



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**



**MAICKSON EDUARDO FERNANDES DE SOUSA**

**FONTES ENERGÉTICAS DISPONÍVEIS PARA AUTOGERAÇÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA NA MINERAÇÃO: VANTAGENS E DESVANTAGENS**

**OURO PRETO**

**2023**

Maickson Eduardo Fernandes de Sousa

**FONTES ENERGÉTICAS DISPONÍVEIS PARA AUTOGERAÇÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA NA MINERAÇÃO: VANTAGENS E DESVANTAGENS**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental, da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental.

Data da aprovação:08/03/2023

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Lívia Cristina Pinto Dias

Coorientador: Prof José Fernando Miranda

OURO PRETO

2023

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S725f Sousa, Maickson Eduardo Fernandes de.  
Fontes energéticas disponíveis para autogeração de energia elétrica na mineração [manuscrito]: vantagens e desvantagens. / Maickson Eduardo Fernandes de Sousa. José Fernando Miranda. Lívia Cristina Pinto Dias. - 2023.  
51 f.: il.: color., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Lívia Cristina Pinto Dias.  
Coorientador: Prof. Me. José Fernando Miranda.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

1. Meio ambiente. 2. Energia - Fontes alternativas. 3. Geração de energia fotovoltaica. 4. Minas e recursos minerais. I. Dias, Lívia Cristina Pinto. II. Miranda, José Fernando. III. Dias, Lívia Cristina Pinto. IV. Miranda, José Fernando. V. Universidade Federal de Ouro Preto. VI. Título.

CDU 504:502

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Maickson Eduardo Fernandes de Sousa**

### **Fontes energéticas disponíveis para autogeração de energia elétrica na mineração: vantagens e desvantagens**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental

Aprovada em 08 de março de 2023

#### Membros da banca

Profa. Dra. Livia Cristina Pinto Dias - Departamento de Engenharia de Minas - Universidade Federal de Ouro Preto [orientadora]  
Prof. Dr. José Fernando Miranda - Departamento de Engenharia de Minas - Universidade Federal de Ouro Preto [co-orientador]  
Profa. Dra. Marina de Medeiros Machado - Departamento de Engenharia de Minas - Universidade Federal de Ouro Preto  
Prof. Dr. Daniel Silva Jaques - Departamento de Engenharia de Minas - Universidade Federal de Ouro Preto

Profa. Livia Cristina Pinto Dias, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 20/04/2023



Documento assinado eletronicamente por **Livia Cristina Pinto Dias, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/04/2023, às 15:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0513248** e o código CRC **41051232**.

## AGRADECIMENTOS

Ao longo desses anos estudando na Universidade Federal de Ouro Preto, aprendi a lutar pelos meus objetivos, a ultrapassar os obstáculos da vida e a dar valor às coisas mais simples, a adquirir maturidade e experiência, e isso levarei para todo o sempre.

Como Engenheiro Ambiental, sei o quão importante são as pessoas em nossa caminhada. Não há profissional capaz de levar a vida isoladamente e é com essa certeza que agradeço a Deus, a nossa Senhora Aparecida, a qual eu sou devoto; e àqueles que me ajudaram a vencer essa etapa, comum a muitos; mas única forma de encarar desafios, decepções e superação.

À minha família, peça chave que representa equilíbrio e exemplo, serei sempre grato.

A minha mãe, Maria da Conceição, por seu afeto, preocupação e carinho. Levo essas características para toda a minha vida pessoal, pois a tenho como modelo de equilíbrio e sabedoria.

Aos meus irmãos, Andréa e Marcus. Queridos amigos, sei que posso contar com vocês, obrigado por ouvir, rir e chorar comigo.

Às incríveis amizades que o curso de Engenharia Ambiental me deu! Em especial, a meu grupo de Whatsapp, “5 série forever”!

À Ana Gabriela, Júlia, Vanessa, Fernanda, Carine, Késia, Camila, Luiza Murta, Manuela, Mylla, CAEA e todos amigos!

A todos os professores, em especial DEAMB, por todo aprendizado, experiências e motivação.

À fundação Gorceix que me proporcionou oportunidades de investir em cursos. Especialmente ao meu coorientador de TCC, José Fernando Miranda (Thaco), e a minha orientadora Lívia Cristina Pinto Dias pelos ensinamentos e pela paciência.

Aos colegas do SAAE, em Mariana – MG, obrigado pelos ensinamentos. Tenho me espelhado em muitos de vocês.

Por fim, à UFOP e à Escola de Minas!

Finalizo com a certeza de que o futuro dependerá só daquilo que tenho construído no presente.

## RESUMO

A preocupação com a preservação do meio ambiente e com os impactos que as atividades humanas causam sobre ele, ao longo dos anos, tem causado muitas discussões e levantado a necessidade da utilização dos recursos dos quais ele nos dispõe de maneira consciente. Levando em consideração que a energia é de extrema relevância não só para o desenvolvimento econômico de um país, mas também para a garantia da sobrevivência dos indivíduos, a utilização das fontes renováveis configura uma opção significativa e necessária, sobretudo, pela localização favorável em que o país se encontra. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho é fazer uma identificação de quais fontes de energia renováveis tem maior potencial para serem geradas e utilizadas na mineração. Parte-se do problema de que, embora o país esteja em uma posição estratégica no que tange à captação de energia renováveis, como a solar e a eólica, ainda se tem o emprego de combustíveis fósseis como principal fonte de energia. Para tanto, seguiu-se uma metodologia qualitativa, de cunho bibliográfico e analítico, em que foram selecionados os principais autores que tratam do tema a fim de viabilizar a seleção da fonte de energia mais viável para a mineração. Como resultados, percebeu-se que a energia solar fotovoltaica é a que menos agride a fauna e a flora, quando comparada com as demais fontes de energias analisadas, além do fato de constituir um caminho importante para diminuir as perdas socioambientais associadas à atividade minerária e os gastos do Estado. Concluiu-se que, para que a energia solar fotovoltaica se torne uma realidade na autogeração de energia nas indústrias e, também, no país como um todo, é preciso direcionar investimentos em tecnologia, em qualificação profissional, além de políticas assertivas que corroborem a substituição das fontes não renováveis de energia pelas fontes renováveis.

**Palavras-chave:** Meio ambiente; Mineração; Fontes Renováveis; Energia Fotovoltaica.

## ABSTRACT

The concern with the preservation of the environment and the impacts that human activities cause on it, over the years, has caused many discussions and raised the need to use the resources available to us consciously. Taking into account that energy is extremely relevant not only for the economic development of a country, but also for ensuring the survival of individuals, the use of renewable sources is a significant and necessary option, especially for the favorable location in which the country is. In this sense, the objective of this research is to make a comparative analysis between the forms of energy used in mining highlighting its advantages and disadvantages. It is based on the problem that, although the country is in a strategic position with regard to the capture of renewable energy, such as solar and wind, the use of fossil fuels as the main source of energy is still being used. For this, a qualitative methodology of bibliographic and analytical nature was followed, in which the manauthors were selected who deal with the theme in order to enable the selection of the most viable energy source for mining. As a result, it was noticed that photovoltaic solar energy is the one that least harms the fauna and flora, when compared to the other sources of energy analyzed, in addition to the fact that it constitutes an important way to reduce the socio-environmental losses associated with mining activity and state spending. In this sense, the objective of this work is to identify which renewable energy sources have the greatest potential to be generated and used in mining. It starts with the problem that, although the country is in a strategic position in terms of capturing renewable energy, such as solar and wind, fossil fuels are still used as the main source of energy. For that, a qualitative methodology was followed, with a bibliographic and analytical nature, in which the main authors who deal with the subject were selected in order to enable the selection of the most viable energy source for mining.

**Keywords:** environment; mining; renewable sources; photovoltaics energy.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Matriz energética brasileira de 2021.....	8
<b>Figura 2</b> – Combustíveis Fósseis.....	9
<b>Figura 3</b> – Energia Nuclear.....	10
<b>Figura 4</b> – Energia Hidrelétrica. ....	11
<b>Figura 5</b> – Energia Eólica.....	13
<b>Figura 6</b> – Energia Solar Térmica. ....	14
<b>Figura 7</b> – Sistema off-grid.....	15
<b>Figura 8</b> – Sistema on-grid. ....	16
<b>Figura 9</b> – Sistema híbrido. ....	16
<b>Figura 10</b> – Biomassa.....	18
<b>Figura 11</b> – Energia Geotérmica.....	19
<b>Figura 12</b> – Geração e distribuição de energia. ....	22
<b>Figura 13</b> – A cadeia energética. ....	25
<b>Figura 14</b> – Mining Hub.....	28
<b>Figura 15</b> – Participação das principais substâncias metálicas no valor da produção mineral comercializada (2021). ....	30
<b>Figura 16</b> – Fases do processo de produção mineral.....	31

