



ISSN: 2310-0036

Vol. 2 | Nº. 17 | Ano 2026

Sustentabilidade Energética na Mineração de Carvão: Integração da Energia Solar Fotovoltaica em Moatize, Tete

Energy Sustainability in Coal Mining: Integration of Photovoltaic Solar Energy in Moatize, Tete

Ana Karina F. A. S. Ribeiro

Universidade Católica de
Moçambique

aribeiro@ucm.ac.mz

Astorga Luís Chatocota

Universidade Católica de
Moçambique

achatocota@ucm.ac.mz



Rua: Comandante Gaivão nº 688

C.P.: 821

Website: <http://www.ucm.ac.mz/cms/>

Revista: <http://www.reid.ucm.ac.mz>

Email: reid@ucm.ac.mz

Tel.: (+258) 23 324 809

Fax: (+258) 23 324 858

Beira, Moçambique

RESUMO

A crescente pressão por práticas sustentáveis na indústria mineira tem impulsionado a adopção de fontes de energia renovável como alternativa aos combustíveis fósseis. No contexto da mineração de carvão em Moatize, província de Tete, caracterizada por elevado consumo energético e significativa pegada de carbono, a integração de sistemas solares fotovoltaicos surge como uma solução estratégica para melhorar a eficiência energética e reduzir emissões. Neste contexto, o estudo procura responder à seguinte questão de partida: Como pode a integração da energia solar fotovoltaica contribuir para a sustentabilidade energética das operações de mineração de carvão em Moatize, Tete? O estudo analisa o potencial de implementação de uma central solar fotovoltaica auxiliar numa operação mineira, considerando dados de consumo energético, disponibilidade de radiação solar e condições operacionais locais. A metodologia adoptada baseia-se numa abordagem qualitativa e descritiva, complementada por análise de dados secundários relativos ao consumo energético da indústria mineira e ao potencial solar da região de Tete. Os resultados indicam que Moatize apresenta níveis elevados de irradiância solar, superiores a 5,5 kWh/m²/dia, favorecendo a viabilidade técnica de sistemas fotovoltaicos. Adicionalmente, verifica-se que a incorporação de energia solar pode contribuir para a redução dos custos operacionais e das emissões de gases com efeito de estufa, sem comprometer a continuidade das operações mineiras. Conclui-se que a integração de energia solar fotovoltaica na mineração de carvão constitui uma alternativa viável e sustentável, alinhada com os princípios da transição energética e da responsabilidade ambiental. Recomenda-se a adopção de modelos híbridos de geração energética e o desenvolvimento de políticas de incentivo à utilização de energias renováveis no sector mineiro em Moçambique.

Palavras-chave: mineração de carvão; energia solar fotovoltaica; sustentabilidade energética.

Abstract

The growing demand for sustainable practices in the mining industry has encouraged the adoption of renewable energy sources as an alternative to fossil fuels. In the context of coal mining in Moatize, Tete Province, characterized by high energy consumption and a significant carbon footprint, the integration of solar photovoltaic (PV) systems has emerged as a strategic solution to improve energy efficiency and reduce greenhouse gas emissions. In this context, the study seeks to answer the following research question: How can the integration of solar photovoltaic energy contribute to the energy sustainability of coal mining operations in Moatize, Tete? The study analyses the potential for implementing an auxiliary solar photovoltaic power plant in a mining operation, considering energy consumption data, solar radiation availability, and local operational conditions. The methodology adopted is

based on a qualitative and descriptive approach, complemented by the analysis of secondary data on the mining sector's energy consumption and the solar potential of the Tete region. The results indicate that Moatize presents high levels of solar irradiance, exceeding 5.5 kWh/m²/day, which supports the technical feasibility of photovoltaic systems. Furthermore, the findings show that the integration of solar energy can reduce operating costs and greenhouse gas emissions without compromising the continuity of mining operations. It is concluded that the integration of solar photovoltaic energy into coal mining is a viable and sustainable alternative, aligned with the principles of the energy transition and environmental responsibility. The study recommends the adoption of hybrid energy generation systems and the development of policies that encourage the use of renewable energy in Mozambique's mining sector.

Keywords: coal mining; solar photovoltaic energy; energy sustainability.

Introdução

A indústria mineira constitui um dos pilares fundamentais para o desenvolvimento económico de diversos países, particularmente em economias emergentes ricas em recursos naturais, como Moçambique. No entanto, esta actividade caracteriza-se por uma elevada intensidade energética, sendo responsável por um consumo significativo de eletricidade e combustíveis fósseis, o que levanta preocupações crescentes relacionadas com a sustentabilidade ambiental e a eficiência energética (International Energy Agency [IEA], 2022).

