

Received:
December 27, 2022

Accepted:
April 03, 2023

Published:
April 30, 2023

Technical Study of Economic Feasibility of Deploying a Wind Generator on the JK Campus

Lis Silva Mota Cristianismo¹ , Marcelino Serreti Leonel¹ , Thais Pereira França¹ 
Thiago Parente Lima¹ , Ulisses Barros de Abreu Maia¹ , Wellberth Amaral Rodrigues Ferreira¹ 

¹ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, Brasil.

Email address

franca.thais@ufvjm.edu.br (Thais P. França)
lis.mota@ufvjm.edu.br (Lis S. M. Cristianismo) – Corresponding author
mserretti@ufvjm.edu.br (Marcelino S. Leonel)
thiago.parente@ufvjm.edu.br (Thiago P Lima)
ulisses@ict.ufvjm.edu.br (Ulisses B. A. Maia)
wellberth.amaral@ufvjm.edu.br (Wellberth A. R. Ferreira)

Abstract

Wind energy has been developing more and more in Brazil and around the world. This energy is characterized by having very little environmental damage. The main objective of sustainable development is to find an optimal level of interaction between three systems: environmental, economic and social. The proposed work aims to prepare a technical study of economic feasibility for the implementation of a wind turbine at Campus JK, UFVJM, in Diamantina. For the feasibility study, the consumption of electricity was analyzed, from 2016 to 2022, where the values of consumption cost and monthly energy demand were collected. With the help of economic evaluation tools, it was possible to create consumption projections that were later compared to the possible financing values of the wind turbine. In the end, it was possible to conclude that the investment is viable, when compared with the future values of consumption of conventional electricity.

Keywords: Wind energy¹, Sustainability, Economic feasibility.

1. Introdução

A energia eólica é caracterizada como a energia cinética contida nas massas de ar em movimento, proveniente do aquecimento não uniforme do planeta e pelo seu movimento de rotação. Sua utilização é dada através da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, empregando turbinas eólicas, também conhecidas como aerogeradores (Fiorini, 2005). Os aerogeradores são equipamentos que irão converter a energia cinética contida nos ventos em energia elétrica, disponibilizando esta para redes elétricas em seus terminais de saída (ANEEL, 2002).

A energia eólica é limpa e renovável, durante seu processo de geração não produz resíduos atmosféricos ou nos corpos d'água e afeta muito pouco a velocidade e direção dos ventos, uma vez

que as próprias hélices do gerador se adaptam e se orientam no sentido favorável para o giro. Existem fatores que possibilitam que a energia eólica se torne ainda mais sustentável, como as melhorias tecnológicas que intentam otimizar o processo e a redução das perdas de energia na fonte geradora (ABEEólica, 2020).

A sustentabilidade é constituída por três pilares fundamentais que são o ambiental, econômico e social, onde seu desenvolvimento só se torna possível se ambos forem trabalhados simultaneamente. O aspecto ambiental corresponde ao consumo consciente e responsável dos recursos naturais com o intuito de reduzir ao máximo os impactos ambientais, o econômico visa obter crescimento se preocupando com o curto, médio e longo prazo e, o pilar social se importa com o bem-

estar de toda sociedade, gerando uma melhor qualidade de vida (Bellen, 2005).

Em abril de 1987, a Comissão Brundtland publicou o relatório *Nosso Futuro Comum*, onde surgiu o conceito público de desenvolvimento sustentável, que dizia que "o desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que atende as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades" (UN, 1987, p.64).

O Anteprojeto Industrial também chamado de estudo de viabilidade é uma ferramenta potencial na tomada de decisão sobre implantações, expansões ou realocações industriais, na definição dos parâmetros para os projetos de engenharia. Segundo Oliveira (1975), o Anteprojeto, ou Projeto de Investimento, é positivo no sentido de que as instituições passam a analisar e sintetizar as informações, e estas associadas a outros pontos da estratégia empresarial, podem atender estrategicamente as intenções de mudança.

Na análise de um anteprojeto de forma a ser executado com o intuito de verificar sua justificativa, deve levar em consideração os aspectos jurídicos, comerciais, técnicos, administrativos e financeiros. A eficiência técnica máxima, somente se torna viável se for demonstrada a máxima eficiência econômica e financeira (Rocha, Souza e Dalfior, 2016).

Para alcançar o objetivo do estudo em questão (análise de viabilidade econômica), além do estudo técnico relacionado ao aerogerador e sustentabilidade foram coletados valores relacionados ao gasto com a energia elétrica. Estes valores são do período de janeiro de 2016 a junho de 2022, disponibilizados pela reitoria da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, na cidade de Diamantina. Estes valores possibilitaram compor um fluxo de caixa o qual em vários cenários, propiciou realizar cálculos usando as ferramentas (VPL, PGTO) de avaliação econômica.

2. Revisão de literatura

O capítulo a seguir irá discorrer sobre a energia eólica dentro do cenário mundial bem como no cenário brasileiro, seus impactos socioambientais, o princípio de funcionamento dos aerogeradores e sua estrutura. Será discutido também sobre a geração distribuída e sua qualificação como micro e minigeração, fatores de

análise para instalação e cálculo de potência dos aerogeradores e o sistema de compensação de energia. Por último, será exposto o estudo do vento, a sustentabilidade e as ferramentas matemáticas para a análise da viabilidade econômica e cálculo financeiro.

2.1. Energia Eólica

A seção a seguir irá abordar a energia eólica no cenário mundial e brasileiro, o princípio de funcionamento e estrutura de um aerogerador. A forma de utilização e qualificação da energia eólica e os demais fatores associados à mesma. E por último o estudo do vento e dimensionamento do aerogerador.

2.1.1 Energia Eólica no cenário mundial

Segundo analistas, o seu reduzido impacto ambiental é a razão para o crescimento no uso da energia eólica ao redor do mundo, visto que sua utilização é dada por uma fonte renovável, o vento, e pela diminuição no custo de investimento. De acordo com o relatório da Agência Internacional para as Energias Renováveis (Irena), o Custo Nivelado de Energia (LCOE) da energia eólica caiu em 22% entre 2010 e 2017. O LCOE contabiliza os custos esperados de uma usina, divididos pela geração em kWh produzida no período (Zaparolli, 2019).