## **LISTA DE TABELAS**

**Tabela 1** – Comparação das vantagens e desvantagens das fontes renováveis. .... 33

**Tabela 2** – Comparação das vantagens e desvantagens das fontes não renováveis..... 35

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Justificativa</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Objetivos</b>	<b>6</b>
<b>3.1</b>	<b>Objetivo geral</b>	<b>6</b>
<b>3.2</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Revisão bibliográfica</b>	<b>7</b>
<b>4.1</b>	<b>Matriz Energética brasileira</b>	<b>7</b>
<b>4.2</b>	<b>Fontes energéticas</b>	<b>8</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Combustíveis fósseis</b>	<b>8</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Energia Nuclear</b>	<b>9</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Energias Hidrelétricas</b>	<b>11</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Energia eólicas</b>	<b>12</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Energia Solar Térmica</b>	<b>13</b>
<b>4.2.6</b>	<b>Energia Solar Fotovoltaica</b>	<b>14</b>
<b>4.2.7</b>	<b>Biomassa</b>	<b>17</b>
<b>4.2.8</b>	<b>Energia Geotérmica</b>	<b>18</b>
<b>4.3</b>	<b>O setor elétrico brasileiro</b>	<b>19</b>
<b>4.4</b>	<b>Geração e distribuição de energia</b>	<b>21</b>
<b>4.5</b>	<b>O autoprodutor de energia e a geração distribuída</b>	<b>22</b>
<b>4.6</b>	<b>Demanda energética e eficiência</b>	<b>24</b>
<b>4.7</b>	<b>Potencial para avanços em eficiências energéticas</b>	<b>25</b>
<b>4.8</b>	<b>Mineração e Energia</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>Metodologia</b>	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>Resultados e Discussões</b>	<b>30</b>
<b>6.1</b>	<b>Consumo de energia na mineração</b>	<b>30</b>
<b>6.2</b>	<b>Análise comparativa das fontes de energia utilizadas na mineração</b>	<b>33</b>
<b>6.3</b>	<b>Autogeração de energia elétrica na mineração</b>	<b>38</b>
<b>7</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>40</b>
<b>8</b>	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>41</b>

## **1 Introdução**

A energia é um elemento muito importante para a garantia da sobrevivência humana. O homem, ao longo dos tempos, procurou sempre descobrir novas fontes e formas alternativas de se adaptar ao meio ambiente em que vive usando os recursos energéticos da maneira mais favorável possível. À medida que o conhecimento científico avançou, as formas de lidar com a energia foram ressignificadas, representando um fator crucial no que diz respeito ao seu progresso social e, principalmente, econômico (FARIAS e SELLITTO, 2011).

Atualmente, as fontes mais utilizadas no mundo para a produção de energia são os combustíveis fósseis, como o petróleo, o carvão mineral e o gás natural (IEA, 2022). Essas fontes de energia são chamadas de não renováveis, ou seja, elas podem ser definidas como fontes finitas e esgotáveis uma vez que os recursos naturais das quais elas utilizam não se disponibilizam constantemente na natureza.

As fontes não renováveis de energia tem um papel histórico importante por terem sido protagonistas na Revolução Industrial, quando foram criados os motores a combustão que utilizavam carvão mineral em substituição a lenha (FARIAS e SELLITTO, 2011). Ao longo do século XX, foram às fontes não renováveis de energia que permitiram que, mesmo diante do crescimento populacional e aumento constante da demanda de energia, a população mundial tivesse maior acesso a mais produtos e serviços em relação aos séculos anteriores. No entanto, o uso das fontes não renováveis tem trazido diversos problemas e desafios (FARIAS e SELLITTO, 2011).

Primeiro, há problemas e desafios econômico e de segurança energética relacionados às fontes não renováveis de energia, já que a distribuição desses recursos energéticos é desigual entre os países fazendo com que eles se tornem interdependentes e potencialmente vulneráveis a políticas internas e externas (BRITO, 2012). Um exemplo disso foi a crise do petróleo que aconteceu em 1973. O início dessa crise ocorreu quando os membros da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) proclamaram um embargo as nações aliadas de Israel (principalmente Estados Unidos e países da Europa) na Guerra do Yom Kipur, que foi um conflito militar entre estados árabes liderados por Egito e Síria contra Israel (Melo, 2008). A crise do petróleo de 1973 foi devastadora para a economia do Brasil que naquele momento estava pautando todo o seu desenvolvimento no petróleo (com a construção de rodovias e apoio a utilização de

veículos a combustão), mas era extremamente dependente da importação desse recurso (BRITO, 2012).

Em segundo lugar, há problemas e desafios ambientais, já que a combustão de petróleo, carvão mineral ou gás natural tem como subprodutos gases tóxicos capazes de provocar problemas locais e globais. A queima de combustíveis fósseis reduz a qualidade do ar localmente e está relacionada ao aumento de casos de doenças respiratórias e cardiovasculares (NARDOCCI et al., 2013).

Já em termos globais, de acordo com Freitas e Dathein (2013), os gases que mais causam preocupação para especialistas são os chamados Gases do Efeito Estufa (GEE), em especial, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Estudos conduzidos desde a década de 1980 apontam cada vez mais que o aumento do  $\text{CO}_2$  atmosférico está relacionado ao aumento da temperatura média do planeta Terra (chamado de aquecimento global) e, conseqüentemente, com alterações em outros ciclos biogeoquímicos importantes, como o da água. Assim, existem diversos motivos que justificam busca por fontes de energias alternativas renováveis, bem como a necessidade do investimento adequado para tal.

As fontes renováveis de energia são aquelas em que os recursos naturais utilizados são capazes de se renovarem e, por esse motivo, são considerados inesgotáveis. O aproveitamento adequado das fontes renováveis é uma opção para a substituição das “energias sujas” e, conseqüentemente, para a diminuição dos danos causados ao planeta (AZEVEDO, 2013). Dentre as energias alternativas renováveis mais conhecidas atualmente encontram-se a energia hidráulica, eólica, solar, maremotriz, biomassa e geotérmica. A utilização dessas energias alternativas renováveis em substituição aos combustíveis fósseis tem se mostrado viável e vantajosa e, tendo em vista as mudanças climáticas e o contínuo crescimento da população mundial e sua renda per capita – e, conseqüentemente, da demanda por energia – torna-se imperioso que elas sejam utilizadas (Raphael Santos do Nascimento, 2016).

O Brasil é destaque mundial na utilização de energias renováveis. Segundo dados do Balanço Energético Nacional - BEN (2022), alcançou-se um patamar renovável de 44,7%, superando índices mundiais. Esse destaque do Brasil se deve ao investimento feito pelo país em energia hidráulica. Ele conta com 219 usinas hidrelétricas de grande porte, 425 pequenas centrais hidroelétricas (PCHs) e 729 centrais geradoras hidrelétricas (CGHs), totalizando 739 centrais geradoras hidroelétricas que, ano de 2021, produziram

cerca de 67% da energia gerada, equivalente à 62,48% da potência de energia instalada, conforme dados da Agência Nacional de Energia (ANEEL, 2022). As usinas de Itaipu Binacional (localizada na fronteira com o Paraguai), de Belo Monte (Pará), de Tucuruí (Tocantins), do Xingó (localizada entre os Estados de Alagoas e Sergipe), de Ilha Solteira (Paraná), de Paulo Afonso (Bahia), de Jirau (Rondônia) e de Santo Antônio (Rondônia) são as mais importantes do país.

Entre as fontes de energia renováveis, a geração da energia elétrica por fonte eólica tem crescido com rapidez no Brasil. Em comparação ao ano de 2020, registrou-se um crescimento de 26,7% em 2021 (BEN, 2022). O aumento dessa fonte de energia deve-se à estabilidade dos ventos, sobretudo na região nordeste, a localização geográfica privilegiada do Brasil, além do avanço expressivo do mercado com empresas prestadoras de serviços e de instalações de parques eólicos no país (BEN, 2022).

A geração de energia eólica também aumentou, devido à criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), por meio da Lei nº 10.438/2002, que teve como objetivo diversificar as matrizes energéticas no país para o emprego dessa fonte. Também favoreceram o desenvolvimento da energia eólica brasileira os leilões feitos pelo Governo Federal e iniciativas da Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) e da Companhia Paraense de Energia (Copel), as quais aprovaram a criação de várias usinas eólicas e fotovoltaicas nos estados que atuam (BEZERRA, 2021).

O potencial eólico brasileiro de *onshore* (em terra) pode chegar a 880,5 GW e pode chegar a 1,3 TW de *offshore* (no mar), sendo que na região nordeste os ventos podem ser melhor aproveitados (PEREIRA, 2016).

A energia solar fotovoltaica também vem se destacando no Brasil já que o território brasileiro apresenta condições favoráveis ao seu desenvolvimento. Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (2019), houve o crescimento de geração elétrica por fonte fotovoltaica equivalente a 316% de 2017 para 2018. Ainda de acordo com dados do BEN (2022), a energia solar fotovoltaica representou 83,3% da Micro e Minigeração Distribuída (MMGD), atingindo 8.771 MW de potência instalada e 9.019 GWh de geração em 2021. Esses números evidenciam que há não só uma procura crescente pela energia renovável, mas também uma mudança de comportamento no entendimento sobre a importância da preservação ambiental.

Para Nakabayashi (2015), o sucesso da energia solar fotovoltaica no Brasil pode ser atribuído ao fato de que tem havido uma diminuição de custos da geração fotovoltaica, enquanto a energia elétrica gerada por fontes convencionais vem na contra mão, apresentando um aumento relevante de custos. Outro fator benéfico nesse contexto, diz respeito à posição geográfica do país, a qual apresenta um ótimo índice de irradiação solar, tratando-se de um dos maiores do mundo, pois grande parte do território nacional está perto da linha do Equador. Desse modo, a irradiação solar não varia muito ao longo do dia, sendo mais constante (FEAM, 2016). Além disso, a legislação brasileira tem sido atualizada para permitir a que a geração de energia elétrica distribuída possa ser incorporada à rede de distribuição, fazendo a energia fotovoltaica ser ainda mais atraente.

O setor mineral é uma das bases da economia mundial, pois tem grande relevância no desenvolvimento socioeconômico, uma vez que a maioria dos minérios pode ser encontrada em quase todos os produtos utilizados pela humanidade. Assim, a mineração é uma atividade essencial para o progresso de uma sociedade, embora, apesar de ser indispensável ao desenvolvimento, é uma atividade que gera impactos ambientais negativos.