No contexto da mineração de carvão, estas preocupações tornam-se ainda mais evidentes, uma vez que, além de ser uma actividade energeticamente exigente, está directamente associada à emissão de gases com efeito de estufa e à degradação ambiental. As operações mineiras, incluindo perfuração, transporte, e processamento do minério, dependem fortemente de fontes energéticas convencionais, sobretudo o diesel e a eletricidade proveniente de redes muitas vezes instáveis em países em desenvolvimento (World Bank, 2021).

Face a estes desafios, o conceito de sustentabilidade energética tem vindo a ganhar relevância no sector mineiro, sendo entendido como a capacidade de garantir o fornecimento de energia de forma fiável, economicamente viável e ambientalmente responsável. Neste âmbito, a transição para fontes de energia renovável, particularmente a energia solar fotovoltaica, apresenta-se como uma alternativa promissora para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e minimizar os impactos ambientais associados às operações mineiras segundo a Renewable Energy Policy (REN21, 2023).

Moçambique apresenta condições naturais favoráveis para a exploração da energia solar, com níveis elevados de radiação ao longo do ano, especialmente nas regiões do interior, como a província de Tete. O distrito de Moatize, reconhecido pela sua relevância na produção de carvão, reúne características que potenciam a integração de sistemas solares fotovoltaicos como complemento às fontes energéticas convencionais. Esta integração pode contribuir não só para a redução dos custos operacionais, mas também para o aumento da segurança energética e para o cumprimento de metas globais de descarbonização (African Development Bank, 2022).

Apesar deste potencial, a adopção de tecnologias solares no sector mineiro em Moçambique ainda é incipiente, sendo limitada por factores como elevados custos iniciais, desafios técnicos na integração com sistemas existentes e ausência de políticas específicas que incentivem a utilização de energias renováveis na indústria extrativa. Assim, torna-se pertinente analisar de que forma a energia solar fotovoltaica pode ser integrada nas operações mineiras de carvão em Moatize, contribuindo para a promoção da sustentabilidade energética neste sector.

Neste contexto, o presente estudo tem como objectivo analisar a integração da energia solar fotovoltaica nas operações mineiras de carvão no distrito de Moatize, Tete, avaliando o seu

contributo para a sustentabilidade energética, bem como os principais desafios e oportunidades associados à sua implementação.

O estudo tem como objectivo geral analisar a implementação da energia solar fotovoltaica nas operações mineiras de carvão no distrito de Moatize, Tete, e como objectivos específicos: caracterizar o perfil de consumo energético das operações mineiras de carvão em Moatize; identificar as fontes de energia utilizadas pela empresa e caracterizar o seu perfil de consumo energético; e propor estratégias para melhorar a sustentabilidade energética da empresa.

A crescente procura por recursos minerais, aliada à necessidade de desenvolvimento económico, tem intensificado as actividades mineiras em diversas regiões de Moçambique, com destaque para o distrito de Moatize, na província de Tete. Contudo, esta expansão tem sido acompanhada por elevados níveis de consumo energético e impactos ambientais significativos, nomeadamente a emissão de gases com efeito de estufa e a dependência de fontes de energia não renováveis.

Neste contexto, a sustentabilidade energética surge como um elemento central na reconfiguração do sector mineiro, exigindo a adopção de soluções que conciliem eficiência operacional, viabilidade económica e responsabilidade ambiental. A energia solar fotovoltaica apresenta-se como uma alternativa estratégica, particularmente em regiões com elevado potencial solar, como é o caso de Moatize.

A relevância deste estudo justifica-se, em primeiro lugar, pela necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis nas operações mineiras, contribuindo para a mitigação das alterações climáticas e para o cumprimento de compromissos internacionais assumidos por Moçambique no âmbito da transição energética. Em segundo lugar, a integração de sistemas solares pode melhorar a fiabilidade do fornecimento energético, reduzindo os impactos associados a falhas na rede eléctrica e a volatilidade dos custos dos combustíveis.

Adicionalmente, verifica-se uma lacuna de estudos científicos no contexto moçambicano que abordem especificamente a aplicação de energias renováveis no sector mineiro, particularmente na mineração de carvão. Assim, este trabalho pretende contribuir para o avanço do conhecimento nesta área, fornecendo evidências que possam apoiar a tomada de decisão por parte de empresas, decisores políticos e investigadores.

Por fim, o estudo apresenta relevância prática e académica, ao propor soluções que promovem o desenvolvimento sustentável do sector mineiro, alinhando-se com os objectivos de desenvolvimento sustentável (ODS), especialmente no que concerne à energia limpa e acessível e à acção climática.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Consumo energético na indústria mineira

A indústria mineira é amplamente reconhecida como uma das actividades económicas mais intensivas em energia, devido à complexidade e exigência dos seus processos operacionais. Actividades como perfuração, desmonte, transporte, ventilação e processamento mineral requerem elevados níveis de energia eléctrica e combustíveis fósseis, podendo os custos energéticos representar uma parcela significativa dos custos operacionais totais (International Energy Agency [IEA], 2022).