De acordo com o Conselho Global de Energia Eólica, fórum representativo a nível internacional do setor, em 2017 foram acrescentados 52 GW de capacidade de geração de energia eólica no mundo, totalizando 539 GW. Estima-se que em 2022, a geração global será de 840 GW (Zaparolli, 2019). O Brasil ocupava a oitava posição como maior gerador de energia eólica do mundo, correspondendo a 2% da produção mundial. Em 2019 o Brasil subiu uma posição no Ranking Mundial de capacidade eólica acumulada elaborado pelo GWEC (Global Wind Energy Council), ocupando a 7ª posição, como pode ser visto na Figura (1) (ABEEólica, 2019).



Figura 1 – Capacidade total instalada no mundo (ABEEólica, 2019).

2.1.2 Energia Eólica no cenário brasileiro

Por possuir condições edafoclimáticas extremamente favoráveis, o Brasil se apresenta como possuidor de um dos maiores e melhores potenciais energéticos do mundo. Embora as reservas de combustíveis fósseis sejam relativamente reduzidas, os potenciais hidráulicos, da biomassa, da força dos ventos e da irradiação solar, são consideravelmente abundantes e garantem ao país sua autossuficiência energética (ANEEL, 2002).

Durante a crise energética enfrentada pelo Brasil em 2001, o país começou a olhar para outras fontes de suprimento de energia. Foi necessário diversificar a matriz energética do país e a energia eólica foi tida como uma alternativa para o problema. Na época, o custo da energia eólica era muito alto, entretanto conforme foram havendo investimentos na área o preço desta foi diminuindo e, atualmente, se apresenta mais barata que a energia produzida por hidrelétricas (Zaparolli, 2019).

Segundo a Associação Brasileira de Energia Eólica (Abeeólica), a capacidade de geração de energia eólica no Brasil é de aproximadamente 500 GW, potencial capaz de suprir três vezes a demanda atual de energia do país. Apesar de todo o potencial mostrado pela energia produzida pelos ventos, a mesma ocupa o segundo lugar na matriz energética do país, com apenas 9,1% de toda a energia produzida, como é ilustrado na Figura (2) (Zaparolli, 2019).

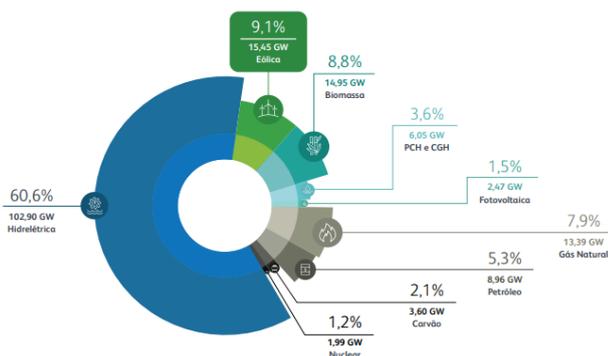


Figura 2 – Matriz energética brasileira (ABEEólica, 2019).

2.1.3 Impactos socioambientais

Além do reduzido impacto ambiental durante o processo de implantação da energia eólica, esta não apresenta emissão de CO₂ em sua operação, favorecendo assim, o uso da mesma em detrimento de outras fontes de geração de energia elétrica que emitem. Segundo o Boletim Anual de Geração

Eólica de 2019, houve um total de emissões evitadas de 22,85 milhões de toneladas de CO₂, o equivalente à emissão anual de cerca de 21,7 milhões de automóveis (ABEEólica, 2019).

Ademais, a energia proveniente dos ventos é renovável, não emite poluentes e contribui para que o país cumpra seus objetivos no Acordo do Clima. Possui um dos melhores custo-benefício na tarifa de energia, permite que o proprietário da terra siga com plantações ou criação de animais e gera renda e melhoria de vida para donos de terras que arrendam seus terrenos para a colocação das torres eólicas. Como os pagamentos dos arrendamentos sofrem tributação, contribuem também, de forma significativa, para o poder público (ABEEólica, 2019).

2.1.4 Princípio de funcionamento dos aerogeradores

De modo geral, um aerogerador é composto pela turbina eólica, multiplicador mecânico, gerador elétrico, e pelos sistemas de conexão elétrica e controle. A turbina eólica é constituída pelo cubo do rotor e pás, e é o componente responsável pela transformação da energia cinética dos ventos em energia mecânica de rotação. Na maioria dos aerogeradores, a turbina eólica funciona em baixa rotação - ex.: 36 rpm - no entanto o gerador elétrico opera em altas rotações - ex.: 1800 rpm (Fiorini, 2005).

Para tornar essas rotações compatíveis, os aerogeradores utilizam um multiplicador mecânico de rotações, também conhecido como caixa multiplicadora. Este componente é responsável pela conversão de torque e velocidades, de modo a permitir que a energia mecânica chegue ao gerador na rotação e torques corretos. Alguns aerogeradores não possuem esse multiplicador mecânico de rotações, o acoplamento entre a turbina eólica e o gerador é feito diretamente, fazendo com que o gerador e a turbina possuam a mesma rotação (Fiorini, 2005).

A energia mecânica promovida pela etapa de transmissão mecânica é convertida em energia elétrica através do gerador elétrico, que pode ser de indução, ou síncrono. Para máquinas com potência de aproximadamente 1 MW ou menos, a tensão trifásica fornecida pelo gerador situa-se entre 400 e 690V, para máquinas com potências superiores, a tensão de geração é da ordem de 2400V. Os conversores eletrônicos de potência são usados para o acoplamento do gerador elétrico com a rede

elétrica, ampliando o rendimento na conversão da energia dos ventos (Fiorini, 2005).

Todo aerogerador possui um sistema de controle principal para otimizar, monitorar e proteger o aerogerador de operações errôneas. O sistema de controle acompanha as principais grandezas mecânicas e elétricas do equipamento. Encontram-se instaladas nele as proteções individuais de cada aerogerador, protetores contra sobrecorrente e curto-circuito, sistema de para-raios, protetores contra sobre e sub-tensão e proteção contra sub e sobre-frequência (Fiorini, 2005).

2.1.4.1 Estrutura

- Pás: giram sob a ação do vento, normalmente atuam em um conjunto de três pás formando um ângulo de 120°. Possuem formato aerodinâmico ideal para o giro dentro do intervalo de mínimo e máximo de velocidade a qual foi projetada. As pás podem ser desenvolvidas em vários tipos de materiais como PVC, PU ou PET, madeira balsa e fibra de vidro (ABEEólica, 2020);
- Naceles ou naves: contém os componentes eletromecânicos como transformador, conversor, rotor, refrigerador, gerador e outros. Fica situado junto ao eixo da hélice formada pelas pás, onde a energia mecânica de rotação das pás é transformada em energia elétrica (ABEEólica, 2020);
- Torres: parte de sustentação das pás e do nacele, possuem uma altura variável de acordo com os ventos locais, podem variar de 10 m à 80 m de altura. Elas são geralmente constituídas por aço e/ou concreto (ABEEólica, 2020).