No processo produtivo, da mineração, é comum haver um grande consumo de água e de energia elétrica, um de seus maiores custos operacionais, o que coloca o setor mineiro-metalúrgico como um dos grandes causadores de impactos ambientais.

Ela é extremamente importante para o Brasil, já que em grande parte dos produtos consumidos cotidianamente, encontra-se o minério de ferro. Segundo a Agência Nacional de Mineração (ANM, 2021), a mineração tem uma atuação significativa para a economia brasileira, tendo representado 2,45 do PIB em 2019 e chegando a um valor bruto estimado de USD 43,7 bilhões em 2020.

Nesse contexto, esta pesquisa busca fazer uma revisão da utilização de energia na mineração.

## 2 Justificativa

Em se tratando do desenvolvimento de um país, a energia constitui uma variável muito importante no que se refere aos aspectos econômicos e sociais, sobretudo por proporcionar melhorias na qualidade de vida da população. O emprego das fontes renováveis de energia configura um meio não apenas de diminuição de gastos, mas também de se repensar sobre os impactos causados pelo homem sobre o meio ambiente, na tentativa de diminuí-los.

No processo produtivo, da mineração, é comum haver um grande consumo de água e de energia elétrica, um de seus maiores custos operacionais, o que coloca o setor mineiro-metalúrgico como um dos grandes causadores de impactos ambientais.

A preocupação com o meio ambiente e com a utilização de recursos é crescente, no setor mineral. Justamente por esse motivo um dos maiores desafios tem a ver com a redução dos impactos gerados pelas atividades relacionadas, tanto na extração, quanto no beneficiamento e, até mesmo no descarte de rejeitos.

Diante deste cenário, o setor mineral busca, constantemente, além da redução dos impactos negativos, melhorar a eficiência de uso dos recursos naturais, de forma a evitar o desperdício e a contaminação, ao mesmo tempo em que procura o melhor aproveitamento de elementos.

Para isso, as empresas de mineração vêm se adequando para atender aos objetivos de desenvolvimento sustentável, preconizados pela Agenda 2030 da ONU, sintetizados por FEM (2017).

Um destes objetivos é o ODS 7 - Energia Limpa e Acessível – que incentiva a adoção de medidas que visem à melhoria da eficiência energética, como investimentos em infraestrutura específica e conscientização pelo uso adequado de recursos energéticos. Como forma de atender este objetivo, as pesquisas que visam à substituição de geradores a diesel por fontes de energia renovável, como solar e eólica, vêm se tornando muito interessantes.

A busca pela melhoria da eficiência energética no setor mineral é que influenciou a escolha deste tema, nesta pesquisa.

### **3 Objetivos**

#### **3.1 Objetivo geral**

- O objetivo desse trabalho é identificar quais fontes de energias renováveis tem maior potencial para serem geradas e utilizadas na mineração.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Descrever os processos em mineração, a necessidade de utilização de energia elétrica e o tipo de fonte de energia utilizada;
- Apresentar uma comparação das vantagens e desvantagens dos tipos de fontes de energia para utilização de energia elétrica nos processos de mineração;
- Autogeração de energia elétrica na mineração;

## 4 Revisão bibliográfica

### 4.1 Matriz Energética brasileira

A matriz energética brasileira é considerada uma das mais renováveis do mundo e representa o conjunto de fontes de energia necessárias para suprir a demanda do país (Engie, 2020).

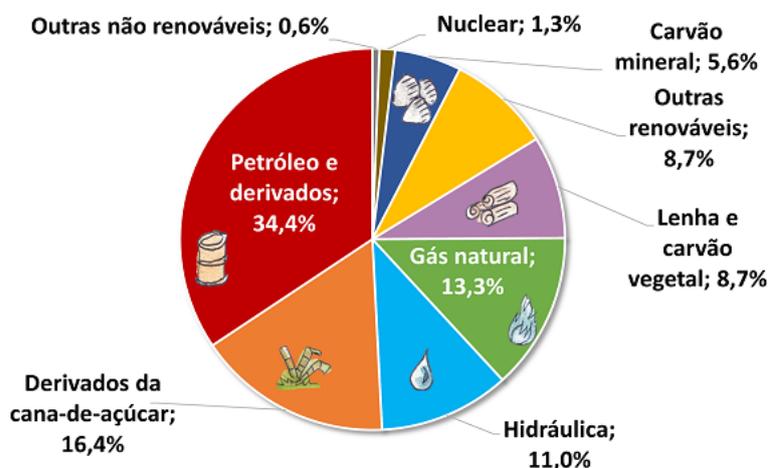
Isso mostra que a matriz energética brasileira é bastante diversificada e a presença de fontes energéticas renováveis tem sido cada vez maior. De acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a matriz atual é formada por 48,4% de fontes renováveis e 51,6% não renováveis (BEN,2022).

Para a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE), espera-se o aumento de 3% na matriz energética brasileira, sendo as fontes de energia renováveis responsáveis por mais de 84% da geração elétrica (ESBRASIL, 2022).

Entretanto, segundo o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional (BEN), 2021, as hidrelétricas ainda compõem 65,2% da matriz. Um número elevado, mas, em 2000 esse percentual era de 94,11% (Castro, 2010). Ainda, segundo o BEN, 2021, depois da energia hidrelétrica, segue a biomassa, com 9,1% e a eólica com 8,8% a solar representa somente 1,7%. Apesar do valor absoluto pequeno da energia solar, é interessante ressaltar que o país possui um alto potencial para a geração desse tipo de energia, a Alemanha, que possui metade do potencial brasileira para a energia solar, tem 12% de sua matriz representada por ela (CFA, 2021).

Além disso, esse percentual era quase inexistente há uma década atrás, passando a ser possível graças a diminuição do custo dessa energia, que caiu 89% em 10 anos (Época, 2020). Por sua vez, a matriz energética brasileira caracteriza-se por utilizar mais fontes renováveis que no resto do mundo. Somando lenha e carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana e outras renováveis, nossas renováveis totalizam 44,8%, quase metade da nossa matriz energética (EPE, 2022). A **Figura 1** caracteriza a matriz energética brasileira.

**Figura 1** – Matriz energética brasileira de 2021.



Fonte: (EPE, 2022)

## 4.2 Fontes energéticas

### 4.2.1 Combustíveis fósseis

O termo “fóssil” é definido pelo Dicionário Online de Português como “o que é extraído, retirado do cerne, do interior da terra; o que está enterrado”. Em se tratando da origem dos combustíveis fósseis, pode-se dizer que eles surgem a partir da decomposição de vegetais e de seres vivos que, por um longo período de tempo, foram enterradas conservando o oxigênio devido à atuação de diversas bactérias, da pressão e do calor existentes no interior da terra. Para Bezerra, Queiroz e Coutinho (2018, p. 302),

“combustíveis fósseis é a denominação dada a um grande grupo de combustíveis não renováveis e que foram formados a milhares de anos a partir de restos de animais e vegetais. Estão incluídos nestas fontes o carvão mineral, o gás natural e o petróleo e derivados, como o óleo diesel e a gasolina”.

Por serem matérias que apresentam ligações químicas, os combustíveis fósseis possuem energia química e alta quantidade de carbono, o que favorece combustão. A conversão da energia química das moléculas do combustível em energia térmica é utilizada para várias atividades cotidianas como no motor dos veículos a combustão e em diversos equipamentos (BEZERRA, QUEIROZ, & COUTINHO, 2018).

Segundo Borba (2007), os combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) representam aproximadamente 80% das necessidades mundiais de energia primária. O seu uso é impulsionado por economias industrializadas e praticamente tornou-se fundamental para os aspectos da atividade produtiva e da vida cotidiana do mundo.

As principais desvantagens associadas à utilização dos combustíveis fósseis dizem respeito à elevação do valor em áreas em que tais recursos não são encontrados com facilidade; a relação com problemas ambientais, a exemplo da emissão de gases poluentes que contribuem para o efeito estufa; erros de armazenamento e de extração os quais podem gerar problemas graves ao meio ambiente e, também, à saúde humana (BEZERRA, QUEIROZ, & COUTINHO, 2018). Na **Figura 2**, temos uma ilustração dos combustíveis fósseis.

**Figura 2** – Combustíveis Fósseis.



Fonte: Combustíveis Fósseis (Google Imagens), 2023.

#### **4.2.2 Energia Nuclear**

A energia nuclear é uma fonte energética vista como fonte de “energia limpa”, uma vez que não gera emissões de gases de efeito estufa, mas, devido ao perigo de radiação contida nos materiais utilizados, pode não ser uma energia alternativa exequível para o uso (Almeida, 2019).

O desafio dessa energia vem se tornando cada vez mais complexo e difícil em função das crescentes restrições ambientais impostas à construção de novas plantas de geração elétrica. Para Almeida (2019), o obstáculo primordial é a necessidade do

estabelecimento formal de um programa nuclear brasileiro. Para ele, é relevante que haja um monitoramento e incentivo dos objetivos estipulados em Comitê e materializados pelo Art. 5º do Decreto nº 9600, de 5 de dezembro de 2018, em que se apresentam 19 objetivos para a política nuclear, entre os quais pode-se destacar “atender às decisões futuras do setor energético quanto ao fornecimento de energia limpa e firme por meio da geração núcleo elétrica”.