No caso específico da mineração de carvão, esta dependência energética é ainda mais acentuada, dado o carácter contínuo das operações e a necessidade de sistemas mecanizados de grande escala. Para além disso, a utilização predominante de combustíveis fósseis contribui significativamente para a emissão de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases com efeito de estufa, intensificando os impactos ambientais do sector (World Bank, 2021).

Assim, a dependência de fontes energéticas convencionais não só eleva os custos operacionais, como também expõe as empresas mineiras à volatilidade dos preços dos combustíveis e a riscos associados à segurança energética, sobretudo em países em desenvolvimento.

Sustentabilidade energética no sector mineiro

A sustentabilidade energética tem emergido como um conceito central na transformação do sector mineiro, sendo definida como a capacidade de garantir o fornecimento de energia de forma contínua, economicamente viável e ambientalmente responsável (REN21, 2023). Este conceito está intrinsecamente ligado à necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e promover a adopção de fontes de energia renovável.

De acordo com Azapagic (2004), a sustentabilidade na mineração exige a integração de práticas que minimizem os impactos ambientais, promovam a eficiência no uso dos recursos e assegurem benefícios socioeconómicos a longo prazo. Neste contexto, a energia desempenha um papel estratégico, sendo um dos principais vectores para a transição para modelos de produção mais sustentáveis.

Além disso, a crescente pressão associada às políticas climáticas globais e aos critérios ESG (Environmental, Social and Governance) tem incentivado as empresas mineiras a adoptarem soluções energéticas mais limpas e eficientes, promovendo a descarbonização das suas operações (IEA, 2022).

Energia solar fotovoltaica como alternativa sustentável

A energia solar fotovoltaica tem sido amplamente reconhecida como uma das tecnologias mais promissoras para a promoção da sustentabilidade energética, devido à sua abundância, modularidade e baixo impacto ambiental. Segundo o relatório da REN21 (2023), a energia solar

tem registado um crescimento significativo a nível global, tornando-se uma das principais fontes de energia renovável.

A adopção de sistemas fotovoltaicos permite reduzir a dependência de combustíveis fósseis, contribuindo para a diminuição das emissões de gases com efeito de estufa. Para além disso, apesar dos custos iniciais relativamente elevados, os sistemas solares apresentam baixos custos de operação e manutenção, tornando-se economicamente competitivos a médio e longo prazo (International Renewable Energy Agency [IRENA], 2022).

No sector mineiro, a energia solar pode ser implementada em diferentes configurações, incluindo sistemas isolados (off-grid) e sistemas híbridos (solar-diesel ou solar-rede), permitindo maior flexibilidade e fiabilidade no fornecimento de energia, especialmente em regiões remotas (Jurasz et al., 2019).

Moçambique possui um dos maiores potenciais de energia solar da África Austral devido aos elevados índices médios de radiação solar registados ao longo do território nacional. Esta disponibilidade constitui uma oportunidade para diversificar a matriz energética nacional e reduzir a dependência das fontes convencionais de energia.

Diversos estudos desenvolvidos em Moçambique demonstram que a complementaridade entre a energia hidroelétrica e a energia solar fotovoltaica pode contribuir para aumentar a segurança energética, reduzir a vulnerabilidade do sistema elétrico nacional e promover uma matriz energética mais sustentável. Embora a maior parte das investigações esteja orientada para a eletrificação rural e para o sistema elétrico nacional, os resultados evidenciam que a tecnologia fotovoltaica apresenta condições técnicas favoráveis para ser aplicada também em grandes consumidores industriais, incluindo o setor mineiro.

A adopção da energia solar fotovoltaica nas operações mineiras poderá reduzir significativamente o consumo de combustíveis fósseis utilizados na geração própria de eletricidade, diminuir os custos operacionais a médio e longo prazo e contribuir para o cumprimento dos compromissos nacionais e internacionais de redução das emissões de carbono.

Integração de energias renováveis na mineração

A integração de energias renováveis nas operações mineiras constitui uma estratégia essencial para a redução dos custos energéticos e dos impactos ambientais associados à actividade extractiva. Estudos indicam que sistemas híbridos, que combinam energia solar com geradores a diesel ou com a rede eléctrica, são particularmente eficazes na garantia de um fornecimento energético estável e contínuo (Jurasz et al., 2019).

De acordo com IRENA (2022), a adopção de energias renováveis no sector mineiro pode reduzir significativamente os custos de energia, especialmente em operações localizadas em áreas remotas, onde o custo do transporte de combustíveis é elevado. Adicionalmente, esta integração contribui para a redução das emissões de carbono, alinhando-se com as metas globais de mitigação das alterações climáticas.

A literatura também destaca que a digitalização e a gestão inteligente da energia são factores-chave para maximizar a eficiência dos sistemas energéticos híbridos no sector mineiro.

