UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ENGENHARIA DE MINAS

BRUNA RODRIGUES CORDEIRO

ANÁLISE CRÍTICA DE UM ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO FLUTUANTE EM RESERVATÓRIO INDUSTRIAL

OURO PRETO
2021

BRUNA RODRIGUES CORDEIRO

ANÁLISE CRÍTICA DE UM ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO FLUTUANTE EM RESERVATÓRIO INDUSTRIAL

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a Universidade Federal de Ouro Preto, como parte das exigências para obtenção de aprovação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Miranda

Ouro Preto, 16 de dezembro de 2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C794a Cordeiro, Bruna Rodrigues.
Análise crítica de um estudo de viabilidade econômica para implantação de um sistema solar fotovoltaico flutuante em reservatório industrial. [manuscrito] / Bruna Rodrigues Cordeiro. - 2021.
34 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Miranda.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Minas e mineração. 2. Desenvolvimento sustentável - Economia circular. 3. Sistemas de energia fotovoltaica. I. Miranda, José Fernando. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.013:621.472

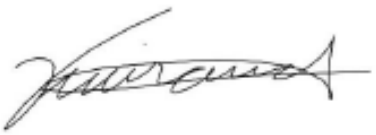
Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Departamento de Engenharia de Minas - DEMIN

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 16 dias do mês de dezembro de 2021, às 16h00min, foi instalada a sessão pública remota para a defesa de Trabalho de Conclusão de Curso da discente **Bruna Rodrigues Cordeiro** matrícula 17.2.5907, intitulado: **"ANÁLISE CRÍTICA DE UM ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO FLUTUANTE EM RESERVATÓRIO INDUSTRIAL"**, perante comissão avaliadora constituída pelo orientador do trabalho, Prof. Dr. José Fernando Miranda, Prof.ª Dr.ª Rita de Cássia Pedrosa e Prof. Dr. Daniel Silva Jaques. A sessão foi realizada com a participação de todos os membros por meio de videoconferência, com base no regulamento do curso e nas normas que regem as sessões de defesa de TCC. Incialmente, o presidente da comissão examinadora concedeu à discente 20 (vinte) minutos para apresentação do seu trabalho. Terminada a exposição, o presidente concedeu, a cada membro, um tempo máximo de 20 (vinte) minutos para perguntas e respostas à candidato sobre o conteúdo do trabalho, na seguinte ordem: primeiro, a Prof.ª Dr.ª Rita de Cássia Pedrosa, segundo o Prof. Dr. Daniel Silva Jaques e, em último, Prof. Dr. José Fernando Miranda. Dando continuidade, ainda de acordo com as normas que regem a sessão, o presidente solicitou à discente e aos espectadores que se retirassem da sessão de videoconferência para que a comissão avaliadora procedesse à análise e decisão. Após a reconexão da discente e demais espectadores, anunciou-se, publicamente, que a discente foi aprovada por unanimidade, com a nota 9,0 (nove vírgula zero) A discente, por sua vez, encaminhará para o Repositório Institucional da UFOP, no prazo máximo de 15 (quinze) dias, uma versão final, contemplando todas as recomendações apresentadas pelos avaliadores. Para constar, foi lavrada a presente ata que, após aprovada, foi assinada pelo presidente da comissão. Ouro Preto, 16 de dezembro de 2021.

Presidente: Prof. Dr. José Fernando Miranda



Membro: Prof.ª Dr.ª Rita de Cássia Pedrosa

Membro: Prof. Dr. Daniel Silva Jaques

Discente: Bruna Rodrigues Cordeiro

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Ronilson e Simone e meu irmão Arthur por todo carinho, cuidado e incentivo. Por sempre lutarem para que eu tivesse as melhores condições para concluir meus estudos.

À eterna Maria José Guerra por ser símbolo de força, amor, elo, resistência e proteção. Todos os cafés com leite pela manhã me deram força para enfrentar cada dia com o coração quentinho.

Às famílias Rodrigues, Guerra e Silva, por estarem comigo e me apoiarem em cada vitória e grandes dificuldades da vida. Sem vocês, eu não estaria aqui. Em especial a minha querida avó Terezinha (*in memorian*), por todo o amor que nos uniu.

Ao meu parceiro, Mateus, por todo amor, carinho e paciência. Você fez parte de cada página escrita deste trabalho.

Às minhas melhores amigas Ana Baptista e Thais Furieri, por toda cumplicidade, irmandade e por acompanhar cada passo da minha trajetória.

Aos queridos amigos que fiz ao longo deste curso, João Pedro Mau, Fernanda Hoffmann, Guilherme Gualandi, Luis Felipe Faria e Taís Ribeiro, vocês fazem parte desta vitória.

Aos colegas, Alfredo, Fernanda, Juliano, Lígia e Monique por todo incentivo, apoio e contribuição para minha vida profissional.

À Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas e ao Departamento de Engenharia de Minas pelo excelente ensino público.

Ao meu orientador José Fernando por ter aceitado este desafio e me apoiado nessa etapa de conclusão de curso.

À república Volkana, por sempre me receber de braços abertos com muito carinho, se tornando meu refúgio em Ouro Preto e minha eterna casa do coração.

RESUMO

A proposta deste trabalho é realizar uma análise crítica de um estudo sobre a viabilidade de implantação de um sistema solar fotovoltaico flutuante em um reservatório industrial em uma empresa de mineração. O principal objetivo é focar nesta nova tecnologia para reduzir a captação de água nova nos processos de mineração e ainda gerar energia limpa e sustentável, contribuindo assim para a Economia Circular. Apesar de ser um tema ainda em desenvolvimento no Brasil e no mundo, este estudo apresenta resultados promissores acerca do projeto, já que é um projeto autossuficiente, ou seja, irá trazer todo o retorno investido em determinado período. Além destes fatores, um tópico muito importante a ser abordado é a redução de emissão de CO_2 na atmosfera. Este último assunto vem intensivamente sendo abordado nos últimos anos, o que consolidou o mais recente Acordo de Paris, que visa firmar o compromisso de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e incentivar a regularização do mercado de carbono nos países. Assim como diversos outros estudos sobre o assunto, o presente trabalho deixa, por fim, a possibilidade de desenvolvimento em linhas de pesquisa similares, com projetos que envolvam maiores áreas e exploração mais aprofundada do tema.

Palavras-chave: usina fotovoltaica; economia circular; Acordo de Paris; gases de efeito estufa; mineração.

ABSTRACT

The purpose of this work is to carry out a study on the feasibility of deploying a floating photovoltaic solar system in an industrial reservoir in a mining company. The main objective of this work is to focus on this new technology to reduce new water uptake in mining processes and still generate clean and sustainable energy, thus contributing to the Circular Economy. Despite being a topic that is still under development in Brazil and around the world, this study presents promising results about the project, as it is a self-sufficient project, meaning, it will bring all the return invested in a given period of time. In addition to these factors, a very important topic to be addressed is the reduction of CO_2 emission into the atmosphere. This last issue has been intensively addressed in recent years, consolidating the most recent Paris Agreement, which aims to sign a commitment to reduce greenhouse gas emissions and encourage the regularization of the carbon market in countries. Alongside several other studies on the subject, this work makes possible, finally, the possibility of development in similar lines of research, with projects that involve larger areas and deeper exploration of the subject.

Key words: photovoltaic system; circular economy; Paris agreement; greenhouse gases; mining.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Economia Circular 14
Figura 2: Participação dos setores no perfil das emissões brasileiras 15
Figura 3: Funcionamento de Sistema Solar Fotovoltaico 19
Figura 4: Esboço de uma instalação fotovoltaica flutuante. 20
Figura 5: Usina solar fotovoltaica flutuante localizada na Fazenda Figueiredo das Lages 21
Figura 6: Usina solar fotovoltaica flutuante localizada no Reservatório de Sobradinho 22
Figura 7: Localização do município de Barro Alto dentro do Estado de Goiás 24
Figura 8: Mapa para consulta de dados de irradiação de Barro Alto 25
Figura 9: Ângulo de inclinação para instalação das placas 27
Ajustar a figura no texto Figura 10: *Payback* 30
Figura 11: Economia Acumulada em 25 anos 30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Médias do Total Diário da Irradiação Direta Normal em Wh/$Km2$.dia.....25
Tabela 2 – Equipamentos e materiais necessários para a instalação 28
Tabela 3 – Simulação de geração de energia do sistema.....28

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 11

2. OBJETIVOS 12

2.1 OBJETIVO GERAL 12

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 12

3. CONTEXTUALIZAÇÃO 13

3.1 ECONOMIA CIRCULAR 13

3.2 GASES DE EFEITO ESTUFA 14

3.3 O ACORDO DE PARIS 16

3.4 ENERGIA SOLAR 17

3.5 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO 18

3.6 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO FLUTUANTE 19

3.7 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO FLUTUANTE: INICIATIVAS 20