Outro empecilho com relação à segurança são os impactos sobre o meio ambiente, como o aquecimento de ecossistemas aquáticos pela água de resfriamento de reatores. Além do mais, o futuro da energia nuclear não é muito promissor em virtude dos problemas de segurança e dos altos custos de disposição dos rejeitos nucleares. Se comparada com outras formas de energia, a nuclear demanda maior investimento e traz mais riscos de acidentes. (Bueno & Cunha, 2012).

Como não há condições econômicas e energéticas para atender a demanda de energia elétrica, destaca-se a necessidade de buscar fontes que garantam, simultaneamente, a segurança assim como a redução de emissão de gases de efeito estufa e a competitividade econômica. (Bueno & Cunha, 2012). Na **Figura 3**, temos uma ilustração da Energia Nuclear.

**Figura 3** – Energia Nuclear.



Fonte: Energia Nuclear (Google Imagens), 2023.

### 4.2.3 Energias Hidrelétricas

Segundo indicações da Fapesp (2010), energia hidrelétrica é o recurso renovável mais utilizado em todo o mundo. Essa fonte de energia responde, hoje, pela maior parte (85%) da produção de eletricidade renovável e é uma das tecnologias disponíveis de geração de custo mais baixo.

Na energia hidrelétrica, aproveita-se das águas dos rios para gerar energia. Elas movem as turbinas das usinas e, depois, convertem a energia potencial em energia mecânica, gerando a energia elétrica. Contudo, períodos longos de seca é um empecilho que tende a diminuir a quantidade de água disponível, ocasionando diminuição na produção de energia e, conseqüentemente, aumento no preço da conta de luz (FAPESP, 2010, p. 204).

Os principais desafios para esse tipo de energia são os sociais, os econômicos e os não técnicos. Muitos esforços recentes têm se concentrado na incorporação de novas tecnologias e de métodos operacionais que visem minimizar ainda mais os impactos sobre o meio ambiente, a exemplo das populações de peixes (FAPESP, 2010, p. 204).

Também, conforme a Fapesp (2010), o licenciamento é considerado o primeiro e, talvez, o mais complexo desafio a ser percorrido para a instalação de uma hidrelétrica no Brasil. Realidade que, hoje, ainda continua sendo observada. Na **Figura 4**, temos uma ilustração da Energia Hidrelétrica.

**Figura 4** – Energia Hidrelétrica.



Fonte: Energia Hidrelétrica (Google Imagens), 2023.

#### 4.2.4 Energia eólicas

A energia eólica é conseguida pela ação do vento, ou seja, pela movimentação das massas de ar. A energia dos ventos é transformada em energia elétrica por meio de aerogeradores, os quais possuem hélices enormes, que se movimentam em consonância com a quantidade de vento do lugar. Conforme Cemig (2012), tal procedimento deve ser feito considerando aspectos como a intensidade do vento, ligação com sistemas locais de eletricidade, condições climáticas atípicas, além da poluição visual. Nas regiões nordeste e sul do Brasil, a implantação da energia eólica é mais viável por serem locais em que os ventos são mais profusos (BEZERRA, 2021).

No ano de 2009, a energia eólica estava entre as tecnologias de energia renovável de maior crescimento no Brasil (FAPESP, 2010). Atualmente, conforme dados do BEN (2022), ela apresenta uma participação significativa na produção de “outras renováveis”, com um crescimento de 26,7%, entre 2021 e 2022.

Mesmo a que implantação de fazendas eólicas traga benefícios, não emita poluentes na atmosfera ou não queime combustíveis fósseis, isso não significa que não exista nenhum problema associado à sua implantação (FAPESP, 2010). Além de a paisagem ser alterada, por causa das grandes torres e hélices presentes nelas as migratórias podem correr riscos, isto é, terem a vida ameaçada. Outro problema é a poluição sonora. Os ruídos emitidos, ainda com frequência menor, podem causar incômodos e, até mesmo, interferências nos aparelhos de televisão. O alto custo dos geradores eólicos também é tido como um obstáculo para a introdução da energia eólica. Ainda assim, o retorno financeiro acaba sendo recompensado em curto prazo, o que a faz continuar sendo uma alternativa vultosa (CEMIG, 2012; SILVA & BRITO, 2016).

Frade, Meira e Santos (2021) também indicam como desvantagem a falta de profissionais qualificados e a ausência da busca por soluções suficientes que expandam a eficiência na geração e no aproveitamento dessa fonte renovável de energia. Na **Figura 5**, temos uma ilustração da Energia Eólica.

**Figura 5** – Energia Eólica.



Fonte: Energia Eólica (Google Imagens), 2023.

#### **4.2.5 Energia Solar Térmica**

A energia solar é uma das fontes mais abundantes e gratuitas, sendo capaz de prover energia suficiente para satisfazer toda a demanda energética mundial, já que é infinita (DUNLAP, 2015). A energia solar térmica é uma fonte de energia renovável, em que se aproveita da luz do Sol, tendo em vista o calor, para aquecimento de água, secagem de produtos e produção de energia, tendo como base o processo termodinâmico (FAPESP, 2010).

Nesse caso, a eletricidade pode ser gerada por usina héliotérmica, onde usa-se a energia solar concentrada, formada com o auxílio de diversos equipamentos que direcionam a luz solar para em um determinado ponto para aquecer a água e, em seguida, transforma-se em vapor. Este permite que as turbinas girem e produzam a eletricidade (EPE, 2022).

Entretanto, de acordo com Aguilar et al. (2012), assim como todas as fontes renováveis vistas nesta pesquisa, a energia solar térmica abrange impactos ambientais, como emissões de produtos tóxicos advindos da fabricação de seus componentes, os quais não podem ser usados à noite ou em épocas de chuvas. Na **Figura 6**, temos uma ilustração da Energia Eólica.

**Figura 6** – Energia Solar Térmica.



Fonte: Energia Solar Térmica (Google Imagens), 2023.

#### **4.2.6 Energia Solar Fotovoltaica**

No caso da energia solar fotovoltaica, utiliza-se de equipamentos específicos para converter a irradiação solar em energia elétrica: módulos ou painéis fotovoltaicos, inversor e medidor bidirecional (Villalva, 2015).

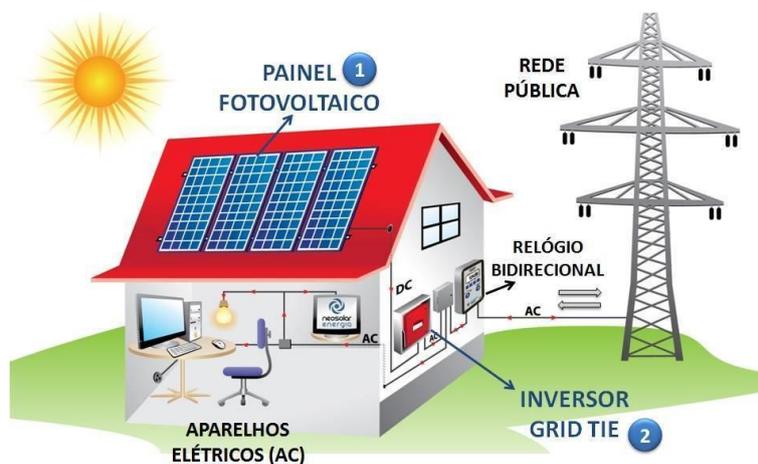
Cada vez mais, a energia solar fotovoltaica está sendo utilizada em aplicações integradas, onde módulos fotovoltaicos são incorporados a telhados e fachadas de edifícios e conectados à rede, para que se possa dirigir o fluxo de energia em excesso de volta para o sistema (FAPESP, 2010, p. 199).

Mesmo que o cenário seja promissor, alguns desafios devem ser superados para que a energia solar possa conquistar seu espaço na matriz elétrica nacional. Até o ano de 2011, poucos investimentos foram feitos para incentivar a introdução de energia fotovoltaica no Brasil. O resultado disso foi o impedimento do surgimento de indústrias para a criação de sistemas de baixa tensão e, também de outros segmentos voltados para tal atividade (IPEA, 2015). Como esses sistemas constituem um importante nicho de aplicação da energia fotovoltaica, o seu crescimento também foi inibido (VILLALVA, 2015). É claro que falta de incentivos governamentais configuram uma barreira para a implantação de sistemas fotovoltaicos no Brasil, o qual carece de programas que impulsionem desde grandes empresas, como mineradoras, até pequenos produtores, pessoas comuns ou pequenas empresas a adquirirem mini ou microssistemas de geração fotovoltaica em seus lares, produzindo suas próprias energias (Villalva, 2015).

Além disso, o custo da eletricidade gerada pela energia fotovoltaica ainda é relativamente alto, quando comparado ao de origem hidrelétrica. Porém, o aumento superior a 60% no custo da energia elétrica, experimentado pelo consumidor brasileiro, em 2015, fez com que os olhares voltassem novamente para a energia solar fotovoltaica (VILLALVA, 2015).

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em três tipos: os ligados à rede, os isolados e os híbridos. Os sistemas isolados, também chamados de *off-grid*, são utilizados geralmente em locais mais distantes, como em áreas rurais, não produzem custo e possuem baterias que armazenam a energia, como mostrado na **Figura 7**.