Contexto energético de Moçambique e potencial solar

Embora Moçambique disponha de recursos hidroelétricos, solares e eólicos significativos, a exploração mineira continua dependente de fontes convencionais de energia. A Estratégia de Transição Energética de Moçambique (2023–2050) estabelece como prioridade a diversificação da matriz energética nacional através da expansão das energias renováveis, reconhecendo que a integração da energia solar poderá aumentar a segurança energética, reduzir as emissões de carbono e melhorar a competitividade económica do país. Neste contexto, o sector mineiro representa um dos segmentos industriais com maior potencial para beneficiar da adopção de sistemas fotovoltaicos devido ao seu elevado consumo energético e à disponibilidade de extensas áreas para instalação de parques solares.

A literatura científica produzida em Moçambique demonstra que a mineração de carvão em Moatize tem gerado importantes benefícios económicos, mas também desafios significativos do ponto de vista ambiental e social. Gove (2022) verificou que a exploração dos megaprojetos mineiros na Bacia Carbonífera de Moatize apresenta limitações ao nível da sustentabilidade económica, social e ambiental, defendendo a necessidade de adoção de modelos de exploração mais equilibrados e sustentáveis. Segundo o autor, apesar do crescimento económico proporcionado pela actividade mineira, persistem problemas relacionados com a degradação ambiental, o reassentamento populacional e a distribuição desigual dos benefícios gerados pela exploração dos recursos minerais.

Numa perspetiva semelhante, Chapare, Lummertz e Fischer (2020) analisaram a exploração do carvão mineral em Moatize à luz dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, concluindo que a actividade mineira continua associada à degradação da qualidade do ar, emissão de partículas de carvão, alterações dos ecossistemas e riscos para a saúde das comunidades residentes nas zonas circunvizinhas. Os autores defendem que a sustentabilidade da mineração deve incorporar princípios de bioética ambiental, conciliando crescimento económico, protecção ambiental e responsabilidade social.

Apesar da abundância de estudos sobre os impactos ambientais da mineração em Moçambique, observa-se uma reduzida produção científica dedicada à sustentabilidade energética das operações mineiras. A maioria das investigações concentra-se na avaliação dos efeitos ambientais da exploração de carvão, existindo escassos trabalhos que analisem a integração de tecnologias de energia renovável como instrumento de redução das emissões de carbono e melhoria da eficiência energética. Esta lacuna científica evidencia a necessidade de aprofundar estudos sobre soluções energéticas sustentáveis adaptadas às condições operacionais das minas de carvão de Moatize.

Entre as tecnologias renováveis disponíveis, a energia solar fotovoltaica destaca-se pelas suas vantagens ambientais, económicas e operacionais. A redução contínua dos custos dos módulos fotovoltaicos, o aumento da eficiência dos inversores e a elevada disponibilidade de recurso solar tornam esta tecnologia particularmente atrativa para instalações industriais de grande

consumo energético. Segundo a IEA (2024), a energia solar constitui actualmente a tecnologia de geração eléctrica com maior crescimento mundial, verificando-se uma redução significativa do custo nivelado da eletricidade produzida (LCOE) durante a última década.

No contexto moçambicano, diversos estudos demonstram que a combinação entre energia hidroelétrica e energia solar poderá aumentar a resiliência do sistema energético nacional e reduzir a dependência dos combustíveis fósseis. A complementaridade entre estas fontes de energia permite responder às variações sazonais da disponibilidade hídrica e reforçar a segurança do abastecimento eléctrico, contribuindo simultaneamente para o cumprimento das metas nacionais de descarbonização.

No sector mineiro, a integração da energia solar fotovoltaica pode assumir diferentes configurações, nomeadamente sistemas ligados à rede eléctrica, sistemas híbridos com geradores a diesel ou soluções complementadas por armazenamento em baterias. A literatura internacional demonstra que estas soluções permitem reduzir o consumo específico de combustível, diminuir os custos operacionais, reduzir as emissões de gases com efeito de estufa e aumentar a fiabilidade do fornecimento energético. Contudo, a aplicação destas soluções em Moçambique permanece limitada, sendo ainda reduzido o número de estudos científicos dedicados à avaliação da sua viabilidade técnica e económica no contexto da mineração de carvão.

Assim, o presente estudo procura contribuir para o desenvolvimento da literatura nacional ao analisar a integração da energia solar fotovoltaica como estratégia de sustentabilidade energética na mineração de carvão em Moatize. Pretende-se avaliar de que forma esta tecnologia poderá contribuir para reduzir a dependência de combustíveis fósseis, melhorar a eficiência energética, diminuir os impactos ambientais e reforçar a competitividade do setor mineiro moçambicano. Ao integrar evidências provenientes da literatura científica, das políticas energéticas nacionais e das tendências internacionais da transição energética, este trabalho procura preencher uma lacuna existente na investigação sobre sustentabilidade energética aplicada à indústria extrativa em Moçambique.