4. METODOLOGIA 23

4.1 DESCRIÇÃO DO TRABALHO 23

4.2 ÁREA DE ESTUDO 23

4.5 ESPECIFICAÇÕES PARA SIMULAÇÃO 24

4.6 TAXA DE EVAPORAÇÃO LOCAL 26

4.7 INCLINAÇÃO DAS PLACAS 26

5. DESENVOLVIMENTO – RESULTADOS E DISCUSSÕES 28

5.1. CONCLUSÃO 31

6. REFERÊNCIAS 32

1. INTRODUÇÃO

A mineração pode ser considerada uma grande consumidora de energia no país e no mundo, a utilização de insumos energéticos ocorre em praticamente todas as fases da operação, desde a prospecção até a entrega do produto ao cliente. A Vale, por exemplo, apresenta um consumo médio de 1150 MW de energia elétrica no Brasil (VALE, 2021), e não apenas se tratando de mineração, segundo a CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (2021), a demanda por energia elétrica em Minas Gerais no primeiro semestre de 2021, cresceu 9,36% na comparação com o mesmo período no ano anterior e 2,8% em relação à primeira metade de 2019. Este fato assume um destaque negativo no cenário mundial, já que atualmente o Brasil vive uma das maiores crises hidrelétricas de sua história, nos últimos 90 anos, segundo Braz Justi (2021), CEO da Esfera Energia. Esta crítica situação fomenta e pauta dos assuntos mais comentados da atualidade, a Economia Circular e o Acordo de Paris.

O conceito de Economia Circular vem emergindo de forma a agregar mais valor aos produtos. Pode-se associar a isto a prática de responsabilidade social e ambiental no processo de produção, aplicando tecnologias avançadas de forma a utilizar de maneira otimizada os recursos disponíveis, bem como minimizar os impactos causados nas etapas de produção industrial, trazendo um retorno positivo ao meio ambiente (BRADY, 2016).

Um forte fator que conecta a economia circular e a mineração é a necessidade de reduzir as emissões de carbono. O Acordo de Paris firmado em 2016, segundo Albuquerque (2018), trata exatamente desta questão e prevê medidas para a redução das emissões de gases de efeito estufa a partir de 2020. O Brasil, ainda segundo a autora, tem o compromisso de, até 2025, reduzir em 37% as emissões de GEE no meio ambiente, em relação a 2005. Por isso, a busca por fontes de energia renovável vem crescendo cada vez mais. Além deste acordo, há também um grande valor econômico atrelado a esta mudança, a autora menciona também um relatório da *New Climate Economy* que simula uma oportunidade de ganho econômico direto de US$ 26 trilhões, e 65 milhões de novos empregos até 2030. Diante disso, as empresas iniciaram uma grande corrida em busca da redução de suas emissões, através de iniciativas sustentáveis.

Sendo assim, o objetivo deste estudo é abordar os fatores que provocam a necessidade de se realizar a atividade mineral, de forma mais consciente e sustentável, propondo uma alternativa de consumo de energia limpa que agregue um valor ambiental e também otimize o processo produtivo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar uma alternativa para geração de energia, que aproveite a área disponível em reservatórios de água na mineração, gerando energia limpa e renovável como forma de reduzir o índice de evaporação de água, diminuindo a perda de água por este fator.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para tanto, os objetivos específicos foram:

a) Realizar uma análise crítica de um estudo de caso relacionado a um projeto de energia solar fotovoltaica flutuante;
b) Analisar a viabilidade econômica do projeto;
c) Apresentar os retornos desta alternativa para a mineração.

3. CONTEXTUALIZAÇÃO

3.1 ECONOMIA CIRCULAR

Segundo Boff (2017), em 1972 foi realizada a primeira conferência mundial sobre o homem e o meio ambiente, e apesar de os resultados a curto prazo não terem sido significativos, a partir desta conferência foi criado o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, que hoje pode ser considerada a principal autoridade ambiental global que determina a agenda internacional sobre o meio ambiente. Logo, começou-se a discutir e atentar-se mais às relações do desenvolvimento da humanidade com o meio ambiente, surgindo então o conceito de desenvolvimento sustentável, que pode ser entendido como algo que supre as necessidades da sociedade atual, sem afetar o desenvolvimento de gerações futuras, não interferindo em suas necessidades e anseios.

Entretanto, com o passar dos anos, a ideia de desenvolvimento sustentável se resumiu em minimizar impactos negativos, reduzir pegadas ecológicas, neutralizar emissões, aumentar a eficiência na aplicação dos recursos, e isto, para Leitão (2015), é apenas continuar produzindo da mesma maneira, porém causando menos impactos. Na visão do autor, isto apenas posterga os problemas, mas não os soluciona.

Diante disso, surge então a ideia de uma economia circular, que apesar de estar em destaque mundial atualmente, é um conceito que também surgiu na década de 70, porém está sendo colocado em prática apenas agora. Explicitando este conceito, a ideia de economia circular parte do reinvestimento daquilo que antes era considerado um desperdício de excedente (Leitão 2015), inserindo então este excedente novamente no mercado e aproveitando de forma otimizada também os subprodutos do processo produtivo.

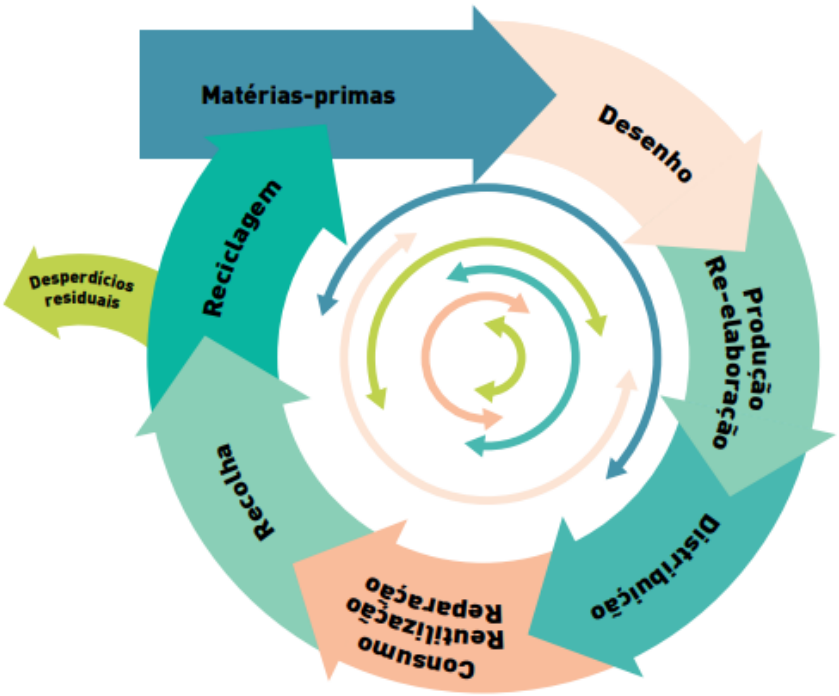
Ainda segundo Leitão (2015), a primeira publicação que aborda a teoria de economia circular fechada foi no artigo *The Product-Life Factor* que recebeu um prêmio no *U.S. Mitchell Prize* produzido pelo arquiteto suíço *Walter R. Stahel*, que descreveu os impactos desta economia no âmbito de eficiência de recursos, prevenção da geração de resíduos, criação de emprego e o papel da inovação, defendendo a ampliação da vida útil dos produtos – reutilização, reparação, renovação e reciclagem.

A *Ellen MacArthur Foundation* foi estabelecida em 2010 com a missão de acelerar a transição rumo a uma economia circular, trabalhando com empresas, governos e instituições de ensino para construir uma economia que seja regenerativa e restaurativa desde o princípio.

> Esta organização defende que a Economia Circular substitui o conceito de "fim-de-vida" pela restauração, evolui para a utilização de energia renovável, elimina o uso de produtos químicos tóxicos que prejudica a reutilização, e tem como objetivo a eliminação de resíduos através do design superior de materiais, produtos, sistemas e modelos de empresas *(*LEITÃO, 2015, p.158*)*.

A Figura 1 representa o fluxo de como funciona esta teoria, partindo da extração da matéria prima *in natura*, seu tratamento e direcionamento, produção de bens, distribuição para os consumidores, consumo – incluindo o uso, reuso e reparação, descarte reciclável e retornando ao ciclo novamente. Desta forma, como indicado pela seta "*desperdícios residuais*", promovendo o menor descarte sem reuso possível, otimizando a utilização como um todo.

Figura 1: Economia Circular



Fonte: Jornada técnica sobre Economia Circular (2019).