**Figura 7** – Sistema *off-grid*.

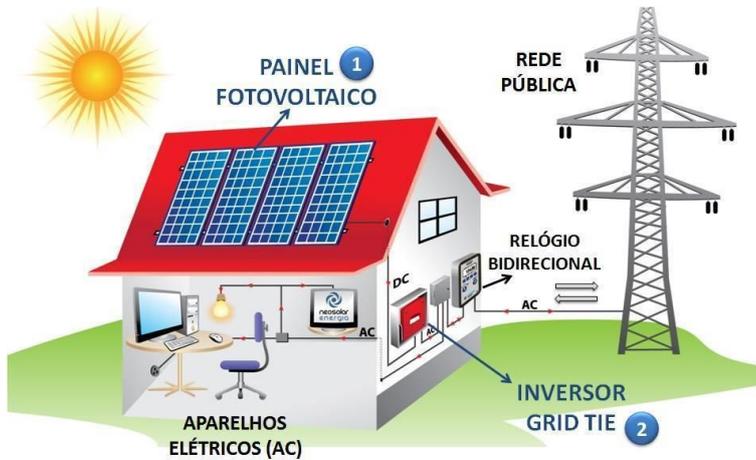


**Fonte:** Suttgart, 2019.

Além da presença da bateria, com a imagem é possível notar que o sistema também conta com painéis solares, controladores de carga e inversores. Para Villalva (2015), esse sistema pode ser em iluminação pública, sinalização de estradas, pequenos aparelhos eletrônicos portáteis, dentre outros.

O sistema ligado à rede, conhecido como *on-grid* (**Figura 8**), é aquele que não armazena energia e está conectado ao sistema público de energia. Segundo Gazoli (2011), ele apresenta como vantagem o menor custo de investimento, maior segurança de fornecimento e a possibilidade de produção, em grandes parques geradores de energia solar, conexão com a rede.

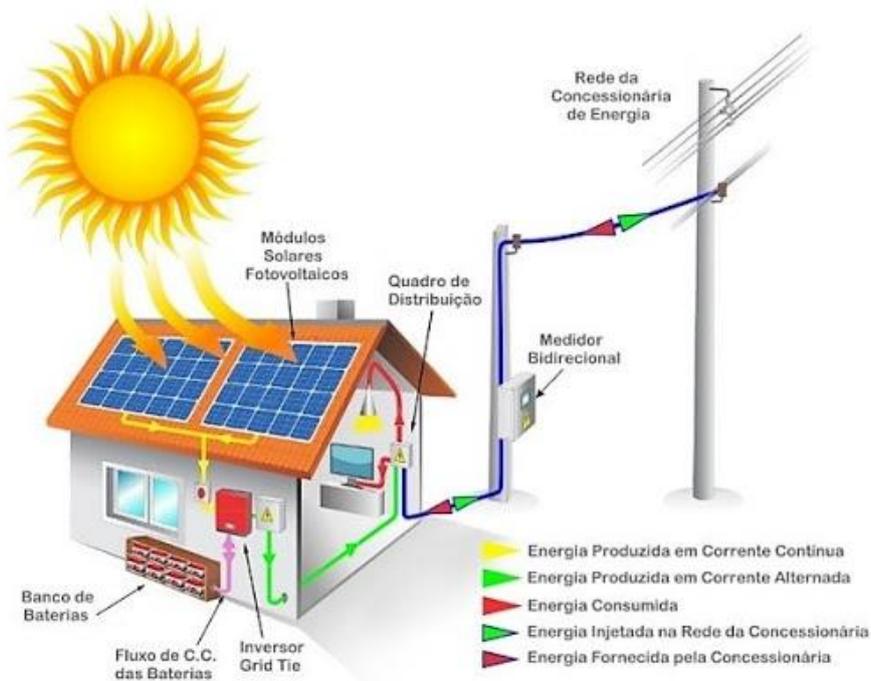
**Figura 8** – Sistema *on-grid*.



**Fonte:** Suntag, 2019.

Já no sistema híbrido, têm-se sistemas conectados à rede elétrica, que, ao mesmo tempo, integram também o armazenamento de energia por meio de baterias, como na **Figura 9**. Mesmo que haja falhas na rede elétrica, tem-se energia suficiente, já que, nesse caso, ela produzida em excesso.

**Figura 9** – Sistema híbrido.



**Fonte:** Suntag, 2019.

#### 4.2.7 Biomassa

No setor industrial, a biomassa tem recebido destaque no Brasil, devido aos sistemas de cogeração de energia, os quais tendem a fazê-la crescer ainda mais no futuro. A energia cresce motivada, principalmente, diante da capacidade já instalada até o momento e o aumento do potencial da produção de cana-de-açúcar, incentivada pelo consumo crescente do etanol como combustível (EDUARDO & MOREIRA, 2010).

A necessidade de cuidar do meio ambiente traz à tona o uso de fontes alternativas de energia, sendo a energia de biomassa uma delas. A energia de biomassa é o produto da queima de matérias-primas orgânicas, as quais não incluem combustíveis fósseis, como o carvão e o petróleo. Nesse sentido, a biomassa vale-se de derivados mais recentes de organismos vivos, o que não acontece com os combustíveis fósseis que levam milhões de anos para serem realizadas (FAPESP, 2010).

Um diferencial muito importante da biomassa é o fato de ela tratar-se de uma fonte renovável de energia, renovada através do ciclo do carbono. Quando o carbono é queimado, ele libera CO<sub>2</sub> para a atmosfera e plantas que, por meio da fotossíntese, libera oxigênio. É possível produzi-la com subprodutos da agricultura, da agropecuária, entre outros produtos: lenha, papel e papelão já usados, galhos e folhas de árvores, entre outros (EDUARDO & MOREIRA, 2010).

De todas as opções disponíveis, o etanol de cana-de-açúcar é o combustível de biomassa de maior êxito comercial sendo produzido atualmente. O etanol de cana-de-açúcar tem um balanço energético positivo e tem se beneficiado do apoio de políticas públicas em vários países, inclusive o Brasil, que atualmente satisfaz cerca de 40% de suas necessidades de combustível para automóveis (um terço da demanda total de energia para transporte) com o etanol de cana-de-açúcar (MACEDO e outros, 2004; GOLDEMBERG e outros, 2003).

Para Jesus (2019), estima-se que 146 bilhões de toneladas biomassa são produzidas por ano e, na medida em que as políticas de desenvolvimento sustentável no país vão crescendo, a importância e a representatividade da biomassa na matriz energética vêm conquistando o seu espaço.

Contudo, é preciso superar alguns desafios enfrentados por essa fonte de energia, como o efeito sobre a saúde que se agrava no decorrer da exposição por longos períodos,

devido à exibição constante à fumaça produzida pela queima da biomassa em ambientes fechados. Elas causam doenças pulmonares, pneumoconiose, e outras doenças respiratórias (EDUARDO & MOREIRA, 2010).

Além disso, Jesus (2019) aponta como dificuldades para o uso da biomassa como energia a variável de retorno econômico, a acessibilidade limitada, que demanda investimentos em transportes; o preço de mercado, que, em muitos contextos, não cobrem os preços de produção; e o uso acentuado de recursos naturais. Ela ainda cita como limitações para o emprego promissor da biomassa, os entraves associados à demanda e às tecnologias de conversão, já que envolve dois processos: o termoquímico, com combustão, pirólise e gaseificação; e o bioquímico, com fermentação, hidrólise química e enzimática. Isso resulta, em maior escala, da prioridade pela aplicação de outras fontes renováveis, como a eólica e a solar. Na **Figura 10**, temos uma ilustração da Energia da Biomassa.

**Figura 10** – Biomassa.



Fonte: Biomassa (Google Imagens), 2023.

#### **4.2.8 Energia Geotérmica**

A energia geotérmica é encontrada no interior do planeta Terra, o que significa que sua existência acompanha o surgimento do planeta enquanto tal e que sua captação não é mais complexa. “A capacidade global de geração de energia elétrica geotérmica é de cerca de 9 GW, a maior parte concentrada na Itália, Japão, Nova Zelândia e Estados Unidos” (FAPESP, 2010, p. 205).

No vapor presente no interior da Terra são encontradas substâncias que se misturam, gerando calor e tornando possível a produção da energia. Para Nascimento e Alves (2016, p. 3), “essa fonte alternativa de energia é possível em razão da capacidade natural da Terra em reter calor em seu interior, onde acha-se magma que se constitui em rochas derretidas”.

As vantagens dessa fonte de energia vão desde o baixo custo de manutenção até a fácil disponibilidade dela em lugares remotos. Ainda assim, também é possível encontrar desvantagens associadas a ela, já que, na visão de Nascimento e Alves (2016), ela causa um odor muito forte, advinda da liberação do enxofre, altamente prejudicial à saúde; além da contaminação de rios. Por isso, sua execução deve ser realizada em locais específicos.

No caso do Brasil, não existem áreas de exploração/produção dessa fonte de energia. Conforme Gil (2008), ela é empregada apenas para turismo, quando se aproveita de águas termais, o que acaba atraindo muitos turistas para regiões específicas, como em Poços de Caldas – MG. Na **Figura 11**, temos uma ilustração da Energia Geotérmica.

**Figura 11** – Energia Geotérmica.



Fonte: Energia Geotérmica (Google Imagens), 2023.

### **4.3 O setor elétrico brasileiro**

O século XX trouxe muitas mudanças para o Brasil, em aspectos econômicos e industriais, especialmente pelo direcionamento de políticas que facilitavam e chamavam a atenção de empresas para se fixarem no país. De acordo com Tolmasquim et al. (2007), nesse período o Brasil vivenciou um acentuado desenvolvimento econômico que resultou em uma crescente demanda por energia primária. A justificativa para esse aumento liga-

se à evolução do processo de industrialização, à expansão demográfica e ao acelerado crescimento das cidades.