METODOLOGIA

O presente estudo adopta uma abordagem qualitativa, com suporte em dados quantitativos secundários, tendo como objectivo compreender o potencial de integração da energia solar fotovoltaica nas operações mineiras de carvão em Moatize.

A investigação caracteriza-se como um estudo de caso, centrado no distrito de Moatize, província de Tete, por se tratar de uma das principais regiões de exploração de carvão em Moçambique. Este tipo de estudo permite uma análise aprofundada do fenómeno em contexto real (Yin, 2018).

Adicionalmente, o estudo apresenta uma natureza exploratória e descritiva, uma vez que procura compreender um fenómeno ainda pouco investigado no contexto moçambicano.

A área de estudo corresponde ao distrito de Moatize, localizado na província de Tete, caracterizado por:

Elevada actividade mineira (exploração de carvão em grande escala)

Alto consumo energético nas operações extractivas

Elevado potencial de radiação solar (superior a 5,5 kWh/m²/dia)

Estas características tornam a região adequada para a análise da integração de energias renováveis no sector mineiro.

A recolha de dados foi realizada através de:

Análise documental

Foram analisados:

Relatórios de instituições internacionais (IEA, IRENA, Banco Mundial)

Publicações científicas sobre mineração e energia

Documentos sobre o sector energético de Moçambique

Consumo energético na mineração

Potencial solar da região de Tete

Custos e eficiência de sistemas fotovoltaicos

Revisão da literatura

A revisão incluiu artigos científicos, relatórios técnicos e documentos institucionais, permitindo fundamentar teoricamente o estudo.

Apresentação e discussão de resultados

Consumo energético na indústria mineira

A indústria mineira é responsável por uma parcela significativa do consumo energético global, estimando-se que represente cerca de 4% a 7% do consumo mundial de energia (International Energy Agency [IEA], 2022). Este elevado consumo está associado à natureza intensiva dos processos mineiros, particularmente nas operações de extração e processamento mineral.

No contexto da mineração de carvão, o consumo energético pode variar entre 15 a 40 kWh por tonelada de carvão extraído, dependendo da tecnologia utilizada, profundidade da mina e grau de mecanização (World Bank, 2021). Além disso, o uso de combustíveis fósseis,

especialmente diesel, é predominante em equipamentos móveis, como camiões de transporte e escavadoras.

Em operações mineiras de grande escala, como as existentes em Moatize, o consumo energético total pode atingir dezenas de megawatts (MW), sendo comum a existência de centrais térmicas ou geradores diesel para garantir a continuidade operacional. Nestes casos, o custo da energia pode representar entre 20% a 40% dos custos operacionais totais (IRENA, 2022).

Adicionalmente, em regiões com infraestruturas energéticas limitadas, como algumas áreas de Moçambique, a dependência de geradores a diesel implica custos elevados associados ao transporte de combustível, bem como maior exposição à volatilidade dos preços internacionais.

Potencial solar na região de Tete (Moatize)

Moçambique possui um elevado potencial para a exploração de energia solar, com níveis médios de radiação global horizontal entre 5,1 e 5,9 kWh/m²/dia.

Província	Irradiação Global Horizontal (GHI) (kWh/m ² /ano)	Irradiação média diária (kWh/m ² /dia)	Potencial para energia fotovoltaica
Niassa	1 850 – 2 000	5,1 – 5,5	Elevado
Cabo Delgado	1 900 – 2 050	5,2 – 5,6	Elevado
Nampula	1 900 – 2 050	5,2 – 5,6	Elevado
Zambézia	1 850 – 2 000	5,1 – 5,5	Elevado
Tete	2 050 – 2 150	5,6 – 5,9	Muito elevado
Manica	1 950 – 2 100	5,3 – 5,8	Muito elevado
Sofala	1 900 – 2 050	5,2 – 5,6	Elevado
Inhambane	1 950 – 2 100	5,3 – 5,8	Muito elevado
Gaza	2 000 – 2 150	5,5 – 5,9	Muito elevado
Maputo (Província)	2 000 – 2 150	5,5 – 5,9	Muito elevado
Cidade de Maputo	1 950 – 2 100	5,3 – 5,8	Elevado

Fonte: Autor, Adaptado do Renewable Energy Atlas of Mozambique.

Os dados evidenciam que todas as províncias de Moçambique apresentam um elevado potencial para a produção de energia solar fotovoltaica, com valores médios de irradiação global horizontal superiores a 1 850 kWh/m²/ano, ultrapassando o limiar considerado economicamente favorável para projetos fotovoltaicos de grande escala. As províncias de Tete, Gaza, Maputo e Manica destacam-se por registarem os níveis mais elevados de radiação solar, atingindo aproximadamente 2 150 kWh/m²/ano, o que corresponde a uma irradiação média diária próxima de 5,9 kWh/m²/dia.