3.2 GASES DE EFEITO ESTUFA

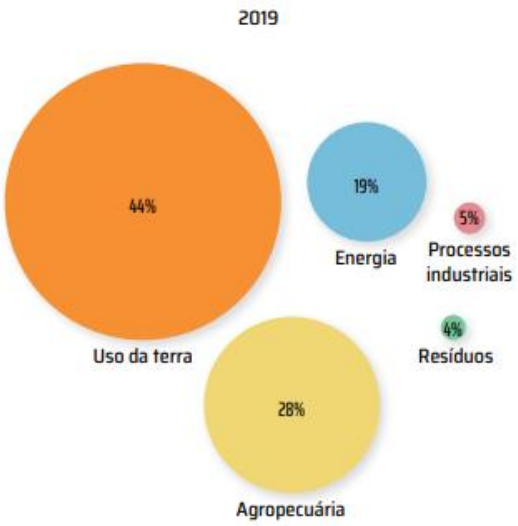
Um tema que vem sendo bastante debatido na agenda da educação ambiental no século 21 é o aquecimento global. Este termo pode ser entendido como um fenômeno climático ao qual eleva-se a temperatura média da superfície da Terra provocando diversas alterações no ciclo comum da natureza. Este fenômeno pode ser causado por diversos fatores, incluindo a

emissão dos GEE (gases de efeito estufa) pelas indústrias que são grandes contribuintes que impulsionam e agravam a atuação deste fenômeno no planeta.

O principal gás responsável pelo efeito estufa, segundo Silva e Paula (2009), é o vapor d'água troposférico, sendo este de fontes naturais. Contudo, há uma parcela de responsabilidade de ação humana contribuinte para isto, a emissão dos gases CO_2, CH_4 e N_2O. Nos últimos anos pôde-se observar um crescimento da emissão desses gases de efeito estufa, em especial CO_2, tornando-se o efeito estufa um grande protagonista das discussões mundiais sobre a influência no aquecimento global. Dados publicados pelo SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (2020), apontam que no ano de 2019 houve um aumento de 9,6% das emissões brutas dos gases de efeito estufa no Brasil. Ainda segundo o estudo elaborado pela SEEG, o país lançou na atmosfera, neste mesmo ano, 2,17 bilhões de toneladas de dióxido de carbono. Essa realidade pode ser justificada por diversos acontecimentos como a governança federal de clima dissolvida, eliminação da Secretaria de Mudança do Clima e Florestas do Ministério do Meio Ambiente e o fato de terem sido deixados para segundo plano a prevenção e o controle do desmatamento (ALBUQUERQUE et. al., 2020).

Este estudo mapeou, ainda, a participação dos diferentes setores de atividades humanas nas emissões brasileiras destes gases, destacando-se com 44% das emissões o uso da terra – sendo o desmatamento na Amazônia um forte contribuinte. Em segundo lugar, observa-se a agropecuária com 28%, seguida do setor energético (19%), processos industriais (5%) e geração de resíduos (4%), como mostra a Figura 2.

Figura 2: Participação dos setores no perfil das emissões brasileiras



Fonte: ALBUQUERQUE, et al, (2020).

3.3 O ACORDO DE PARIS

O Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), segundo sua própria definição, pode ser entendido como "*uma associação sem fins lucrativos que promove o desenvolvimento sustentável por meio da articulação junto aos governos e a sociedade civil, além de divulgar os conceitos e práticas mais atuais do tema*" (CEBDS, 2021). Este conselho traz à tona diversos assuntos relacionados à sustentabilidade empresarial, e um tema bastante abordado nos últimos anos é o Acordo de Paris. Este acordo, segundo um artigo publicado pelo CEBDS (2019), tem como objetivo promover ações para reduzir o aquecimento global, e foi elaborado para substituir o Protocolo de Kyoto a partir de 2020. Este conselho, nas suas diretrizes, considera que há controvérsias sobre o desenvolvimento da sociedade como um todo, acerca da agressão ou não do meio ambiente para este fim, contudo se faz necessário de maneira urgente encontrar um equilíbrio entre desenvolvimento econômico e social com o meio ambiente, pois ambos precisam coexistir para preservar as espécies como um todo. Portanto, é imprescindível que se elaborem planos de desenvolvimento sustentável, e que as mineradoras sejam essenciais apoiadoras deste movimento.

Cabral (2019) explicita ainda os principais pontos do Acordo de Paris, que são: limitar o aumento médio da temperatura global a 1,5°C, reduzir a vulnerabilidade a eventos climáticos extremos em países menos desenvolvidos, estimular o suporte financeiro e tecnológico por parte dos países desenvolvidos, de forma a ampliar as ações que levam ao cumprimento das metas para 2020 dos países menos desenvolvidos. Além disso, visa também promover o desenvolvimento tecnológico e transferência de tecnologia, promover capacitações para adaptação às mudanças climáticas e proporcionar a cooperação entre a sociedade civil, o setor privado, instituições financeiras, cidades, comunidades e povos indígenas para ampliar e fortalecer ações de mitigação do aquecimento global (CABRAL, 2019).

A CEBDS (2018) apresentou em um de seus estudos dados sobre as emissões das empresas associadas a ela, bem como um detalhamento de ações tomadas por estas companhias para contribuir e cumprir com o Acordo de Paris. Neste material, foram apresentados dados de emissões, aos quais 38 empresas participantes do estudo – sendo elas 21 brasileiras – foram responsáveis, em 2015 e 2016, por uma emissão total global de GEE de 360 e 259 milhões de toneladas de dióxido de carbono (tCO_2), respectivamente. Isto representa aproximadamente 1% e 0,7% das emissões de CO_2 do mundo todo e 17% e 11% das emissões de GEE do Brasil nesses anos (ALBUQUERQUE, 2018).

Diante disso, as maiores empresas de mineração do Brasil como Anglo American, Vale, ArcelorMittal, entre outras, estão buscando, cada vez mais, elaborar projetos e ações na busca do caminho sustentável e da redução das emissões de CO_2. Albuquerque (2018) aponta, ainda, que entre os anos de 2015 e 2018 as empresas brasileiras implantaram cerca de 1.340 projetos que envolvem eficiência energética, otimização de processos e busca por fontes energéticas de baixo carbono.

3.4 ENERGIA SOLAR

Na literatura recente, são apresentados diversos projetos que buscam fontes energéticas de baixo carbono. Podem ser citadas neste contexto usinas solares fotovoltaicas, que segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2020), é uma modalidade de geração que vem crescendo nos últimos 7 anos, em média 151% ao ano. A energia solar tem uma história não muito recente. Segundo a Órigo Energia (2020), o pesquisador francês Alexandre Becquerel descobriu o efeito fotovoltaico em 1839 e em contribuição a isto o famoso Albert Einstein, foi premiado em 1921 com o Nobel de Física com a "Teoria do Efeito Fotoelétrico". Estas colaborações foram essenciais para o desenvolvimento de pesquisas importantes para a tecnologia dos painéis solares.

O artigo publicado pelo BNDES, que aborda o desenvolvimento tecnológico e a inserção da energia solar no Brasil, aponta o potencial de aplicações para energia solar no Brasil e para exemplificar isto, os autores Esposito e Fuchs (2013), lembram algumas características apontadas pelo Instituto Ideal de Santa Catarina.

> O menor nível de irradiação solar no Brasil é 40% superior ao maior nível de irradiação solar na Alemanha, que detém o maior mercado de energia solar do mundo e cujo território é equivalente ao estado de São Paulo e se fossem instalados sistemas fotovoltaicos sobre o lago da Usina Hidrelétrica de Itaipu (área de 1.350 km^2) a energia elétrica gerada seria equivalente à metade da demanda nacional (ESPOSITO; FUCHS, 2013, p. 104).

Ainda segundo Esposito e Fuchs (2013):

> Para reforçar as estimativas do Instituto Ideal, aponta-se que a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) estimou que todo o consumo de energia do Sistema Interligado Nacional, verificado em 2011, poderia ser atendido com o recobrimento com painéis fotovoltaicos de uma área de 2.400 km^2– cerca da metade da área do município de Salvador (BA). Essas medidas foram estimadas para uma irradiação anual de 1.400 kWh/m^2/ano, considerada baixa para as mensurações realizadas no Brasil. A Região Nordeste tem irradiação em patamares acima de 2.000 kWh/m^2/ano (ESPOSITO; FUCHS, 2013, p. 104).

Portanto, diante do imenso potencial do país na geração de energia solar, que é uma energia limpa, o presente trabalho aborda esta alternativa para contribuir com o Acordo de Paris, de forma a aumentar o consumo de energia limpa, especificamente por mineradoras. Entretanto, o foco não está apenas na geração de energia, mas também na redução do consumo de água nova no processo minerário.