O início da instalação de usinas hidrelétricas e a geração e consumo de energia elétrica no país aconteceu a partir de 1920, com a participação de empresas, como Light, CEMIG, CPLF, CEEE, que, até os dias atuais, fazem parte do mercado elétrico (ALMEIDA, 2008). Nessa mesma época, o então presidente Getúlio Vargas elaborou uma lei, denominada de Código das Águas, que concedia ao governo o direito de controlar tais concessionárias de energia (BRASIL, 1934). Apesar dessa tentativa de controle, a gestão não era bem consolidada frente à demanda de consumo e, logo, estratégias precisaram ser tomadas para racioná-la em anos seguintes.

A partir de 1950, o Estado procura organizar o setor e, para isso, cria agências reguladoras, oferece crédito e financiamento para empresas de energia, sendo que o surgimento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDE), em 1952, torna-se a medida de maior destaque no período. Além disso, também ganha espaço à elaboração do Ministério de Minas e Energia (MME), a adoção da frequência de 60 Hz para o sistema energético do Brasil a partir da década de 1960, entre outras medidas (CAMARGO, 2005).

Em 1984, a chegada da Usina Hidrelétrica a Itaipu, hoje a segunda maior do mundo, transformou a capacidade de geração de energia que, de acordo com a Itaipu Binacional (2015), à época era de 16,7 GW, e passou para cerca de 30 GW. Mais tarde, em 1988, com a criação do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e da Revisão Institucional do Setor Elétrico (REVISE), novas mudanças aconteceram, trazendo um cenário diferente para a década de 1990 (CAMARGO, 2005).

Em 1990, o governo buscou desenvolver medidas para atrair empresas e aumentar a geração de energia elétrica, porém, muitas delas não foram efetivas devido a deliberações políticas de gestões anteriores que inviabilizavam o repasse dos reajustes feitos nas empresas aos consumidores. Assim, o atendimento à demanda de energia continuou insuficiente, uma vez que não havia aplicações apropriadas (ALMEIDA, 2008). Até o ano de 2010, o setor elétrico passou por muitas instabilidades e ações de melhorias para o sistema, tais como: período de racionamento, de junho de 2001 a fevereiro de 2002; Programa Prioritário de Termelétricidade, formulação de um Novo

Modelo do Setor elétrico, por meio das Leis nº 10.847e nº10.848, privatizações, e outras (CUBEROS, 2008; ALMEIDA, 2008).

Além do aumento da produção de energia, a preocupação com o uso consciente de energia no Brasil não é recente, sobretudo, diante da observação de algumas medidas tomadas ao longo do tempo, as quais objetivaram a implantação de ações de eficiência energética, a exemplo do horário de verão (hoje extinto; adotado no país por meio do decreto nº 20.466, de 01 de outubro de 1931) (TOLMASQUIM, 2008). Apesar do horário de verão estar em vigor desde a década de 1930, segundo informações do Ministério de Minas e Energia (MME) (2007), os cuidados e a conscientização só passaram a ser mais efetivos a partir da década de 1970, perante repercussões associadas à exploração do petróleo. Desde então, muitos programas foram criados para tentar diminuir os prejuízos causados pelos combustíveis fósseis, especialmente, do petróleo e de seus derivados, como o Programa Conserve (1981), o Programa de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), de 1985; e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), de 1996. Para Altoet al. (2017), a criação desses programas fomentou a substituição do petróleo por fontes renováveis de energia, impulsionando medidas para a conservação da energia.

#### **4.4 Geração e distribuição de energia**

A forma mais comum de geração de energia elétrica no Brasil se dá pela força da água que movimenta turbinas em usinas hidrelétricas. Após passar por um processo de represamento e ser enviada às turbinas, ela é convertida em energia e distribuída para o consumo (Villalva, 2015) (MAUAD, 2017). As distribuidoras de energia é que são as responsáveis por fazer a conexão, o atendimento e a entrega efetiva dela ao consumidor final. Conforme a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE) (2021), a distribuição pode ser do tipo aérea, tendo postes como suporte; ou subterrânea, com fios e cabos localizados sob o solo, dentro de dutos subterrâneos.

As redes responsáveis pela distribuição são formadas por linhas de alta média e baixa tensão, sendo que as duas últimas chamadas de primária e de secundária são facilmente visualizadas em postes de concreto que levam energia para residências, pequenos comércios, indústrias de médio porte, entre outros estabelecimentos (ABRADEE, 2021). A **Figura 12** ilustra o processo de distribuição da energia, desde a geração na hidrelétrica até a chegada ao consumidor final.

**Figura 12** – Geração e distribuição de energia.



**Fonte:** ABRADEE, 2021.

As unidades de produção de ferro-ligas são consumidoras significativas de energia, pois o consumo específico de energia para produzir uma tonelada de liga pode variar de 2.800 a 13.400 kWh de energia elétrica. O mercado cativo, também chamado de mercado regulado, trata-se de um ambiente contratual para pequenos e médios consumidores. Nesse caso, os consumidores compram a energia da concessionária, por fonte direta, sendo que a tarifação diz respeito ao valor da energia e ao uso do conjunto de distribuição (ABRADEE, 2021).

No setor elétrico brasileiro, o mercado livre de energia, criado em 1995, reúne grandes consumidores. Estes apresentam uma demanda contratual superior a 3.000 kW. Já para os chamados de consumidores livres estabeleceu-se um limite de consumo inferior aos 3MW; enquanto aqueles cuja demanda contratual seja maior ou igual a 500 kW são chamados de consumidores especiais (ROCKMANN, 2019).

#### **4.5 O autoprodutor de energia e a geração distribuída**

De acordo com a definição do Decreto N° 2.003, de 10 de Setembro de 1996., federal um produtor de energia autogerada é “uma pessoa física ou jurídica ou empresa constituída em consórcio que recebe a concessão ou autorização para gerar eletricidade para seu uso exclusivo”. O Art. 27 do referido Decreto estabelece que, especialmente para os autos fabricantes, a licença de operação está condicionada à comprovação de que a energia elétrica produzida será para autoconsumo, corrente ou projetada. Fica também

definido que a concessionária ou permissionária do serviço público de distribuição pode adquirir o excedente resultante entre produção e consumo (Machado & Nivalde, 2021).

O Plano Nacional de Desestatização (PDN), que abriu o setor elétrico do Brasil para a iniciativa privada, tem as Leis nº 8.987/1995, que prevê sobre o regime de concessão e permissão de prestação de serviços públicos; e a Lei nº 9.074/1995, a qual estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões desses serviços; como referência legal, o que tornou possível a atuação de produtores independentes de energia.

Para Machado, Castro e Alves (2021, p. 2),

observa-se que os objetivos centrais para a criação deste agente foi possibilitar custos menores, maior previsibilidade quanto ao preço da energia e, principalmente, segurança do abastecimento para atender a demanda de energia do segmento industrial qualificado como atividades eletro intensivo com unidades geradoras próprias.

Seguindo essa linha de raciocínio, a geração distribuída é aquela em que a produção de energia se localiza próxima do autoprodutor, seja qual for a tecnologia usada, a potência e a fonte de energia (Machado & Nivalde, 2021). Ackermann e Andersson (2001) definem-na como uma fonte diretamente conectada à rede de distribuição ou ao consumidor. No Brasil, o Art. 14 do Decreto nº 5.163, de 30 de junho de 2004, anunciado pela Aneel, conceitua a geração distribuída como;

Art. 14 – Para fins deste Decreto, considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados (...), conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento;

I- Hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW, e

II- Termelétrico, inclusive cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, (...)

Parágrafo Único. Os empreendimentos termelétricos que utilizam biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual da eficiência energética prevista no inciso II do caput. (ANEEL, 2004).

A Resolução Normativa (RN) nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) foi de suma importância para estabelecer um panorama significativo à implantação de painéis solares no Brasil. A Resolução prevê, em seu Art. 1º, “estabelecer as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica”.

Mais tarde, a Resolução Normativa nº 687/2015 altera a RN nº 482/2012 trazendo para os procedimentos de distribuição outras determinações. Para a microgeração distribuída, o Art.2 da RN ressalta que a central geradora deverá apresentar potência maior ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada; e, para a minigeração distribuída estabelece uma potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada. Ambas devem seguir as regulamentações da Aneel ou fontes renováveis de energia elétrica, “conectadas às redes de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras” (ANEEL, 2022).