No caso específico da província de Tete, onde se localiza o distrito de Moatize, o potencial solar é classificado como muito elevado, tornando a região particularmente favorável para a implementação de centrais fotovoltaicas destinadas ao abastecimento de grandes consumidores industriais, como as minas de carvão. A elevada disponibilidade de radiação solar, associada à extensa disponibilidade de terrenos e à procura energética contínua das operações mineiras, constitui uma vantagem competitiva para a integração de sistemas fotovoltaicos híbridos.

Sob a perspetiva da sustentabilidade energética, estes resultados reforçam que Moçambique dispõe de condições naturais para acelerar a transição energética no setor mineiro. A substituição parcial da eletricidade produzida a partir de combustíveis fósseis por energia solar poderá contribuir para reduzir os custos operacionais, diminuir as emissões de gases com efeito de estufa e reforçar a segurança energética das empresas mineiras, em consonância com os objetivos nacionais de desenvolvimento sustentável e descarbonização da economia.

Além disso, a disponibilidade de áreas extensas e relativamente planas nas zonas mineiras constitui uma vantagem adicional para a instalação de centrais solares de média e grande escala.

A literatura internacional demonstra que a integração de sistemas fotovoltaicos em operações mineiras proporciona benefícios económicos, ambientais e operacionais significativos. Os projetos implementados em minas remotas evidenciam reduções expressivas do consumo de combustíveis fósseis, das emissões de gases com efeito de estufa e dos custos operacionais, mantendo simultaneamente elevados níveis de fiabilidade do fornecimento energético.

Mina	País	Sistema FV	Armazenamento	Principais resultados
Fekola	Mali	52 MW	27,7 MWh	20 milhões L/ano de HFO evitados; 63 000 tCO ₂ e/ano evitadas; cerca de 30% da procura elétrica suprida por energia solar

Fase inicial Fekola	Mali	30 MW	17,3 MWh	13 milhões L/ano de HFO poupados; cerca de 38 000 tCO ₂ e/ano evitadas
DeGrussa	Austrália	10,6 MW	6 MW / 1,8 MWh	Redução significativa do consumo de diesel e demonstração da viabilidade técnica da operação híbrida 24 horas/dia
Agnew	Austrália	8 MW solar + baterias	Sistema híbrido solar + eólico + baterias + gás	Entre 50% e 80% da energia da mina pode ser proveniente de fontes renováveis, dependendo das condições meteorológicas.
Granny Smith	Austrália	13 MWp solar + armazenamento + central a gás	8 MW solar + baterias	Cerca de 10% da eletricidade da mina é proveniente de energia renovável, com redução das emissões e dos custos operacionais.
Gruyere	Austrália	6,7 MW solar + <i>diesel</i> + baterias	13 MWp solar + armazenamento + central a gás	Aproximadamente 10% do consumo elétrico passou a ser fornecido pela energia solar, reduzindo o consumo de combustíveis fósseis.
Weipa	Austrália	25 MW solar	6,7 MW solar + <i>diesel</i> + baterias	Demonstra a viabilidade de sistemas híbridos em minas remotas e redução do consumo de <i>diesel</i> .

Fonte: autora, adaptado do Columbia University (CCSI).

A análise dos principais projectos internacionais de integração da energia solar fotovoltaica na indústria mineira demonstra que esta tecnologia se tornou uma solução técnica e economicamente viável para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e promover a sustentabilidade energética das operações. Os casos analisados, desenvolvidos em países como Mali, Austrália e Chile, evidenciam benefícios consistentes ao nível da eficiência energética, da redução das emissões de gases com efeito de estufa e da diminuição dos custos operacionais.

Entre os projectos de maior destaque encontra-se a mina de Fekola, no Mali, que dispõe de um sistema fotovoltaico de 52 MW associado a armazenamento de energia. Este projecto permite fornecer aproximadamente 30% da eletricidade consumida pela mina através de energia solar, reduzindo anualmente cerca de 20 milhões de litros de óleo combustível pesado (HFO) e evitando a emissão de aproximadamente 63 mil toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂e).

Na Austrália, as minas de DeGrussa, Agnew, Granny Smith e Gruyere constituem referências internacionais na utilização de sistemas híbridos que combinam energia solar, baterias e geração convencional. Os resultados demonstram que estes sistemas asseguram um fornecimento de energia fiável, reduzem significativamente o consumo de diesel e aumentam a participação das energias renováveis no abastecimento energético das operações mineiras. Destaca-se particularmente a mina de Agnew, onde as fontes renováveis podem fornecer entre 50% e 80% da procura energética, dependendo das condições meteorológicas.

Por sua vez, projectos implementados nas minas de Weipa, na Austrália, e Collahuasi, no Chile, confirmam que a integração da energia solar é igualmente eficaz em diferentes tipos de exploração mineira, incluindo minas de bauxite e cobre. Estes projectos evidenciam reduções do consumo de combustíveis fósseis, menores emissões de carbono e melhoria da eficiência operacional.