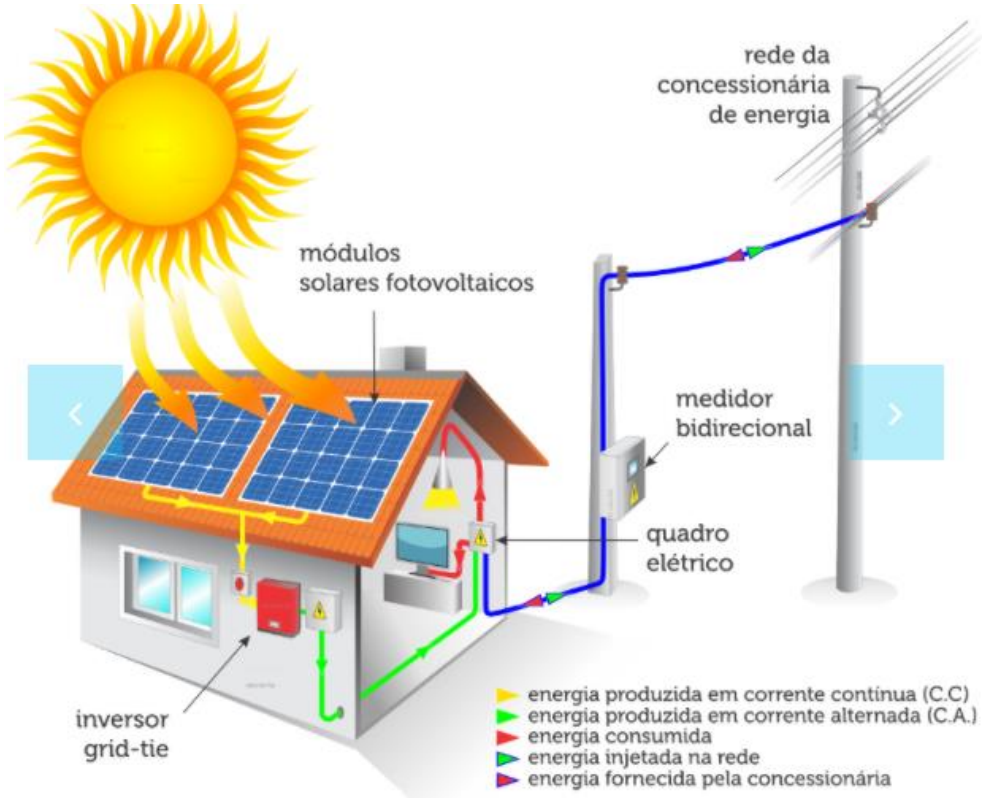
A água é um recurso estratégico para a mineração, segundo o artigo publicado pela Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS, "O Uso da Água na Mineração: Uma Análise da Produção Científica Internacional", escrito por Bichueti *et. al.* (2014), a indústria mineral está entre as maiores usuárias de água no Brasil. Estas atividades englobam o uso acentuado da água em diversos empreendimentos, desde pequeno porte como pequenos garimpeiros até grandes empresas. Pode-se destacar um consumo muito elevado de água em todas as etapas da mineração, desde a etapa de pesquisa mineral até aquelas que mais consomem este recurso, como nas etapas de beneficiamento do minério – moagem, peneiramento, flotação, etc. incluindo aí as etapas auxiliares como eliminação da poeira e lavagem (GUNSON, *et. al*, 2012). O processo de flotação de minérios pode requerer em média de 1,9 a 3,0 m³ de água por tonelada de minério (BICHUETI, *et al*, 2014). Por isso, se faz necessário investir em tecnologias que têm como foco o aumento do índice de recirculação otimizando ao máximo a utilização deste recurso, principalmente nas etapas de beneficiamento mineral.

3.5 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

O sistema solar fotovoltaico produz energia a partir da luz do sol, quanto mais irradiação solar, maior será a quantidade de energia gerada, sendo esta, uma energia limpa, renovável e sustentável.

A geração acontece nas células fotovoltaicas que são normalmente feitas de silício ou outro material condutor, sendo agrupadas em painéis fotovoltaicos – Figura 3, as quais, quando expostas à irradiação solar, produzem uma tensão elétrica em seus terminais, através de uma reação química responsável por produzir a energia elétrica. Logo, a corrente contínua gerada nos painéis é transformada em corrente alternada através do inversor – equipamento responsável pela conversão da energia para os padrões da rede da concessionária (corrente alternada) – deixando-a pronta para ser utilizada (AES BRASIL, 2017).

Figura 3: Funcionamento de Sistema Solar Fotovoltaico



Fonte: ENGEGRID, 2019.

Durante o dia, na presença de sol, o sistema gera energia, já durante a noite faz-se o uso de energia da concessionária. Sendo assim, quando se gera mais que se consome, o excedente entra na rede de distribuição e ganha-se créditos para ser usados em até 60 meses (AES BRASIL, 2017).

3.6 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO FLUTUANTE

O sistema fotovoltaico flutuante funciona de maneira semelhante ao convencional, a grande diferença está no local de instalação. Enquanto o convencional é instalado em solo firme, o flutuante é instalado sobre grandes áreas aquáticas.

Sendo assim, segundo Lopes e Junior (2016), esta instalação requer os seguintes itens (Figura 4): um sistema de flutuação, o qual é composto por um corpo flutuante que permitirá a instalação do módulo fotovoltaico; um sistema de ancoragem, para que seja possível ajustar o sistema às flutuações do nível de água, enquanto se mantém a posição do sistema na direção favorável para captação; o sistema fotovoltaico, instalado sobre o sistema de flutuação; os cabos de energia, para que seja possível a transferência de energia.

Figura 4: Esboço de uma instalação fotovoltaica flutuante.

Fonte: Lopes e Junior, 2016.

Diante do exposto, este estudo busca analisar a viabilidade da instalação de um projeto deste porte em reservatórios de água na mineração. Estes reservatórios têm a finalidade de armazenar, resfriar e recircular a água dentro do processo de beneficiamento, e diante da grande dificuldade em conseguir outorgas para captação de água nova e, em contribuição à economia circular, se faz necessário o estudo de tecnologias que aumentem a recirculação de água no processo, otimizando ao máximo a utilização deste recurso natural.

3.7 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO FLUTUANTE: INICIATIVAS

Devido a diversos fatores como a crise hídrica vivida pelo país em 2021, a legislação ambiental mais rigorosa, os acordos ambientais e o marketing para uma mineração mais sustentável, as mineradoras se veem em uma situação delicada na busca pelo aumento da recirculação de água no processo, de forma a reduzir ao máximo a necessidade de captação de água nova. Em uma pesquisa realizada pela Agência Nacional de Águas, Medeiros (2019), comprovou que, em 148 reservatórios analisados, a evaporação foi responsável pelo segundo maior consumo de água, atrás apenas da irrigação na agricultura (LUCAS, 2021).

Diante disso, empresas como a Hydro Paragominas estão investindo em alternativas que buscam reduzir as perdas por evaporação. Segundo o próprio site de relacionamento e notícias da empresa, firmou-se uma parceria com a Universidade Federal do Pará (UFPA), em 2021, para que a universidade realize estudos acerca da viabilidade de implantação de um projeto de placas solares na sua mina de bauxita Paragominas, no Pará. Esta pesquisa terá duração de dois anos, na qual serão realizados testes com um sistema fotovoltaico flutuante no reservatório de água da empresa. Esta pesquisa tem como objetivos diminuir a evaporação da

água dos reservatórios da planta e abastecer parte do consumo de energia da própria mina. Para isto, será feita uma avaliação preliminar de uma área de 156 m² na fase de testes, com a ideia de que a cada mil metros quadrados gere 50 MW com o sistema fotovoltaico instalado (IBRAM, 2021).

Além deste, outro caso que pode ser citado como incentivo à esta nova tecnologia, é a tese de doutorado da pesquisadora Mariana Padilha Campos Lopes (2020), que teve como estudo de caso a bacia Apodi-Mossoró (RN). Esta autora fez uma análise de viabilidade da utilização de usinas fotovoltaicas flutuantes como alternativa para a geração de energia e redução da evaporação em açudes do semiárido brasileiro, destacando que a taxa de evaporação média na bacia de Apodi-Mossoró, é de 5,34 mm por dia, o que representa anualmente 45,6% da capacidade dos açudes estudados da região. A proposta de cobrir aproximadamente 20% da superfície dos açudes da bacia com a instalação das placas, resultaria na economia de 1 ano de consumo da população da bacia (LOPES, 2020).