A Figura (3) ilustra a estrutura de um aerogerador.

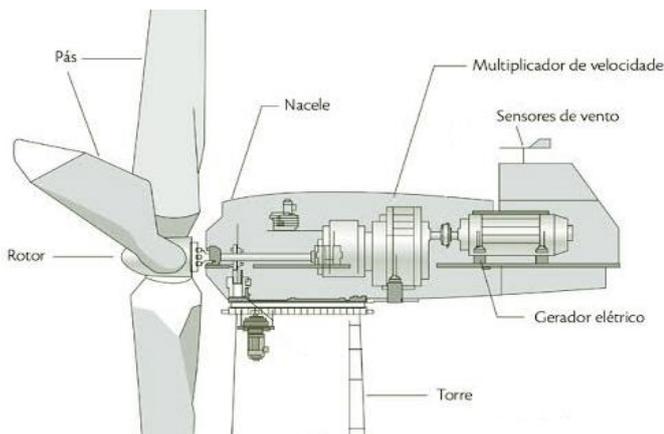


Figura 3 – Estrutura de um aerogerador (Windbox, 2020).

2.1.5 Geração Distribuída

Nesta seção serão analisados os parâmetros para se qualificar uma geração como mini ou microgeração, fatores para a instalação de um aerogerador e seus cálculos de potência, baseados nas micro e minigeração distribuídas. Assim como o sistema de compensação de energia.

2.1.5.1 Micro e Minigeração Distribuídas

A micro e a minigeração distribuídas de energia elétrica, se referem a inovações que podem associar economia financeira, autossustentabilidade e consciência socioambiental. A central geradora para se enquadrar como microgeração distribuída, deve possuir uma potência instalada de até 75 kW, e a minigeração distribuída deve apresentar uma potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW, segundo a Resolução Normativa REN 687-2015, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2015).

Os micros e minigeradores possuem um rotor que pode possuir duas, três ou mais pás. Ele é responsável por captar e transmitir a força dos ventos para o gerador propriamente dito. Os principais modelos para esses aerogeradores de pequeno porte são os com eixo horizontal ou vertical. Os de eixo horizontal normalmente possuem sua eficiência maior quando comparados com os de eixo vertical, e são mais facilmente encontrados no mercado (ANEEL, 2020).

2.1.5.2 Fatores de análise para a instalação de um aerogerador

A escolha do aerogerador deve se balizar em fatores específicos de utilização deste, como na velocidade mínima do vento para o minigerador entrar em funcionamento, na velocidade do vento em que o modelo alcança sua potência nominal e na velocidade máxima do vento suportada pelo mesmo (ANEEL, 2020).

Ao se instalar o aerogerador, deve-se se atentar a alguns fatores importantes e decisivos no que diz respeito ao bom funcionamento e desempenho do equipamento. O posicionamento do minigerador eólico é um dos fatores mais relevantes no tocante à eficiência do mesmo, para garantir um bom aproveitamento do vento é necessário manter distâncias mínimas entre o gerador eólico e possíveis obstáculos presentes no ambiente (ANEEL, 2020).

De modo geral, ao se instalar o minigerador, o ideal é que o mesmo fique localizado a uma altura de, pelo menos, 10 metros acima do mais alto obstáculo presente no entorno, num raio de 150 m. Obstáculos de mesma altura, ou até mesmo mais altos que o aerogerador, fora desse raio de 150 metros, terão pouca interferência no desempenho do equipamento (ANEEL, 2020).

Apesar do avanço tecnológico mostrado pela indústria de aerogeradores, os mesmos ainda se mostram muito ruidosos, fator que deve ser considerado, de acordo com as especificações do equipamento, ao se escolher o gerador e o local onde o mesmo será instalado. Estruturas de sustentação e fixação que se utilizam de cabeamento de suportes tensionados, dependendo do vento, podem produzir muito barulho também (ANEEL, 2020).

Para evitar esse transtorno, o nível de ruído da turbina deve atender às normas e padrões especificados pela legislação vigente (ANEEL, 2020). Também é importante se ater às sombras e reflexos na vizinhança, produzidos pelas pás do aerogerador. Durante o projeto, é importante conferir se há espaço para a passagem dos caminhões com os equipamentos e para as ferramentas de montagem (ANEEL, 2002).

2.1.5.3 Cálculo da potência do aerogerador

Para a realização do cálculo da potência do gerador, primeiramente é preciso determinar qual parcela da demanda energética deverá ser suprida pelo sistema eólico. É essencial também, medir a velocidade do vento no local pretendido para a instalação do aerogerador (ANEEL, 2020).

No Atlas do Potencial Eólico Brasileiro do CEPEL, é possível encontrar o mapa eólico do país, entretanto, para se obter um resultado mais preciso, o ideal é aferir a velocidade do vento no local desejado para a instalação. Como o vento pode variar muito conforme a altura, é preciso aferir as velocidades em duas alturas diferentes. O recomendável é que se colete os dados durante um ano, para considerar as variações durante as estações, porém, 3 meses de coleta são suficientes para se obter dados consistentes (ANEEL, 2020).

2.1.5.4 Sistema de compensação de energia

Segundo a resolução normativa N° 687 da ANEEL, sistema de compensação de energia elétrica é o sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de

empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa (ANEEL, 2002).

A Resolução Normativa ANEEL n° 482/2012 permite a criação de um “crédito de energia” caso a energia consumida seja inferior à energia injetada na rede. Esse crédito não pode ser revertido em dinheiro, mas pode ser utilizado para abater o consumo de outras unidades de mesma titularidade ou abater o consumo da própria unidade consumidora nos meses seguintes, com validade de até 60 meses (ANEEL, 2015).

Nesse caso, será pago, a cada mês, apenas a diferença entre a energia consumida da rede pública, e o que foi gerado e injetado na rede através da minigeração, mais a incidência de impostos sobre a energia consumida. Como o sistema continuará conectado à rede elétrica, em caso de não produção de energia, por exemplo durante períodos em que o vento estiver fraco, a rede elétrica irá fornecer a energia necessária (ANEEL, 2020).