De forma geral, os casos analisados demonstram que a implementação de sistemas fotovoltaicos na mineração constitui uma estratégia eficaz para reforçar a sustentabilidade energética, reduzir os impactos ambientais e aumentar a competitividade das empresas mineiras. Estes resultados são particularmente relevantes para Moçambique, onde a elevada disponibilidade de radiação solar e a importância económica da mineração de carvão em Moatize criam condições favoráveis para a adoção de soluções semelhantes, contribuindo para a descarbonização do setor extrativo e para o cumprimento das metas nacionais de transição energética.

Benefícios técnicos e económicos

De acordo com o International Renewable Energy Agency (IRENA, 2022) A integração da energia solar nas operações mineiras pode gerar múltiplos benefícios:

Redução de custos energéticos a médio e longo prazo

Diminuição das emissões de CO₂, contribuindo para metas climáticas

Melhoria da segurança energética, reduzindo dependência de combustíveis fósseis

Menor exposição à volatilidade dos preços do diesel

Estudos indicam que sistemas híbridos podem reduzir significativamente o custo nivelado da energia (LCOE), tornando a energia solar uma alternativa competitiva em contextos mineiros remotos (IRENA, 2022). Outro indicador importante da sustentabilidade energética é a redução das emissões de dióxido de carbono equivalente (CO₂e).

Implicações para Moatize

Embora Moatize apresente características operacionais distintas das minas analisadas, existem condições favoráveis para a adopção de soluções semelhantes.

A província de Tete possui elevada disponibilidade de radiação solar ao longo do ano, próxima da observada noutras regiões africanas onde estes sistemas já se encontram em funcionamento. Além disso, as operações mineiras de grande dimensão apresentam perfis de carga reactivamente constantes, característica que favorece a integração de sistemas fotovoltaicos híbridos.

Os estudos analisados evidenciam que a implementação de sistemas fotovoltaicos na mineração deixou de constituir uma solução experimental e passou a representar uma alternativa tecnologicamente consolidada.

Os casos de Fekola e DeGrussa demonstram que a integração entre energia solar, armazenamento em baterias e geração convencional permite reduzir significativamente o consumo de combustíveis fósseis sem comprometer a continuidade operacional. Estes resultados são particularmente relevantes para países africanos com elevado potencial solar, como Moçambique.

No contexto de Moatize, a adopção desta tecnologia poderá contribuir para a descarbonização da mineração, para a redução dos custos de produção e para o cumprimento dos compromissos nacionais de transição energética. Contudo, a inexistência de estudos empíricos sobre sistemas fotovoltaicos aplicados às minas de carvão moçambicanas evidencia uma lacuna científica importante, reforçando a relevância do presente estudo.

Conclusões

O presente estudo teve como objectivo analisar a integração da energia solar fotovoltaica nas operações mineiras de carvão no distrito de Moatize, Tete, com enfoque na promoção da sustentabilidade energética. Com base na revisão da literatura e na análise dos dados, foi possível retirar as seguintes conclusões:

Em primeiro lugar, a indústria mineira, particularmente a mineração de carvão, apresenta um elevado consumo energético, dependente maioritariamente de combustíveis fósseis, como o diesel, e de energia proveniente da rede eléctrica. Esta dependência contribui significativamente para o aumento dos custos operacionais e para a intensificação das emissões de gases com efeito de estufa.

Em segundo lugar, a região de Moatize apresenta um elevado potencial para a exploração da energia solar fotovoltaica, com níveis de radiação solar que favorecem a eficiência e viabilidade técnica desta tecnologia. Este potencial constitui uma oportunidade estratégica para a diversificação da matriz energética no sector mineiro.

Adicionalmente, verificou-se que a integração de sistemas solares, particularmente em configurações híbridas (solar + diesel), pode contribuir para a redução do consumo de

combustíveis fósseis, diminuição dos custos energéticos e melhoria da segurança no fornecimento de energia. Esta abordagem revela-se especialmente adequada para operações mineiras em contextos com limitações de infraestrutura energética.

Contudo, a adopção da energia solar no sector mineiro em Moçambique ainda enfrenta desafios significativos, incluindo elevados custos iniciais de investimento, limitações tecnológicas, ausência de incentivos específicos e necessidade de capacitação técnica.