Apesar de ser uma tecnologia recente, já vem sendo utilizada no Brasil. A primeira usina solar fotovoltaica flutuante do país está localizada na Fazenda Figueiredo das Lages (Figura 5), no município de Cristalina, Goiás. A lagoa artificial utilizada para irrigação contém cerca de 1.150 painéis fotovoltaicos e uma produção está estimada em 50 megawatts-hora/mês (MWh/mês) (IT SOLAR, 2018).

Figura 5: Usina solar fotovoltaica flutuante localizada na Fazenda Figueiredo das Lages

Fonte: Canal Bioenergia, (2017).

Já o maior projeto do país, está localizado no reservatório de Sobradinho, na Bahia (Figura 6). Instalada pela Companhia Hidroelétrica do São Francisco (Chesf), este projeto é

composto por 3.792 módulos fotovoltaicos, que foram instalados em uma área de 11.000 m^2e uma potência de geração de 1 MWp (PORTAL SOLAR, 2019).

Figura 6: Usina solar fotovoltaica flutuante localizada no Reservatório de Sobradinho

Fonte: Grupo Genergia, (2019).

Estas iniciativas estão sendo monitoradas e apresentam resultados promissores. NETTO (2016), mostra que caso fosse utilizado 8% das áreas totais dos reservatórios brasileiros, seria possível produzir anualmente cerca de 444.333 GWh. Esta quantidade de energia gerada, corresponderia a, aproximadamente, 70% de toda a energia elétrica consumida no ano de 2014. Estes dados justificam a necessidade de mais estudos e mais aplicações destas técnicas de geração alternativa de energia.

4. METODOLOGIA

4.1 DESCRIÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho foi desenvolvido para analisar a viabilidade da instalação de placas solares fotovoltaicas flutuantes, com o intuito de aumentar o consumo de energia limpa e sustentável na mineração, de forma a contribuir com o Acordo de Paris. Além disso, esta análise também está atrelada à redução do consumo de água nova no processamento mineral, já que este é um tema que contribui para a Economia Circular assim como o Acordo de Paris. Desta forma, visa promover uma mineração cada dia mais sustentável.

Para a realização deste estudo, tomou-se como base, o Mapa de Irradiação Solar de Barro Alto (LABREN, 2011), juntamente com o projeto de instalação de um sistema de geração de energia fotovoltaica para uma empresa de mineração em Barro Alto, realizado por uma empresa especializada em instalação de placas solares[1].

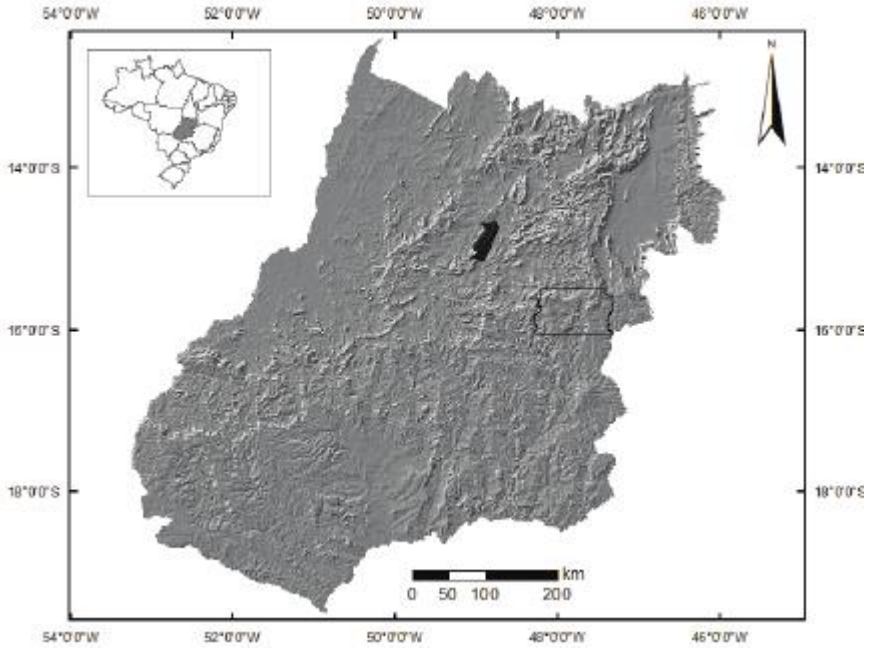
4.2 ÁREA DE ESTUDO

O estado de Goiás vem se destacando no mercado de energia solar, segundo o diretor comercial da empresa pernambucana Enercon Renováveis, Luiz Gustavo Perazzo, a região Centro-Oeste inteira está dentro de um raio positivo para captação de irradiação solar. Especificamente este estado se encontra dentro de um cinturão solar que tem uma boa quantidade de irradiação (KETELBEY, 2020).

Portanto, diante do grande potencial minerário e das empresas que já estão instaladas na região do município de Barro Alto, esta cidade foi selecionada como foco do trabalho. Este município, região preenchida com a cor preta na Figura 7, tem cerca de 11.643 habitantes e uma área de 1.093,248 Km^2 (IBGE, 2021). Apesar de ser uma pequena cidade, tem um potencial minerário muito grande por compreender uma das maiores associações de rochas máfico-ultramáficas acamadas toleíticas do Brasil, com cerca de 150 km de comprimento e 10-22 km de espessura aparente (LIMA, 2010), sendo um grande atrativo para as mineradoras exploradoras de Níquel.

[1]A empresa especializada em instalação de placas solares solicitou sigilo sobre os cálculos deste dimensionamento.

Figura 7: Localização do município de Barro Alto dentro do Estado de Goiás

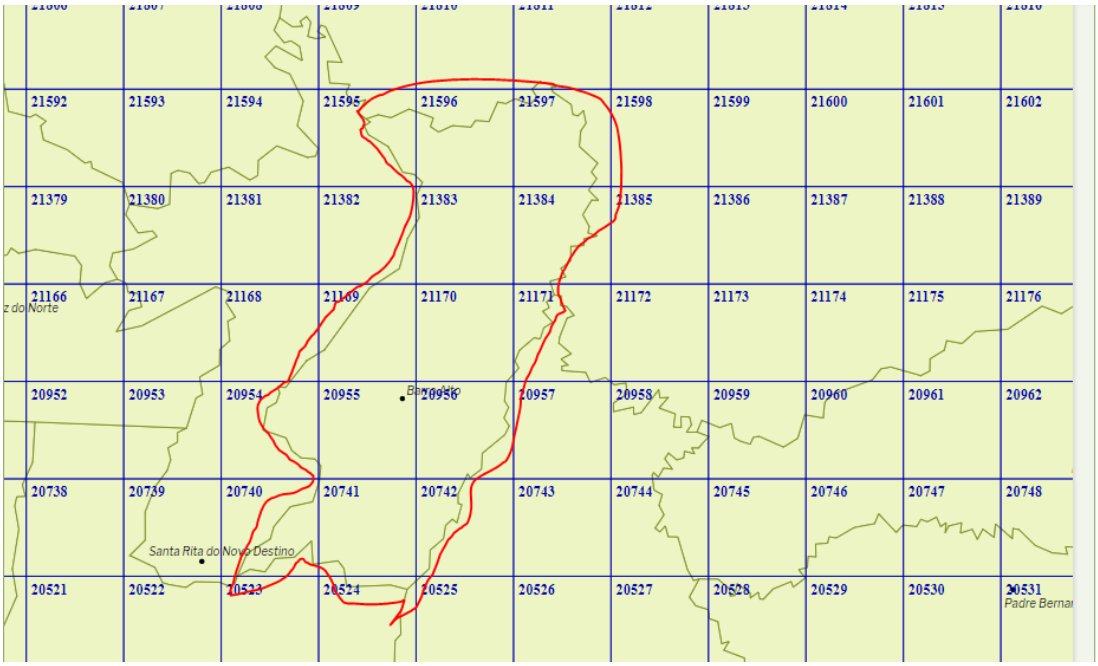


Fonte: GAMBALE, et al, 2014.

4.5 ESPECIFICAÇÕES PARA SIMULAÇÃO

Para a elaboração de um projeto de usina solar fotovoltaica é imprescindível a análise de informações de irradiação solar local, já que esta é a matéria prima para produção. Sendo assim, o cálculo do potencial de energia local deve acontecer no levantamento da irradiação solar média local. O site do LABREN – Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia, fornece os dados de irradiação solar média de todo o país. Sendo assim, filtrou-se neste site, o mapa da cidade de Barro Alto, contornado pela linha vermelha – Figura 8. O mapa é composto por códigos que representam a irradiação naquele local ao longo do ano, conforme pode ser analisado na Tabela 1.

Figura 8: Mapa para consulta de dados de irradiação de Barro Alto



Fonte: LABREN, 2021

Após a identificação dos pontos no mapa para consulta, tabelou-se os códigos predominantes na cidade, sendo eles destacados e detalhados na Tabela 1, para que assim fosse possível realizar a média de radiação solar na cidade.