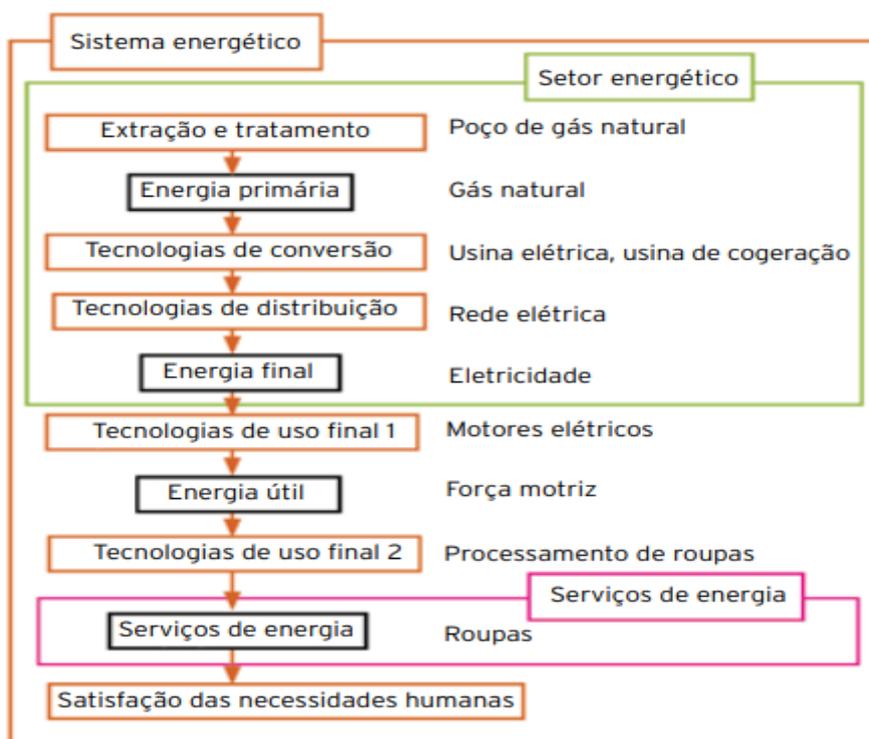
#### **4.6 Demanda energética e eficiência**

A demanda energética cresce a cada ano, sofrendo influência de diversos fatores. Isso reverbera em empecilhos para o avanço da sustentabilidade que exigirá grandes mudanças tanto no modo como a energia é oferecida, quanto no modo como ela é usada. Para isso, vencer as restrições de infraestrutura e de recursos salienta uma saída para ampliar novos sistemas de energia, tornando-as muito mais gerenciável se as perdas de energia forem minimizadas em toda a cadeia de suprimentos, desde a produção até o uso final (BORBA, 2007). A necessidade do uso de tecnologia avançada para a viabilidade econômica dessas fontes também se torna um desafio, sobretudo, se considerarmos que grande parte da população não tem acesso a elas.

O consumo mundial de fontes de energia primária está ligado à eficiência dos processos utilizados para converter a energia primária em energia útil, bem como da

intensidade com que a energia útil é utilizada para a prestação de serviços. Para economizar energia podem-se explorar as oportunidades para melhorar a eficiência de conversão e reduzir a intensidade do uso final em toda a cadeia de fornecimento de energia, levando em conta variáveis como o ciclo de vida e as características do conteúdo de diferentes produtos, além da possibilidade de substituir produtos alternativos ou serviços (BORBA, 2007; **Figura 13**).

**Figura 13** – A cadeia energética.



**Fonte:** UNDP, Undesa e WEC, 2004.

#### 4.7 Potencial para avanços em eficiências energéticas

A eficiência energética (EE) trata-se da utilização consciente de energia, resultado do emprego de inovações tecnológicas e da eficiente administração do comando energético. Como benefícios, a EE pode trazer a redução da expansão da oferta de energia, além da diminuição da emissão de gases do efeito estufa (Schutze, 2021).

Para Schutze e Holz (2021), embora haja no Brasil a preocupação em desenvolver a eficiência energética, o país ainda precisa percorrer um longo caminho para obter níveis favoráveis do uso energético, sobretudo, pelo fato de ele ocupar a 20ª posição no ranking

de países classificados em termos de políticas públicas e empenho para promoção da EE, em 2018, conforme dados divulgados pelo Conselho Americano.

Em um cenário de crescimento econômico sustentado, é de se esperar um grande aumento da demanda global de energia. Nesse panorama, para expandir a oferta de energia é importante ponderar iniciativas mais eficientes de captação da energia. Entre 1970 e 1980, houve uma redução drástica do parâmetro energético do PIB, indicando que o produto nacional aumentou com menor uso relativo de energia (Schutze, 2021). Nessa ótica, o que garantiu sucesso foi à troca de energéticos menos expressivos, como a lenha, por outros mais eficientes, a exemplo do petróleo. Em contrapartida, o que se observou em décadas subsequentes, foi aumento da intensidade energética, o que encontrou respaldo no estágio de desenvolvimento econômico do país, em especial de sua indústria (TOLMASQUIM, 2020).

Ao longo dos anos, acontecimentos históricos, leis e diversos programas impactaram a produção de energia no país. Dentre eles, pode-se citar a Lei nº 10.295/2001, a qual determinava os níveis máximos e mínimos de EE para consumo específico de energia; a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída pela Lei nº 12.187/2009; que tornou oficial a responsabilidade do Brasil junto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima a redução do consumo e dos efeitos sobre o meio, além de mencionar, entre várias medidas, o fomento à EE (SCHUTZE; HOLZ, 2021). Ademais, o Plano Decenal de Expansão de Energia 2016 (PDE) também foi importante por estabelecer perspectivas para a expansão do setor de energia que, à época (2007), eram necessárias ser implementadas no Brasil. O documento informativo já apresentava os principais mecanismos para desenvolver à EE e outras ações.

Nas especificações do PDE para 2029, para o âmbito industrial, considera-se que os ganhos com eficiência energética poderão ser reduzidos cerca de 6% em seu consumo total. Conforme dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2022, p. 223),

em termos de consumo de eletricidade, a estimativa é que os ganhos de eficiência energética contribuam na redução de 4,2% em 2029, ou cerca de 15 TWh, volume pouco acima do consumo observado na indústria de mineração e pelletização em 2018.

## 4.8 Mineração e Energia

A prática da mineração como atividade econômica remonta ao século XVIII, quando os colonizadores descobriram, na região das minas, a presença de metais preciosos (FAUSTO, 2013). Desde então, com os avanços tecnológicos e o aumento populacional, a atividade cresceu e passou a contribuir de modo significativo para o desenvolvimento econômico e social do país. Como apontam dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) (2012), o Brasil é um dos países com maior potencial mineral do mundo, apresentando cerca de 70 substâncias minerais.

Embora seja uma atividade expressiva economicamente, é sabido que ela causa grandes danos ao meio ambiente e à sociedade, exigindo que medidas mitigadoras sejam tomadas para contingenciá-los. Mechi e Sanches (2010) relatam que as desvantagens acarretam problemas para a vegetação, poluição do ar, alteração do relevo, redução da infiltração do solo, dentre outros. Além disso, existe a dificuldade relativa ao consumo excessivo de energia, eixo das discussões propostas por esta pesquisa.

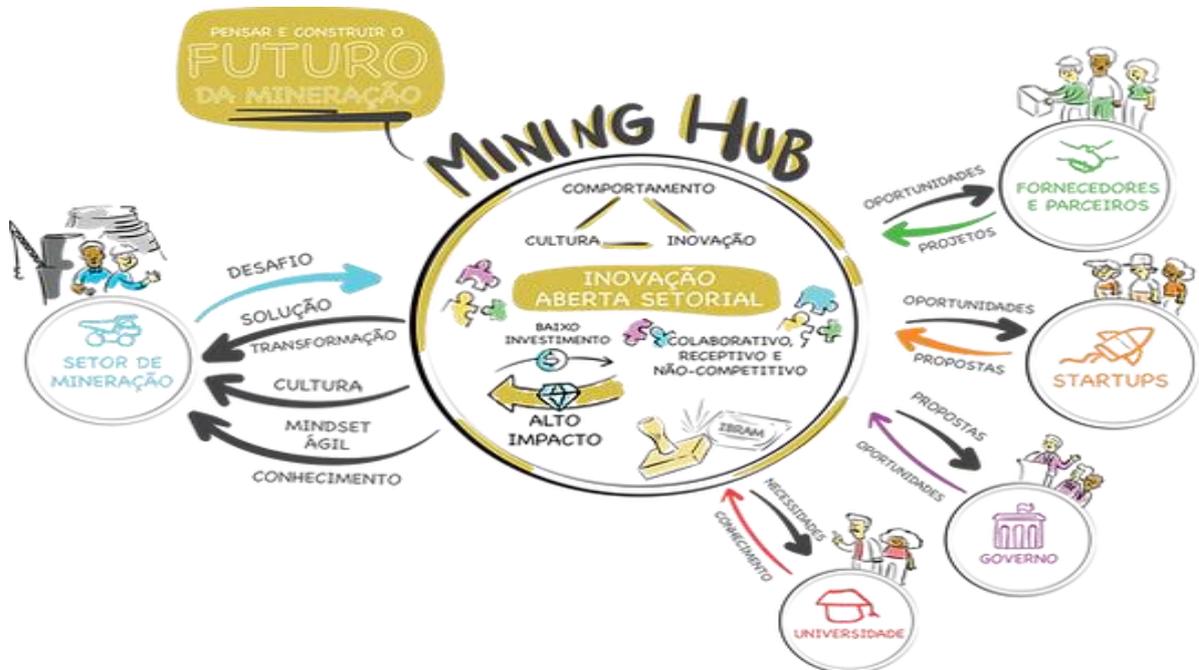
Em se tratando da relação entre mineração e energia, existem muitos desafios que precisam ser superados, principalmente, tendo em vista o fato de essas empresas carecerem de muita energia para manterem-se em funcionamento, o que reverbera, diretamente, no desenvolvimento do país. Para que o resultado dessa relação seja positivo, a indústria de mineração deve encontrar formas de manter e aumentar a eficiência energética (Vale, 2020).

Pensando no desafio da energia e também outras questões, 22 mineradoras com operação no Brasil se reuniram com apoio do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) e a Neo Ventures, o espaço sediado no Nework, em Belo Horizonte para criar o *Mining Hub*, uma iniciativa de inovação aberta voltada para todos os integrantes da cadeia de mineração. O *Mining Hub* tenta estabelecer uma colaboração e conexão entre os membros envolvidos na atividade mineradora, como startups, mineradoras, investidores e governo, a fim de fortalecer a inovação no setor e, ao mesmo tempo, fomentar ações em diversas áreas, como cultura e meio ambiente (Vale, 2020).

