012. *Geração Distribuída*. ANEEL, 2012.

[33] RESOLUÇÃO NORMATIVA 687/2015. *Microgeração Distribuída*. Aneel, 2015.

[34] SIENCIE DIRECT. *Global mortality from outdoor fine particle pollution generated by fossil fuel combustion: Results from GEOS-Chem*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935121000487>. Acesso em: 03/06/2021.

[35] TECNOGERA. *Quais as diferenças entre um gerador síncrono e assíncrono?* Disponível em: <https://www.tecnogera.com.br/blog/quais-as-diferencas-entre-um-gerador-sincrono-e-assincrono>. Acessado em: 11/10/2021 às 21:49h.

[36] VILLATE, Jaime E.; *Dinâmica e sistemas dinâmicos*. e. 6. Trabalho e Energia. Porto Alegre, 2019.

[37] YOUNG, D. Hugh; Freedman, A. Roger. *Física I Mecânica*, e. 12. Energia Cinética, p. 181 – 187. São Paulo, 2008.

[38] YOUNG, D. Hugh; Freedman, A. Roger. *Física I Mecânica*, e. 12. Energia Potencial Gravitacional, p. 213 – 215. São Paulo, 2008.