2.1.6 Estudo do vento

Como foi dito no decorrer do trabalho, para uma análise mais profunda sobre as velocidades do vento na cidade em que se deseja implantar uma torre eólica, é necessário todo um aparato tecnológico que irá fornecer, com melhor precisão, as velocidades nas regiões desejadas.

Porém, é possível encontrar atlas do potencial eólico brasileiro, contendo mapas com informações sobre a velocidade média do vento em determinadas regiões, em alturas específicas acima do nível do solo. A Figura (4) fornece o mapa da velocidade média anual do vento a 50 m de altura em todo o país e a Figura (5) mostra a velocidade média do vento na região sudeste do país a 50 m de altura.

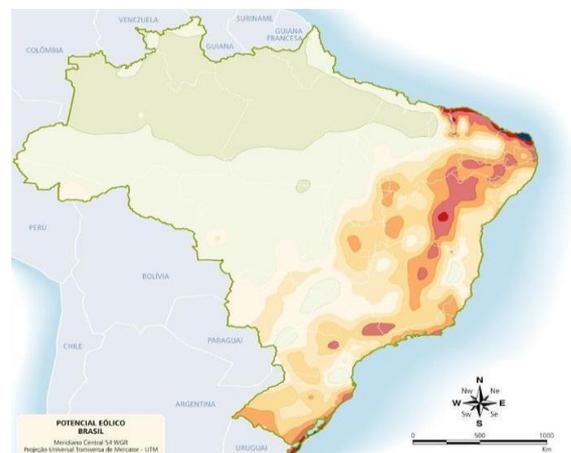


Figura 4 – Mapa de Potencial eólico do Brasil (ANEEL, 2003)

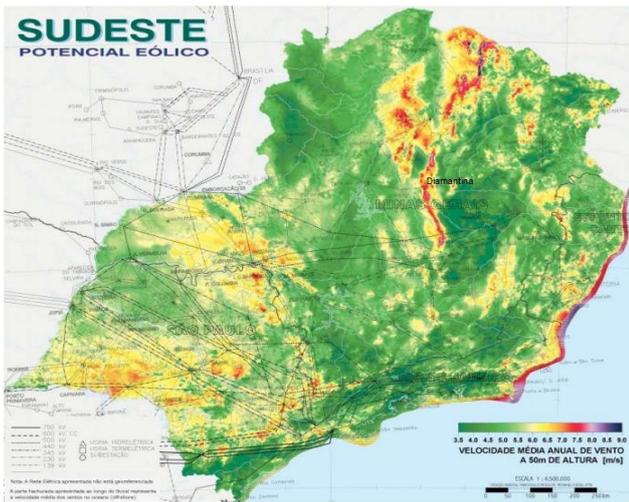


Figura 5 – Mapa de Potencial eólico da região sudeste (CEPEL, 2001).

A Figura (6), apresenta a tabela de classes de energia que irá fornecer a velocidade média do vento (m/s), 50 m acima do nível da superfície, de acordo com as regiões mostradas no mapa anterior.

		Mata	Campo Aberto	Zona Costeira	Morro	Montanha
Classes de energia	4	> 6,0	> 7,0	> 8,0	> 9,0	> 11,0
	3	4,5 - 6,0	6,0 - 7,0	6,0 - 7,0	7,5 - 9,0	8,5 - 11,0
	2	3,0 - 4,5	4,5 - 6,0	4,5 - 6,0	6,0 - 7,5	7,0 - 8,5
	1	< 3,0	< 4,5	< 4,5	< 6,0	< 7,0

Figura 6 – Tabela de classes de energia (ANEEL, 2003).

A classe 1 corresponde às regiões com pouco potencial eólico, de baixo ou nenhum interesse para o aproveitamento da energia eólica. A classe 4 apresenta os melhores locais para aproveitamento dos ventos no Brasil. As classes 2 e 3 podem ou não ser favoráveis, dependendo das condições topográficas, se é campo aberto, zona costeira, morro ou montanha, pois as velocidades variam muito de acordo com o campo (ANEEL, 2003).

2.2 Sustentabilidade

A seção a seguir irá apresentar o conceito de impacto ambiental e citar alguns exemplos evidentes no cenário atual. Além de contextualizar a sustentabilidade e formas de sua aplicação, como exemplo a energia sustentável.

2.2.1. Impactos ambientais

Desde seu princípio o ser humano utilizou de recursos naturais para sua própria sobrevivência. Segundo Goldemberg (2003), a utilização excessiva e desenfreada desses recursos se intensificou após a

revolução industrial e durante o século XX, época em que o crescimento econômico e tecnológico era a principal preocupação, causando impactos ambientais consideráveis na natureza.

De acordo com a Resolução 01/1986 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o impacto ambiental pode ser definido como toda mudança nas características físicas, biológicas ou químicas do meio ambiente, que é gerada pela ação humana e causa danos para a sociedade e o meio ambiente.

Em seu trabalho, Weber (2010) diz que atualmente as questões ambientais têm se tornado uma preocupação social. Os impactos ambientais gerados pelo desenvolvimento, como chuvas ácidas, danos à camada de ozônio, agravamento do efeito estufa, extinção de animais, têm despertado a preocupação da sociedade. Portanto, a realização de estudos sobre os impactos ambientais é de suma importância para prevenção dos mesmos, tornando possível a aplicação de medidas preventivas no planejamento de projetos e ações do ser humano no desenvolvimento global.

2.2.2. Conceito de sustentabilidade

O contexto histórico de onde emergem os discursos em direção à sustentabilidade ambiental, de acordo com Gonçalves (2002), inicia-se na década de 1960. No entanto foi só em 1992, que a Organização das Nações Unidas (ONU) colocou oficialmente a sustentabilidade na agenda global, onde pela primeira vez foi criado um programa detalhado direcionado aos governos de todo o mundo, com uma lista de atividades que visavam a proteção e renovação dos recursos ambientais colocando a sustentabilidade entre as prioridades da ONU, logo a discussão em torno das ações sustentáveis ganhou novos cenários, chegando finalmente nas salas de reuniões corporativas, segundo Uniprime (2016).

Atualmente sabemos que a sustentabilidade tem sido o eixo central na edificação de qualquer empreendimento, não apenas pelo lado ambiental, como também econômico e social. Por se tratar de uma definição em construção em sua maioria, o termo sustentabilidade está vinculado ao conceito de desenvolvimento, e pode representar uma infinidade de coisas, portanto, a noção de sustentabilidade que propomos aqui pode ser melhor entendida se relacionada ao que Barbier (1989), propõe. Para o autor o objetivo principal do

desenvolvimento sustentável é encontrar um nível ótimo de interação entre três sistemas: ambiental, produtivo e social.