Tabela 1 – Médias do Total Diário da Irradiação Direta Normal em Wh/Km^2.dia

ID	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	ANUAL
21170	3892	4261	4045	5292	5982	5961	6037	7037	5394	4630	3289	3676	**4958**
21596	4014	4573	4270	5434	6103	5988	6135	6962	5354	4822	3617	3875	**5096**
21597	4013	4473	4208	5411	6182	5946	6078	7059	5369	4787	3551	3814	**5074**
21383	3922	4328	4137	5315	6013	6031	6189	7100	5391	4714	3401	3738	**5023**
21384	4005	4399	4183	5398	5988	6037	6069	7171	5327	4785	3471	3828	**5055**
20955	3711	4199	4007	5297	5978	5962	5823	7193	5393	4557	3238	3556	**4910**
20956	4016	4420	4155	5397	5970	6002	5795	7038	5438	4670	3427	3697	**5002**
20741	3650	4174	3874	5246	6060	6094	5926	7156	5394	4506	3164	3435	**4890**

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da LABREN, 2021.

Considerou-se então a área de um reservatório industrial de uma empresa de mineração, cujo espelho d'água ocupa uma área mínima de, aproximadamente, 150 mil m² (conforme dados históricos fornecidos pela empresa de mineração). Por isso, considerou-se 130 mil m² para

elaboração do projeto, deixando uma margem de erro de aproximadamente 14%. Nesta área, uma empresa especialista em energia solar, realizou um estudo de estimativa de geração de energia de acordo com a irradiação local que poderá ser analisado na Tabela 3.

4.6 TAXA DE EVAPORAÇÃO LOCAL

Segundo a empresa de mineração em questão, a maior parcela da necessidade de água nova em linha de produção está associada a reposição de perdas no processo produtivo e evaporação. Diante disso, estudou-se, aqui a viabilidade da utilização deste projeto como mecanismo para reduzir as perdas por este fator – evaporação – de forma a maximizar as taxas de recirculação, e, consequentemente, reduzir a dependência de água local.

A evaporação, segundo Guetter (2016), é o processo no qual um líquido passa para o estado gasoso (vapor). A taxa de evaporação decorrente da irradiação solar de um local pode ser calculada através da seguinte equação:

$$E_r = \frac{Rn}{l_v\, \rho_w} \times 1000 \times 86400$$

Onde:

- A multiplicação por 1000 se deve à transformação de metros para milímetros;
- A multiplicação por 86400 se deve à transformação de segundos em dias;
- Rn é a radiação líquida;
- ρ_w é a massa específica da água [kg.m^{-3}];
- l_v é o calor latente de vaporização da água [J.Kg^{-1}].

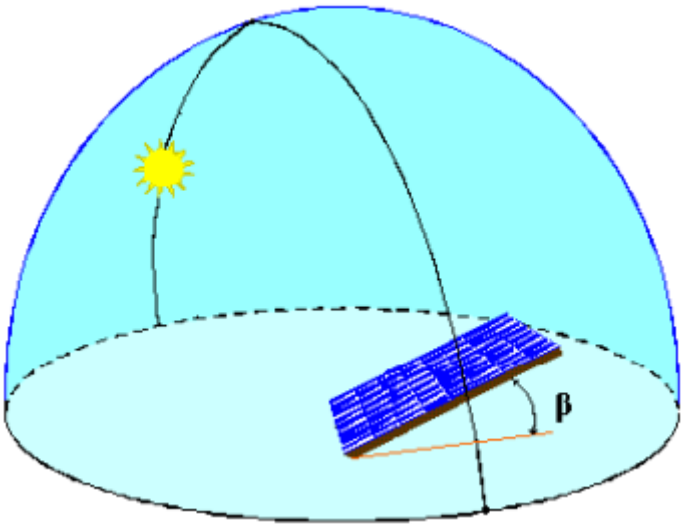
A partir disso, calcula-se as perdas de volume de água por evaporação, para então estimar a redução de perdas com a implantação do projeto.

4.7 INCLINAÇÃO DAS PLACAS

Segundo Cezar (2019), uma das vantagens de plantas solares flutuantes diante das plantas de telhados é que os projetos de plantas flutuantes não necessariamente têm um ângulo azimutal e de inclinação fixos. A instalações localizadas no hemisfério Sul devem sempre apontar para o Norte, isto se deve ao fato do sol percorrer durante o dia a direção Leste a Oeste, sofrendo uma leve inclinação ao longo do dia, para o Norte, sendo mais acentuada ao meio dia (VILLALVA, 2020).

Definindo o ângulo correto de inclinação das placas, pode-se otimizar o aproveitamento do recurso solar durante o ano, gerando assim, mais energia. Segundo Pinho e Galdino (2014), é importante adotar o ângulo mínimo (β) de 10º – em locais próximos ao Equador – para que se evite o acúmulo de poeira nas placas, através da ação da água da chuva (Figura 9), permitindo assim a autolimpeza dos módulos fotovoltaicos. Já o melhor ângulo, ainda segundo o autor, é o ângulo de própria latitude do local, podendo sofrer pequenas alterações, porém não muito significativas para a eficiência dos módulos.

Figura 9: Ângulo de inclinação para instalação das placas



Fonte: PINHO E GALDINO, 2014

5. DESENVOLVIMENTO – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste estudo de caso, para a instalação de um sistema com potência pico instalada de 17,5 MWp (megawatt pico) e inversores de potência para 15 MW, foram dimensionados os seguintes equipamentos e materiais necessários para instalação da usina:

Tabela 2 – Equipamentos e materiais necessários para a instalação

Item	Descrição	Unidade	Quantidade
1	Inversor Deye trifásico 380v 75kw	Peça	200
2	Painel Soleri solar 72 cels policristalino 335w	Peça	52.239
3	String Box cc 1500v 32a	Peça	180
4	Cabo solar nexans energyflex br 0,6/1kv (1500 vdc) vermelho	Metro	43.750
5	Cabo solar nexans energyflex br 0,6/1kv (1500 vdc) preto	Metro	43.750
6	Estrutura de fixação flutuante	Conjunto	1
7	Conectores tipo mc-4 macho/fêmea	Peça	20.000
8	Kit aterramento p/ 4 placas	Peça	3.000

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da empresa especializada em placa solares[2].

Além disso, o ângulo de inclinação das placas foi estabelecido como sendo a própria latitude local, de aproximadamente 49º. Sendo assim, considerando os dados de irradiação solar e inclinação das placas, a empresa especializada em energia solar, estimou uma geração de energia mensal de 2.135 MWh/mês ou anual de 25.620 MWh/ano – Tabela 3:

Tabela 3 – Simulação de geração de energia do sistema.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	MÉDIA
Irradiação (kWh/m²)	5,02	5,28	5,18	5,45	5,53	5,51	5,70	6,42	5,80	5,46	5,01	5,01	**5,45**
Geração (MWh/dia)	78	78	67	67	63	64	65	67	75	75	69	75	**70**
Geração (MWh/mês)	2.433	2.188	2.065	1.955	1.960	1.925	2.013	2.065	2.258	2.328	2.065	2.328	**2.135**

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do CRESESB e no *software* PVSyst[3].

É importante salientar que o Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S.Brito (CRESESB), é atualizado conforme o banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia

[2] Os dados apresentados na Tabela 2 foram gerados e fornecidos pela empresa especializada em energia solar.
[3] Os dados apresentados na Tabela 3 foram gerados e fornecidos pela empresa especializada em energia solar.

Solar - 2ª Edição (CRESESB, 2017), que foi produzido pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), através do Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN).