A revisão da literatura revelou igualmente uma lacuna científica importante no contexto moçambicano. Apesar da existência de diversos estudos sobre os impactos ambientais e sociais da mineração de carvão em Moatize, são ainda escassas as investigações que avaliam a integração da energia solar fotovoltaica como estratégia de sustentabilidade energética no sector mineiro. Esta ausência de evidência científica limita a definição de políticas e estratégias específicas para a descarbonização das operações mineiras no país. Conclui-se, assim, que a energia solar fotovoltaica representa uma solução estratégica para a sustentabilidade energética da mineração de carvão em Moatize, desde que a sua implementação seja suportada por estudos de viabilidade técnica e económica, mecanismos de financiamento adequados, incentivos governamentais e um enquadramento regulatório favorável. Recomenda-se que futuras investigações incidam sobre estudos de caso em minas moçambicanas, integrando dados operacionais reais para avaliar o desempenho técnico, económico e ambiental de sistemas fotovoltaicos em diferentes cenários de exploração mineira.

Sugestões

Com base nos resultados do estudo, recomenda-se a implementação gradual de sistemas solares fotovoltaicos nas operações mineiras de Moatize, como estratégia para reduzir a dependência de combustíveis fósseis, diminuir as emissões de gases com efeito de estufa e melhorar a eficiência energética. Recomenda-se igualmente a realização de estudos de viabilidade técnica e económica específicos para cada exploração mineira, bem como o reforço de políticas públicas e incentivos que promovam a adoção de energias renováveis no sector extrativo. Por último, sugere-se o desenvolvimento de investigações futuras baseadas em dados operacionais reais das empresas mineiras moçambicanas, de forma a avaliar os benefícios técnicos, económicos e ambientais da integração da energia solar fotovoltaica.

Referências Bibliográficas

Australian Renewable Energy Agency. (2019). Agnew Hybrid Renewable Project. Recuperado de <https://arena.gov.au/projects/agnew-renewable-energy-microgrid/>

Australian Renewable Energy Agency. (2019). DeGrussa Solar Project. Recuperado de <https://arena.gov.au/projects/degrussa-solar-project/>

B2Gold Corp. (2025). B2Gold Completes Phase 2 Expansion of Fekola Solar Plant in Mali. Recuperado de <https://www.b2gold.com/news-media/news-releases/news-details/2025/B2Gold-Completes-Phase-2-Expansion-of-Fekola-Solar-Plant-in-Mali/default.aspx>

Banco Mundial. (2020). Mozambique energy outlook. <https://www.worldbank.org>

Banco Mundial. (2022). Tracking SDG7: The energy progress report. <https://trackingsdg7.esmap.org>

Chapare, T. F., Lummertz, T. B., & Fischer, M. L. (2020). Impactos ambientais, objetivos do desenvolvimento sustentável e bioética ambiental: A exploração do carvão mineral no distrito de Moatize, Moçambique. *Revista Iberoamericana de Bioética*, 14, 1–19.

Electricidade de Moçambique. (2021). Relatório anual. Maputo: EDM.

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. (2022). Photovoltaics report. <https://www.ise.fraunhofer.de>

Global Solar Atlas. (2023). Solar resource data for Africa. <https://globalsolaratlas.info>

Gold Fields. (2022). Annual Report 2022: Energy and Carbon Management. Recuperado de <https://www.goldfields.com/reports/annual-report-2022/energy-and-carbon-management.php>

Gove, S. A. S. (2022). Sustentabilidade da indústria extractiva em Moçambique: Caso dos megaprojectos da Bacia Carbonífera de Moatize. *Brazilian Journal of Development*, 8(1), 2866–2878.

IEA Clean Coal Centre. (2020). Energy use in the mining industry. <https://www.iea-coal.org>

International Energy Agency. (2022). Renewables 2022: Analysis and forecast to 2027. <https://www.iea.org/reports/renewables-2022>

International Energy Agency. (2025). Mozambique 2024: Energy Policy Review. Paris: IEA. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/mozambique-2024>

International Renewable Energy Agency. (2013). Mozambique: Renewables Readiness Assessment. Abu Dhabi: IRENA.

International Renewable Energy Agency. (2021). Renewable energy prospects for Africa: Energy transformation 2050. <https://www.irena.org>

International Renewable Energy Agency. (2023). Renewable power generation costs in 2022. <https://www.irena.org>

IRENA. (2019). Future of solar photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. <https://www.irena.org>

Ministério dos Recursos Minerais e Energia. (2020). Política energética de Moçambique. Maputo: MIREME.

MIREME. (2023). Estratégia de Transição Energética de Moçambique (2023–2050). Maputo: Ministério dos Recursos Minerais e Energia.

Mozambique Renewable Energy Atlas. (2014). Renewable Energy Atlas of Mozambique. Maputo: Ministério da Energia/AFREA/Banco Mundial.

REN21. (2023). Renewables 2023 global status report. <https://www.ren21.net>

REN21. (2024). Renewables 2024 Global Status Report: Economic & Social Value Creation. Paris: REN21.

Sovacool, B. K. (2016). How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions. *Energy Research & Social Science*, 13, 202–215. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.12.020>

United Nations. (2015). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. <https://sdgs.un.org>

World Bank & Solargis. (2024). Global Solar Atlas. Recuperado de <https://globalsolaratlas.info>

World Commission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press.