Nesse sentido, a sustentabilidade segundo Lopes (2009) é um princípio de atuação de uma sociedade que mantém as características necessárias para um sistema socialmente justo, ambientalmente equilibrado e economicamente próspero por um período de tempo longo e indefinido. Logo, a sustentabilidade possui três pilares fundamentais que precisam ser trabalhados de forma simultânea e conjunta, conhecido como tripé da sustentabilidade, mostrado na Figura (7).



Figura 7 – Tripé da sustentabilidade (Guimaraes, 2019).

Atualmente, o conceito de tripé da sustentabilidade é muito utilizado por empresas e instituições e para que as mesmas sejam consideradas sustentáveis é necessário a aplicação de seus três pilares fundamentais. Isto é, agir em prol de melhorias para o planeta Terra se preocupando com o pilar ambiental, que se refere a utilização dos recursos naturais com consciência e responsabilidade, minimizando ao máximo os impactos causados, o pilar econômico que está relacionado ao crescimento do lucro levando em consideração as questões sociais e ambientais e, o pilar social, que está relacionado à sociedade, se preocupando e gerando uma melhor qualidade de vida (Dias, 2011).

Assim, a sustentabilidade exige uma postura preventiva, que identifique tudo que um empreendimento pode causar de positivo - para ser maximizado - e de negativo - para ser minimizado. Que demanda, portanto, uma noção clara da complexidade e das sutilezas do fator tempo. Sobretudo, exige uma postura não imediatista, uma visão de planejamento e de operação capaz de contemplar o curto, médio e longo prazo. A gestão da sustentabilidade exige também a consciência da importância do fator espaço (Almeida, 2002).

2.2.3 Energia sustentável

Em decorrência aos impactos ambientais gerados mundialmente, surgiu a preocupação e necessidade da busca por recursos sustentáveis e, entre eles, destaca-se a utilização de fontes de energia renováveis. Segundo Udaeta (1997), para obtenção de energia sustentável alguns aspectos devem ser considerados, como a garantia de suprimento, através da diversificação das fontes, novas tecnologias e descentralização da produção de energia; uso, adaptação e desenvolvimento racional de recursos; custo mínimo da energia; valor agregado a partir dos usos, gerados pela e na otimização dos recursos; custos reais na energia, contemplando impactos ambientais e sociais, devido a represamento, extração, produção, transmissão e distribuição, armazenamento, e uso das energias negociadas no mercado, inclusive definindo métodos específicos de internalização.

Ainda segundo Udaeta (1997, p.23), “os níveis de suprimento energético e a sua infraestrutura interagem biunivocamente com o desenvolvimento socioeconômico, e consequentemente impactam o meio ambiente e portanto a sua sustentabilidade”. Logo, o setor energético é uma grande preocupação para o desenvolvimento sustentável e, para a diminuição de seus grandes impactos gerados, o crescimento de uma demanda por energia renovável têm ficado evidente e, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), esse setor teve um crescimento considerável em 2019.

Em reportagem publicada em seu *web site*, a ANEEL informa que a capacidade instalada de energia elétrica, isto é, o total de energia que pode ser produzida no ano 2019 teve um aumento de 7.246,41 megawatts (MW) e fechou o ano com potência fiscalizada de 170.071 MW, onde mais de 75% foi oriunda de energias renováveis, como demonstrada na Figura (8).



Figura 8 – Fontes renováveis na matriz elétrica brasileira em 2019 (ANEEL, 2019).

Após análise dos dados, observa-se que as usinas hidrelétricas ainda são a principal fonte de energia elétrica no Brasil com 4.755 MW de

capacidade instalada acrescida em 2019, porém a ampliação da geração eólica impressiona por seu aumento significativo, contabilizados 971 MW. Ainda segundo a ANEEL, considerando o avanço verificado no ano, os 629 empreendimentos de energia eólica são responsáveis por 9,04% da potência fiscalizada no país no ano de 2019.

A utilização de energias renováveis reduz consideravelmente a geração de impactos ambientais, como a emissão de gases de efeito estufa. Além disso, a inovação tecnológica e o desenvolvimento industrial, a geração e distribuição de energia, o desenvolvimento regional e a criação de empregos foram considerados benefícios relacionados ao seu consumo, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do mundo (Simas e Pacca, 2013).

2.3 Análise econômica

A Engenharia econômica é uma área da Economia que fornece métodos e ferramentas para análise prévia da viabilidade econômico-financeira de um projeto. As ferramentas permitem a racionalização e otimização do capital investido (Hirschfeld, 1989).

Para realizar os cálculos destas ferramentas, deve-se inicialmente obter um diagrama chamado de fluxo de caixa. Esse diagrama irá representar basicamente a questão de saídas e entradas de valores (futuros) financeiros do projeto, ou seja, estimativas futuras de entradas e saídas de valores financeiros.

Segundo Abreu, Neto e Heneck (2008), para uma análise aproximada do real e que permita a racionalização e otimização do capital investido, deve-se confrontar os valores do investimento necessário para implantar o projeto com os fluxos financeiros esperados durante a vida útil da alternativa.

Para Motta e Calôba (2002), é a partir do fluxo de caixa do projeto de investimento, que se obtém o estudo de viabilidade econômico-financeira. Cabe ressaltar que o fluxo de caixa de um projeto de investimento ainda não foi instaurado, é apenas uma opção futura (Souza, 2003).

Após a elaboração do fluxo de caixa e antes dos cálculos é importante averiguar principalmente os aspectos em relação ao mercado e as taxas de financiamento (Abreu, Neto e Heneck, 2008). Nesta mesma direção, Neto e Silva (2012), reforçam que, para a tomada das decisões, deve-se preocupar além

da escolha das melhores taxas, a determinação da melhor estrutura de financiamento para a instituição, preservando assim a capacidade de pagamento.

2.4 Ferramentas para análise de viabilidade

De forma geral, ao se empregar a nomenclatura “análise de viabilidade de um projeto ligado à questão financeira”, na realidade planeja-se verificar a influência do investimento, e no caso deste trabalho, será confrontado a outro. Seguindo o objetivo deste trabalho, é crucial averiguar a viabilidade do projeto não somente na questão financeira/econômica, mas também acrescido de aspectos associados à questão da sustentabilidade, o qual o investimento está agregado. Consequentemente, os efeitos de um investimento podem ser examinados por distintos parâmetros.