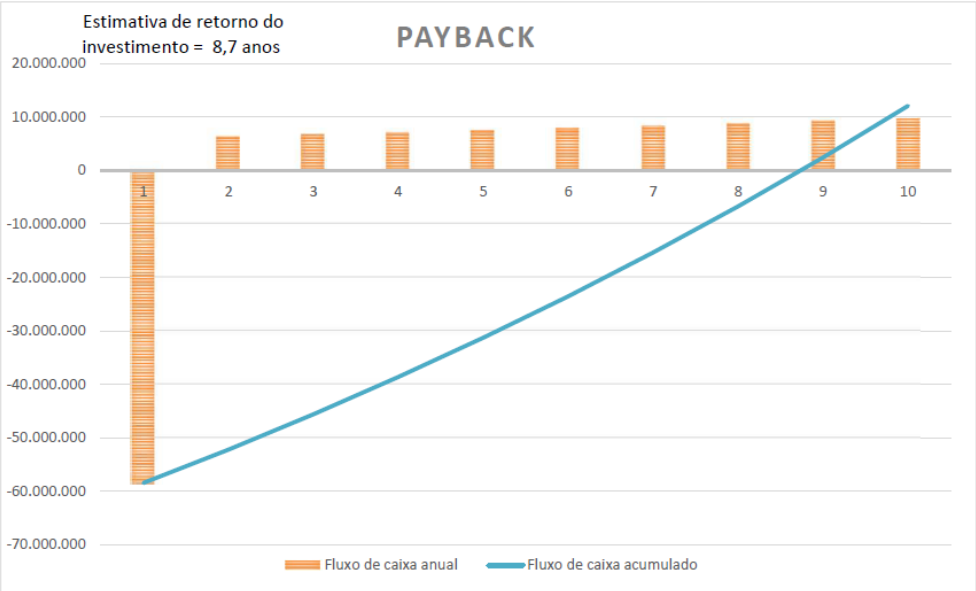
Estes dados apresentam um potencial de substituição de energia elétrica pela energia solar de 2.135 MWh/mês, que corresponde a uma na redução de emissões de 162,5 t CO_2/Mês, utilizando-se a substituição do fator de emissão de 0,075 t CO_2/MW para energia elétrica para ZERO pela energia solar.

Para a análise do potencial de redução da evaporação do reservatório, utilizou-se como referência uma taxa de eficiência de 70% - 90% para uma evaporação anual de 1.400mm (dados medidos pela própria empresa). Diante da área do espelho d'água de 130.000 m², ocupada pelas placas solares, para atingir a potência de 17,5 MW, especulou-se uma redução de perdas por evaporação de aproximadamente 10.617 m³/mês para 70% de eficiência e de 13.650 m³/mês, para 90% de eficiência[4].

Segundo a empresa especializada em placas solares, o investimento para este projeto foi calculado como sendo da ordem de R$65Mi, sendo este um projeto autossustentável, ou seja, o investimento trata o retorno total do valor aplicado em um prazo de aproximadamente 9 anos (Figura 10). Estas informações foram obtidas considerando os custos de manutenção de 1% a.a., TIR – taxa interna de retorno – igual a 15% e VPL – valor presente líquido – em torno de R$15Mi. Além disso, para estes cálculos levou-se em conta uma tarifa de R$ 0,26/kwh – premissa adotada pela empresa especializada em energia elétrica para grandes consumidores, considerando a compra de energia no mercado livre.

[4] Dados calculados e disponibilizados pela empresa de mineração.

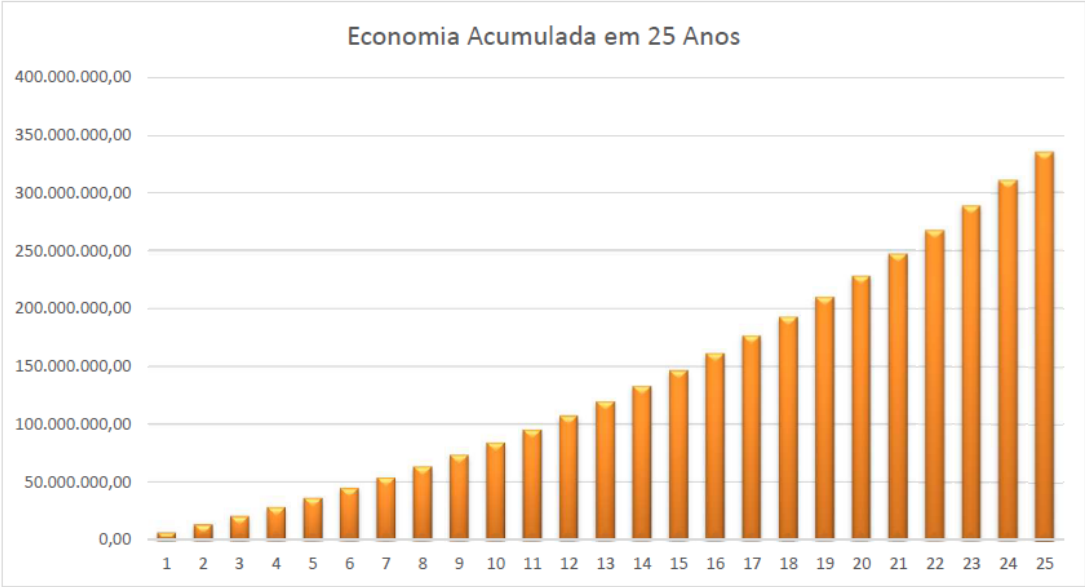
Figura 10: *Payback*



Fonte: Empresa especializada em placa solares, 2021[5].

Além disso, projetou-se também a economia gerada em 25 anos, que, conforme a Figura 11 disponibilizada pela empresa, chega em valores em torno de 340 milhões de reais.

Figura 11: Economia Acumulada em 25 anos



Fonte: Empresa especializada em placas solares, 2021.

[5] A empresa especializada em placas solares solicitou sigilo sobre o nome da própria empresa. Por isso não consta nas referências bibliográficas.

5.1. CONCLUSÃO

Diante dos recentes acordos ambientais e da ideia de economia circular, se faz necessário o desenvolvimento de novas tecnologias para otimização dos processos de mineração.

No caso específico da mineração, isto é necessário, por ser esta uma atividade que utiliza um volume elevado de água, e, também o fato do setor mineral estar encontrando uma legislação muito rigorosa para captação de água nova. Além deste ponto, este setor também é um grande emissor de Gases de Efeito Estufa, e, diante do Acordo de Paris, as empresas mineradoras, no geral, se veem em um cenário urgente de transformar seus processos tradicionais em diferentes e sustentáveis.

Este estudo focou nestes dois pontos de maneira mensurável e viável, apresentando uma alternativa que está alinhada à Economia Circular e ao Acordo de Paris. Dessa forma, otimizando o uso da água no processo, gerando energia limpa e renovável e evitando a emissão de toneladas de CO^2 na atmosfera terrestre, podendo elevar ainda mais este potencial, caso sejam consideradas áreas maiores. Sendo assim, identifica-se aqui uma grande oportunidade para difundir esta tecnologia e aumentar a abrangência de projetos similares, não apenas no setor industrial minerário, como também em outros setores de abastecimento de água e geração de energia.

Por fim, a proposta de instalação de placas solares, sugerida por uma empresa especializada neste ramo, apresenta-se viável, primeiramente por apresentar um projeto autossustentável, com tempo de retorno estimado em aproximadamente 9 anos, e uma economia acumulada da ordem de 340 milhões de reais em 25 anos. Além do retorno financeiro apresentar-se interessante, há também a questão ambiental, onde se espera a redução das emissões de carbono por volta de 162,5 t CO_2/Mês.

Assim pode-se observar um retorno significativo para a mineração em questões financeiras, ambientais e de imagem, já que atualmente, diante das demandas sociais e políticas, as mineradoras buscam se reinventar com o propósito de realizar uma mineração cada vez mais sustentável.

6. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Igor; Alencar, A.; Angelo, C.; Azevedo, T.; Barcellos, F.; Coluna, I.; Costa Junior, C.; Cremer, M.; Piatto, M.; Potenza, R.; Quintana, G.; Shimbo, J.; Tsai, D.; Zimbres, B. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do brasil 1970-2019. **SEEG,** 2020. Disponível em <https://seegbr.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_8/SEEG8_DOC_ANALITICO_SINTESE_1990-2019.pdf >. Acesso em: 07 out. 2021.

ALBUQUERQUE, Laura. Como as empresas vêm contribuindo com o Acordo de Paris. **CEBDS**, [S. l.], 2018. Disponível em: <https://cebds.org/publicacoes/como-as-empresas-vem-contribuindo-com-o-acordo-de-paris/#.YV2aSprMLIU>. Acesso em: 6 out. 2021.

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Retrospectiva 2019**, Brasília, p. 1-64, 2020.

BICHUETI, Roberto; MADRUGA, Lucia; GOMES, Clandia; ROSA, Luciana. O uso da água na mineração: uma análise da produção científica internacional. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS**, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 58-73, 2014. Disponível em: <http://www.revistageas.org.br/ojs/index.php/geas/issue/view/7/showToc>. Acesso em: 6 out. 2021.

BOFF, Leonardo. Sustentabilidade: o que é - o que não é. **Editora Vozes Limitada**, [S. l.], p. 200, 2017. ISBN 8532656102, 9788532656100.

BRADY, Kevin. ICMM: International Council on Mining & Metals. **Mining and metals and the circular economy**, London, UK, 28 jun. 2016.

CABRAL, Kempson. O que é o Acordo de Paris? **CEBDS: Sustentável Blog**, [S. l.], 2019. <Disponível em: https://cebds.org/o-que-e-o-acordo-de-paris/#.YV2QaprMLIU>. Acesso em: 6 out. 2021.