Segundo Filho e Kopitke (2000), a decisão da implantação de um projeto deve considerar os critérios econômicos, a rentabilidade do investimento, os critérios financeiros, a disponibilidade de recursos e os critérios imponderáveis: fatores não conversíveis em dinheiro.

No caso deste trabalho, os fatores relevantes para o cálculo do financiamento do aerogerador são os seguintes valores: do aerogerador, do período de uso do aerogerador, da manutenção ao longo dos anos, das taxas de juro cobradas pelos bancos financiadores.

Com o intuito de transformar um fluxo não uniforme em um fluxo uniforme, inicialmente utiliza-se a técnica do Valor Presente Líquido (VPL). Pode-se considerar, neste caso, como um artifício matemático. O intuito é calcular de forma precisa e rápida, o valor presente (VP) do fluxo não uniforme.

A ferramenta do Valor Presente Líquido possui como objetivo estipular um valor no momento inicial, a partir de um fluxo de caixa estabelecido (Hirschfeld, 1989). Ou seja, o método do Valor Presente Líquido consiste em retornar todos os valores futuros para o ponto focal $t = 0$ a partir de uma taxa estipulada.

A fórmula do VPL, Hirschfeld (2000) é dada pela Equação (1):

$$VP = VPL_{(i)} = \sum_{t=0}^n FC_t / (1+i)^t \quad (1)$$

Onde FC_t simboliza a entrada ou saída de capital no momento de tempo t ($t = 0$ a $t = n$) e n representa a quantidade total de períodos na linha de tempo do fluxo de caixa descontados a uma taxa i .

O PGTO é uma ferramenta da engenharia econômica para determinar o valor médio ponderado, segundo Hirschfeld (2000), a fórmula é dada pela Equação (2):

$$PGTO = VP \frac{((1 + i)^n * i)}{((1 + i)^n - 1)} \quad (2)$$

Para se calcular uma taxa ao ano equivalente a mensal pode-se utilizar o critério de juro composto, ou seja, $ip = ((1 + id)^{p/d} - 1) * 100$, onde ip é a taxa pedida e id taxa dada, p e d , período dado em meses.

3. Metodologia

Este trabalho baseou-se em uma pesquisa tecnológica. Este tipo de pesquisa tem como objetivo alcançar a inovação em produto ou processo, frente a uma demanda ou necessidade preestabelecida. Na pesquisa tecnológica o resultado a ser medido é a solução concreta do problema proposto, representado por um novo produto ou um novo processo e sua aceitação pelo mercado produtor/consumidor.

Para a realização deste trabalho (pesquisa tecnológica), foi feita uma ampla revisão de literatura a respeito da energia eólica, da sustentabilidade e das ferramentas de avaliação econômica, por meio de pesquisa em sites do governo federal e estadual, artigos e teses, bem como em revistas de pesquisa e livros.

Com o intuito de atingir todos os objetivos, inicialmente foi feito o cálculo da potência requerida para o aerogerador. Este, foi baseado nas contas de energia elétrica fornecidas pela UFVJM. Em seguida foi consultado empresas que trabalham com aerogeradores, para a solicitação dos preços estimados das turbinas eólicas. Das empresas consultadas, a única que forneceu uma estimativa do preço para a potência requerida do aerogerador, 800kW, foi a ENERCON. E de posse dos valores recebidos, estes foram inseridos nas planilhas cuja finalidade foi, ao final, a de determinar a viabilidade econômica do empreendimento.

Para a análise de viabilidade econômica (financeira), foram coletadas as contas de luz do Campus JK, no período de janeiro de 2016 a julho

de 2022, disponibilizadas pela reitoria da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, na cidade de Diamantina, situada na região do Vale do Jequitinhonha no norte de MG. Na Figura (9), estão os valores do custo do kWh baseado no consumo mensal de energia em kW em HP (horário de ponta) e HFP (horário fora de ponta).

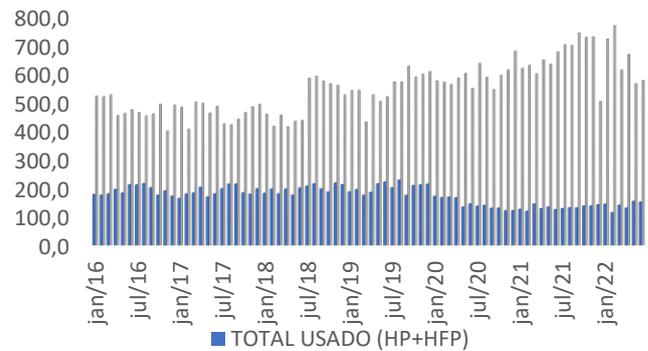


Figura 9 – Gasto kWh mensal com energia na UFVJM.

Estes valores possibilitaram coletar os valores da média, do máximo e do mínimo do custo do consumo mensal e projeção de gastos futuros de consumo de energia elétrica. Para as projeções foram utilizadas taxas de projeção de inflação e bancárias para os próximos anos. Com estes valores, pôde-se comparar o preço aproximado do aerogerador distribuído ao longo da vida útil deste, a taxas de referência (inflação dos próximos anos). E ao final o uso das ferramentas de avaliação econômica para efeito comparativo entre o consumo de energia e a aquisição de um aerogerador a taxas de referência.

3.1 Dimensionamento do aerogerador

Como dito anteriormente, para a escolha do aerogerador foi necessário, primeiramente, determinar qual parcela da demanda energética deveria ser suprida pelo sistema eólico. Em seguida foi preciso calcular a velocidade do vento no local em que se desejava implantar a turbina eólica.

No caso deste trabalho, o propósito do aerogerador é fornecer toda a energia que o Campus necessita. No tocante à velocidade do vento, durante a realização do trabalho não houve nenhum acesso aos aparatos necessários para a medição deste, a determinação da velocidade ficou a cargo da interpretação dos mapas eólicos.

Tendo em vista então, que o sistema deverá suprir toda a demanda energética do Campus e considerando que a mesma possa vir a aumentar ao longo dos anos, a análise foi realizada através da

leitura do histórico de consumo das contas de energia, referentes ao período de janeiro de 2016 a julho de 2022.

Com os dados em mãos, foi feita uma média anual da demanda de energia em HP (horário de ponta) e HFP (horário fora de ponta) [kW], dos anos de 2016 a julho de 2022. Em seguida foi calculada a média da demanda em HP e HFP dos anos em análise.

Pode-se verificar que o máximo de energia utilizada, Gráfico 1, é de 228 kWh (agosto de 2019) - soma de HP e HFP, a média de 173,5 kWh e o mínimo de 114,8 kWh (fevereiro de 2022), sendo a variação percentual média de 3,4% ao ano. Portanto, o consumo máximo de energia projetada, ao ano, é de 304 kWh para o ano de 2042.

De acordo com os dados coletados, o máximo demandado é de 511 kW e com variação percentual média de 0,73%. No tocante a variação percentual o desvio padrão foi de 3,07%. Partindo do valor de 511 kW e a variação percentual de 0,73% com 3,07% de desvio padrão, o valor máximo de demanda projetado é de 609 kW, para o ano de 2042.

Com a análise dos mapas eólicos, foi possível afirmar que a velocidade do vento na cidade de Diamantina, dependendo do tipo de terreno pode variar de 4,5 a 7,5 m/s, ex.: em campo aberto, é de 4,5 a 6,0 m/s e em morro é de 6,0 a 7,5 m/s. Considerando esses dados, e o valor de 609 kW, que foi o valor máximo demandado durante os 20 anos de análise, o aerogerador escolhido deve possuir uma potência de 800 kW, aerogerador com a potência mais próxima do valor de 609 kW, que consiga trabalhar plenamente com ventos dentro dessas faixas de valores.

3.2 Cálculos de viabilidade

Para verificar a viabilidade do projeto de instalação de um aerogerador na UFVJM, inicialmente foi obtido os valores de demanda e gastos de energia e monetário referente ao kWh nos últimos 6 anos e meio, ou seja, de 2016 a meados de 2022. Esses valores são apresentados no Figura (9).

Pode-se verificar que os fluxos (pagamentos - kWh) de energia utilizada na IEFS em questão, não são iguais em todos os períodos. Para este caso e em todos os projetos quando o fluxo de caixa não é uniforme, pode-se fazer a transformação destes em uma série uniforme equivalente à apresentada, fazendo uso da técnica do VPL. E também os

valores não podem ser comparados, pois, para a engenharia econômica, não se pode somar valores monetários em tempos diferentes. Há de se reajustar os valores para uma data focal e assim fazer os cálculos necessários. Entretanto, para efeito de correção do valor da energia paga, foi utilizado o valor atualizado do kWh em 2022, R\$ 652,48.

Para chegar ao resultado final de comparação de qual fonte de energia é a mais indicada, foi utilizado o valor do produto do consumo médio de energia e o valor médio do kWh atualizado para o período $t = 0$. Partindo do valor no período $t = 0$, foi feito ao longo de 20 anos, o reajuste de 3,4% ao ano, para o consumo e 5% ao ano para o valor do kWh. O valor de 5% ao ano, refere-se a uma média aproximada das inflações nos últimos 6 anos.

Os valores anuais, de 2022 a 2042, foram úteis para comparativo a um outro empreendimento ou a uma projeção de gastos de energia na instituição. Se o valor mensal previsto com a aquisição do aerogerador for inferior ao gasto médio ponderado do gasto da energia na instituição, pode-se inferir que a aquisição do aerogerador é favorável.

Em relação aos pagamentos anuais do aerogerador, utilizou-se a ferramenta PGTO.

4. Resultados e Discussão

Os valores usados para projeção de consumo e valor pago de 2022 até 2042 (a partir do máximo, média e mínimo), do consumo de energia, estão na Tabela (1), Tabela (2) e Tabela (3) respectivamente.

Tabela 1 – Projeção máxima de consumo de 2022 a 2042.

ANO	MÁX/USADO/ANO (HP+ HFP)	VALOR PAGO
2022	2423,2	R\$ 1.566.938,35
2042	4763,9	R\$ 4.157.553,92

Tabela 2 – Projeção média de consumo de 2022 a 2042.

ANO	MÉDIA/USADO/ANO (HP+ HFP)	VALOR PAGO
2022	2052,6	R\$ 1.578.520,86
2042	4035,3	R\$ 4.188.285,79

Tabela 3 – Projeção mínima de consumo de 2022 a 2042.

ANO	MÍN/USADO/ANO (HP+ HFP)	VALOR PAGO
2022	1591,1	R\$ 636.320,72
2042	3128	R\$ 1.688.348,31

Em relação ao aerogerador, o preço repassado pela empresa consultada do aerogerador de 800 kW, foi de R\$ 10.000.000,00. Neste valor do

aerogerador, agrega os montantes de manutenção ao longo dos anos.

De acordo com os objetivos específicos, para o cálculo do parcelamento foi usado a ferramenta PGTO, e para projeção utilizou-se as taxas de 6% a 10% ao ano, com projeções de aumento de 5% ao ano nos valores das contas de energia pagas nos próximos 20 anos. Esses dados são apresentados na Tabela (4).

Tabela 4 – Valores das parcelas anuais do aerogerador.

PERÍODO (ANO)	VALOR PGTO (6%)	VALOR PGTO (7%)	VALOR PGTO (8%)	VALOR PGTO (9%)	VALOR PGTO (10%)
2022					
2023	R\$ 871.845,57	R\$ 943.929,26	R\$ 1.018.522,09	R\$ 1.095.464,75	R\$ 1.174.596,25
2042	R\$ 2.203.110,33	R\$ 2.385.262,22	R\$ 2.573.754,59	R\$ 2.768.184,86	R\$ 2.968.146,22

A partir da análise dos dados apresentados nas Tabelas (1), (2) e (3) e confrontado aos valores das parcelas anuais do aerogerador Tabela (4), é possível perceber que as parcelas do aerogerador pagas anualmente se mostram menores que os gastos com energia elétrica convencional para um mesmo ano. Assim, mostrando que a aquisição do aerogerador é positiva e viável financeiramente para a Universidade.

5. Considerações Finais

Diversificar a matriz energética do Brasil, fazendo uso de fontes de energia renováveis, como energia eólica, energia solar, dentre outras, é um importante passo para tornar o país mais sustentável. Como foi dito no decorrer do trabalho, a sustentabilidade não está ligada apenas ao lado ambiental, como também econômico e social.

Frente a isso, a energia eólica se mostra como uma das principais alternativas para substituir as fontes de energia convencionais, visto que ela causa pouquíssimos danos ao meio ambiente e a população, principalmente quando comparada com as hidrelétricas, uma das principais fontes de energia do país.