CANAL Bioenergia. *In*: **Primeira usina solar flutuante do Brasil fica em Goiás**. [*S. l.*], 23 out. 2017. Disponível em: <https://www.canalbioenergia.com.br/primeira-usina-solar-flutuante-do-brasil-fica-em-propriedade-rural-em-goias/>. Acesso em: 30 out. 2021.

CEBDS: *In*: **O que é o Acordo de Paris?**. [*S. l.*], 5 dez. 2019. Disponível em: https://cebds.org/o-que-e-o-acordo-de-paris/#.YabRTtDMLIU. Acesso em: 7 out. 2021.

CEBDS. *In*: **Quem somos**. Disponível em: https://cebds.org/quem-somos/. Acesso em: 19 out. 2021.

CEZAR, Pedro Henrique. **Estudo de caso da utilização de energia fotovoltaica flutuante no reservatório de passo real**. Porto Alegre: [s. n.], 2019. 51 p.

CRESESB: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. *In*: **O que é a energia eólica?**. [*S. l.*], 2017. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=1&filter%5B%5D=>. Acesso em: 3 nov. 2021.

ENGEGRID: Energia Eficiente. *In*: **Dia de chuva: saiba como funciona a captação de energia solar**. [*S. l.*], 30 maio 2019. Disponível em: <https://engegrid.com.br/blog/dia-de-chuva-saiba-como-funciona-a-captacao-de-energia-solar/>. Acesso em: 12 nov. 2021.

ESPOSITO, Alexandre Siciliano; FUCHS, Paulo Gustavo. Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil. **Revista do BNDES**. n. 40, p. 85-113, 2013.
GAMBALE, Priscilla; CARDOSO, Manoela; VIEIRA, Raísa; BATISTA, Vinícius; RAMOS, Jade; BASTOS, Rogério. **Composição e riqueza de anfíbios anuros em remanescentes deCerrado do Brasil Central**. Iheringia Série Zoologia, Porto Alegre, p. 51-58, 1 mar. 2014.

GRUPO Genergia. *In*: **Governo inaugurou Usina Fotovoltaica Flutuante em Sobradinho**. [*S. l.*], 6 ago. 2019. Disponível em: <http://www.genergia.com.br/noticias/detalhe/governo-inaugurou-usina-fotovoltaica-flutuante-em-,12/>. Acesso em: 30 out. 2021.

GUETTER, Alexandre. Estimativa da Evaporação em Função da Radiação. **Hidráulica e Hidrologia Experimental**. Cap. Evaporação. p. 5-6, 2016. Disponível em: < https://docs.ufpr.br/~andre.dhs/TH027/Instru%C3%A7%C3%B5es_Evapotranspira%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2021.

GUNSON, A. J., KLEIN, B., VEIGA, M., & DUNBAR, S. (2012). **Reducing mine water requirements.** Journal of Cleaner Production, 21(1), 71-82. Jan.

Humana Portugal. **Jornada técnica sobre economia circular**, [*s. l.*], 24 out. 2019.

HYDRO. *In*: **Hydro e UFPA pesquisam diferentes aplicações para o rejeito da bauxita da Mineração Paragominas**. [*S. l.*], 27 maio 2021. Disponível em: <https://www.hydro.com/pt-BR/imprensa/noticias/2021/hydro-e-ufpa-pesquisam-diferentes-aplicacoes-para-o-rejeito-da-bauxita-da-mineracao-paragominas/>. Acesso em: 30 out. 2021.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *In*: **Cidades e Estados: Barro Alto**. [*S. l.*], 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/go/barro-alto.html>. Acesso em: 11 nov. 2021.

IBRAM. HYDRO irá investir cerca de R$ 1 milhão em pesquisa com UFPA para uso de painéis solares flutuantes em mina de bauxita. **IBRAM, Mineração do Brasil**, 2021. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/hydro-ira-investir-cerca-de-r-1-milhao-em-pesquisa-com-ufpa-para-uso-de-paineis-solares-flutuantes-em-mina-de-bauxita/>. Acesso em: 12 nov. 2021.

IT Solar: Engenharia Sustentável. *In*: **Energia solar reduz os custos de produção nas fazendas e estimula a irrigação**. [*S. l.*], 15 out. 2018. Disponível em: <https://itsolar.com.br/energia-solar/energia-solar-reduz-os-custos-de-producao-nas-fazendas-e-estimula-a-irrigacao/>. Acesso em: 30 out. 2021.

JUSTI, Braz. Megawhat. *In*: **Braz Justi escreve: A crise hídrica e o anseio por uma matriz mais diversificada e um mercado livre mais acessível**. [*S. l.*], 2021. Disponível em: <https://megawhat.energy/news/144285/braz-justi-escreve-crise-hidrica-e-o-anseio-por-uma-matriz-mais-diversificada-e-um-acl-mais-acessivel>. Acesso em: 1 nov. 2021.

KETELBEY, Domingos. **Empresa prepara usinas fotovoltaicas para Goiás e vê Estado como fronteira de energia**. [*S. l.*], 6 set. 2020. Disponível em:

<https://diariodegoias.com.br/empresa-prepara-usinas-fotovoltaicas-para-goias-e-ve-estado-como-fronteira-de-energia/>. Acesso em: 18 nov. 2021.

LABREN. Dados de irradiação para o Estado de GOIÁS. Barro Alto - GO. **INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, 2021. Disponível em: < http://labren.ccst.inpe.br/atlas2_tables/GO_dir.html >. Acesso em: 2 nov. 2021.

LEITÃO, Alexandra. Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. **Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting**. v. 1, n. 2, p. 150-17, 2015.

LIMA, Thiers Muniz. Síntese geológica e prospecção geoquímica da área Barro Alto, Goiás. **Informe de Recursos Minerais. Série Metais do Grupo da Platina e Associados**. [s. l.], 2010.

LOPES, Matheus, JUNIOR, Paulo. **Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes: Análise do Tema e Estudo de Caso para o Lago da UNIFEI**. Gramado, RS. 2016.

LOPES, Mariana. **Usinas fotovoltaicas flutuantes como alternativa para a geração de energia e redução da evaporação em açudes do semiárido brasileiro**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, [S. l.], 2020. Disponível em: < http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/doutorado/Tese_MarianaPadilha.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2021.

LUCAS, Fábio. CPG: Click, Petróleo e Gás. *In*: **Usina de energia solar flutuante pode ser bem mais eficiente e poderá reduzir a evaporação de água dos reservatórios**. [*S. l.*], 21 maio 2021. Disponível em: <https://clickpetroleoegas.com.br/usina-de-energia-solar-flutuante-pode-ser-bem-mais-eficiente-e-podera-reduzir-a-evaporacao-de-agua-dos-reservatorios/>. Acesso em: 26 out. 2021.

MANIGLIA, Jonas. **Análise da viabilidade econômica e ambiental da implantação de um sistema fotovoltaico em uma correia transportadora numa mina de bauxita no estado do Pará**. Orientador: Professor José Fernando Miranda. p. 37. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

MEDEIROS, Fernanda. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília: [*s. n.*], 2019. 75 p. ISBN 978-85-8210-057-8.

NETTO, Carmo. Tese analisa viabilidade de energia solar flutuante. **Jornal da Unicamp**, 2016. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/663/tese-analisa-viabilidade-de-energia-solar-flutuante>. Acesso em 12 nov. 2021.

ÓRIGO ENERGIA. *In*: **A história da energia solar no Brasil**. [*S. l.*], 7 ago. 2020. Disponível em: <https://origoenergia.com.br/blog/a-historia-da-energia-solar-no-brasil>. Acesso em: 06 out. 2021.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014.

PORTAL Solar. *In*: **Brasil ganha primeira usina solar flutuante no reservatório de Sobradinho (BA)**. [*S. l.*], 06 ago. 2019. Disponível em: < https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/brasil-ganha-primeira-usina-solar-flutuante-no-reservatorio-de-sobradinho-ba.html>. Acesso em: 30 out. 2021.

AES Brasil. *In***: Saiba como funciona a energia solar fotovoltaica**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=-Z2ssWomtoI>. Acesso em: 2 nov. 2021.

Silva R. W. C., Paula B. L. 2009. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. Terræ Didatica, 5(1):42-49. Disponível em: <http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/>. Acesso em: 15 out. 2021.

VILLALVA, Marcelo. **Como determinar o ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos?**. [*S. l.*], 11 jul. 2020. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/como-determinar-o-angulo-de-inclinacao-dos-modulos-fotovoltaicos/>. Acesso em: 4 nov. 2021.

VALE: Energia. *In*: **Consumo**. [*S. l.*], 2021. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/business/energy/consumo/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 11 out. 2021.