Com a realização deste trabalho, foi possível reconhecer que a energia eólica, além das vantagens apontadas acima, também é vantajosa no tocante a redução no gasto financeiro de energia. É possível chegar a essa conclusão ao comparar os valores encontrados nas Tabelas (1), (2) e (3) e os valores dispostos na Tabela (4), uma vez que ao se analisar as parcelas do aerogerador para uma projeção com

taxas de 6% a 10% ao ano, e aumento de 5% ao ano nos valores das contas de energia pagas nos próximos 20 anos, essas parcelas ainda se mostram consideravelmente menores que as projeções de gastos com a energia elétrica convencional, para um mesmo ano. Tornando possível afirmar que a implantação do aerogerador é uma alternativa viável para a Universidade.

É importante ressaltar que, apesar da análise econômica mostrar que a aquisição do aerogerador seja um investimento favorável economicamente, este trabalho é apenas uma sugestão para a diversificação da matriz energética do país, apresentando uma alternativa sustentável como fonte de energia. Para a instalação de um aerogerador no campus JK em Diamantina, seria necessário todo um estudo técnico acerca da geografia do local, estudo aprofundado do vento e uma análise da logística para transportar uma torre eólica para a cidade.

É possível afirmar, sem hesitação, que a energia eólica terá um grande papel na melhoria da sustentabilidade do país e uma das principais alternativas para se diversificar a matriz energética do Brasil. Apesar de todas as suas vantagens e seus avanços, ainda há muitas melhorias a serem feitas nesse setor nos próximos anos.

Referências

ABEEólica, 2019. *Boletim Anual de Geração Eólica*. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2020/06/PT_Boletim-Anual-de-Gera%C3%A7%C3%A3o-2019.pdf> [Acessado 15 setembro 2020].

ABEEólica, 2020. *Impactos Socioeconômicos e Ambientais da Geração de Energia Eólica no Brasil*. São Paulo. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2020/10/ABEE%C3%B3lica_GO-Associados-V.-Final.pdf> [Acessado 15 setembro 2020].

Abreu, C.A.C.D., Neto, J.D.P.B., Heneck, L.F.M., 2008. Avaliação Econômica de Empreendimentos Imobiliários Residenciais: Uma análise comparativa. In: *XXVIII ENEGEP*, Rio de Janeiro.

Almeida, F., 2002. *O bom negócio da sustentabilidade*. Rio de Janeiro: nova fronteira, 2002.

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2002. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. 1 ed. Brasília.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2003. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_eolica/6_3.htm> [Acessado 22 julho 2020].
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2015. *Geração Distribuída*. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introducao-1/656827?inheritRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Finformacoes-tecnicas%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_CegkWaVJWF5E%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2> [Acessado 09 outubro 2020].
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2020. *Guia de Microgeradores Eólicos*. Disponível em: <<https://institutoideal.org/guiaeolica/>> [Acessado 01 julho 2020].
- Barbier, E., 1989. *Economics, natural resource scarcity and development: conventional and alternative views*. London: Earthscan Publications.
- Bellen, H.M.V., 2005. *Indicadores de Sustentabilidade: Uma Análise Comparativa*. 1 ed. Rio de Janeiro: FGV.
- CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, 2001. *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*. Brasília, 2001. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf> [Acessado 10 agosto 2020].
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, 1986. *Resolução 01/1986: Impacto ambiental*. Publicada no DOU, de 17 de fevereiro de 1986.
- Dias, R., 2011 *Gestão Ambiental - Responsabilidade Social e Sustentabilidade*. 2 ed. São Paulo: Atlas.
- Filho, N.C., Kopitke, B.H., 2010. *Análise de Investimentos*. 11 ed. São Paulo: Atlas.
- Fiorini, E., 2005. *Ferramenta Para Auxílio à Análise de Viabilidade Técnica da Conexão de Parques Eólicos à Rede Elétrica*. Tese de Mestrado. Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Goldemberg, J., Villanueva, L D., 2003. *Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento*. São Paulo: Edusp.
- Guimaraes, D., 2019. *Sustentabilidade. Meio sustentável*. Disponível em: <<https://meiosustentavel.com.br/sustentabilidade/>> [Acessado 10 janeiro 2021].
- Hirschfeld, H., 1989 *Engenharia econômica e Análise de Custos*. 4 ed. São Paulo: Atlas.
- Lopes, U.M., 2009. *Educação e sustentabilidade*. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Bahia.
- Motta, R.D.R., Calôba, G.M., 2002. *Análise de Investimentos*. 1 ed. São Paulo: Atlas.
- Neto, A.A., Silva, C.A.T., 2012. *Administração do capital de giro*. 4 ed. São Paulo: Atlas.
- Uniprime. *O que é sustentabilidade?* edição 1, outubro/2016. Disponível em: <<https://www.sispri.medobrasil.com.br/artigo/edicao01/o-que-e-sustentabilidade->> [Acessado 11 abril 2021].
- Oliveira, A.R., 1975. *Sistema operacional para agências de desenvolvimento: um modelo otimizado para o caso brasileiro*. Tese de Mestrado. COPPE, Rio de Janeiro.
- Gonçalves, C.W.P., 2002. *Os (des) caminhos do meio ambiente*. São Paulo: Contexto, 2002.
- Rocha, E.G., Souza, C.A., Dalfior, V.A.O., 2016. *Estudo de Viabilidade Econômica Financeira Caso Modelo – Edificação Em São João Del Rei – Minas Gerais*. In: XIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia (SEGet). Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos16/862458.pdf>> [Acessado 08 setembro 2020].

Simas, M., Pacca, S., 2013. *Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável*. Estudos avançados, 27(77), pp.99-115.
<https://doi.org/10.1590/S0103-40142013000100008>

Souza, A.B.D., 2003. *Projetos de Investimento de Capital: Elaboração, Análise e Tomada de Decisão*. 1 ed. São Paulo: Atlas.

Udaeta, M.E.M., 1997. *Planejamento Integrado de Recursos (PIR) para o Setor Elétrico (pensando o desenvolvimento sustentável)*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

UN – United Nations, 1987. *Report of the World commission on environment and Development: Our Common Future*. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>> [Acessado 05 novembro 2020].

Weber, H.M., 2005. *A importância do armazenado no manejo de resíduos industriais*. 2010. Monografia de Graduação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Windbox, 2020. *Componentes dos aerogeradores: conheça toda a sua estrutura*. Disponível em: <<https://windbox.com.br/blog/componentes-dos-aerogeradores/>> [Acessado 07 maio 2021].

Zaparolli, D., 2019. *Ventos Promissores a Caminho*. Revista Pesquisa FAPESP. Jan. 2019. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/ventos-promissores-a-caminho/>> [Acessado 10 setembro 2020].