Em 2021, cada empresa do Hub apadrinhou um projeto na temática da Eficiência Energética. Por exemplo, a *startup Green Fuel*, apadrinhada pela Anglo Gold, desenvolveu um projeto de uso de hidrogênio para reduzir o consumo de diesel e as

emissões dos motores das máquinas de mineração. Na **Figura 14**, nota-se que todas as iniciativas ocupam o mesmo espaço físico e trabalham juntas para cumprir com as metas de buscar novas formas de produzir energia.

**Figura 14** – *Mining Hub*.



Fonte: IBRAM, 2019.

## 5 Metodologia

Esta pesquisa valeu-se de uma metodologia qualitativa, de cunho bibliográfico, em que, a partir de palavras-chave inseridas no Google Acadêmico e no Portal Scielo, foi possível fazer um levantamento de livros, artigos, periódicos que versavam a respeito da temática escolhida. As palavras inseridas foram: “mineração”, “fontes renováveis e não renováveis”, “meio ambiente”, “energia solar”, “energia eólica”, “eficiência energética”, “legislação”, “normas regulamentadoras”, “demanda energética”, “impactos ambientais”, “mineração e energia” e “energia utilizada na mineração” afim de se conhecer melhor os processos em mineração e os tipos de energias utilizados. Além da referida pesquisa, foram consultadas referências da bibliografia básica do curso de Engenharia Ambiental e as indicações dos orientadores desta pesquisa, como Britto (2012), Farias e Sellitto (2011) e BEN (2022).

Com base na pesquisa bibliográfica e nos tipos de energias mais comumente utilizadas em mineração, realizou-se uma análise comparativa das vantagens e desvantagens da aplicação das fontes de energia no contexto da mineração. O quadro comparativo e a análise e discussão das vantagens e desvantagens das fontes de energia utilizadas na mineração deu-se com base nas leituras feitas, nas discussões realizadas com os orientadores da pesquisa e nas experiências acumuladas ao longo da realização do curso. Por fim, a fonte de energia que se destacou com maior número de vantagens foi melhor descrita.

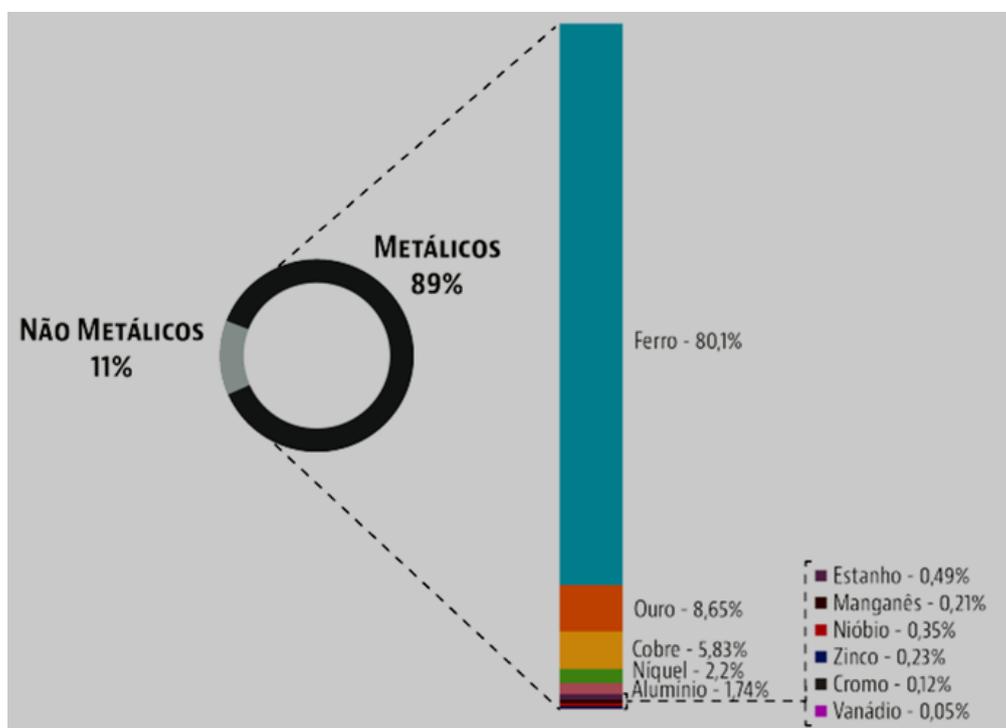
## 6 Resultados e Discussões

### 6.1 Consumo de energia na mineração

A mineração é uma das indústrias que mais consomem energia no mundo e, de acordo com Brasil61 (2022), com base no relatório de consumo de energia publicado pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), no ano de 2021, a metalurgia foi o setor produtivo brasileiro com maior consumo registrado, com 5.670 MWmed; já a mineração de minerais não-metálicos ficou em terceiro lugar, com 2.208 MWmed; e a extração de minerais metálicos, em oitavo, com 1.472 MWmed.

Segundo Brasil (2023), em 2021, as substâncias da classe dos metálicos responderam por cerca 89% do valor total da produção mineral brasileira. Dentre essas substâncias, onze destacam-se por corresponderem a 99,7% do valor da produção da referida classe, quais sejam: alumínio, cobre, cromo, estanho, ferro, manganês, nióbio, níquel, ouro, vanádio e zinco (**Figura 15**).

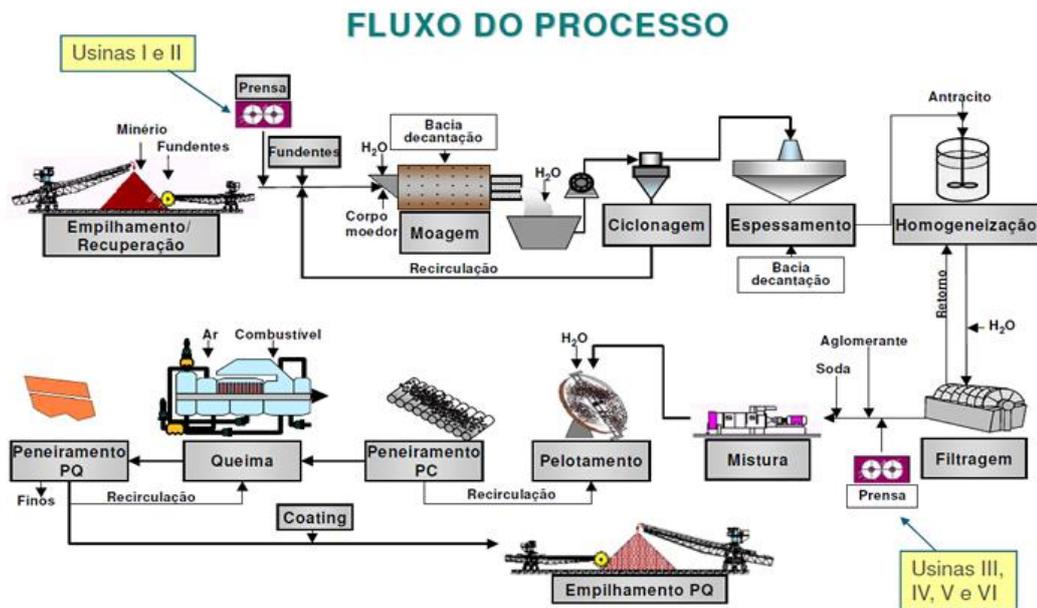
**Figura 15** – Participação das principais substâncias metálicas no valor da produção mineral comercializada (2021).



Fonte: Brasil (2023).

Em 2021, o valor da produção dessas onze substâncias totalizou 312,9 bilhões de reais, com destaque para a expressiva participação do ferro nesse montante, cuja produção é concentrada, principalmente, nos estados do Pará e Minas Gerais (Brasil, 2023). Na **Figura 16** é possível observar alguns elementos do processo simplificado de produção minério.

**Figura 16** – Fases do processo de produção mineral.



Fonte: Vale, 2014.

A mineração possui vários processos que começam com a busca da matéria-prima e vão até a chegada do produto no mercado e sua valorização econômica. A primeira etapa refere-se à prospecção ou pesquisa mineral que começa quando áreas com sinais de ocorrência mineral são mapeadas com o intuito de definir a jazida, sua avaliação e o apontamento da exequibilidade de seu aproveitamento econômico (DUTRA, 2017).

A segunda etapa, a lavra das jazidas, trata-se do aproveitamento industrial das jazidas, de modo a extrair substâncias minerais benéficas para a fase do beneficiamento. Para Dutra (2017), esse processo divide-se em duas fases: desenvolvimento e a lavra.

“No desenvolvimento das jazidas de médio e grande porte, se faz necessário efetuar sua divisão em módulos de menor porte, compatíveis com a geologia e morfologia do corpo

de minério, visando o planejamento racional e sistemático das futuras operações de lavra” (DUTRA, 2017, p. 6).

A terceira fase, denominada de beneficiamento do minério, transforma as jazidas encontradas na fase de prospecção em matéria-prima para atender às necessidades do mercado.

“O desenvolvimento do processo de beneficiamento de um determinado bem mineral demanda inicialmente sua detalhada caracterização tecnológica, seguido da análise dos mecanismos de fratura, processos de separação, além do conhecimento profundo de mecânica dos fluidos e comportamento de superfícies e interfaces” (DUTRA, 2017, p. 13).

No beneficiamento, tem-se muitos procedimentos: britagem e moagem, peneiramento e classificação, concentração, sedimentação, filtragem, centrifugação e secagem; manuseio dos materiais e amostragem (ANM, 2021).

A última fase do processo mineral inclui a recuperação ambiental, uma vez que tal atividade provoca mudanças significativas no meio ambiente, sendo necessária a criação de projetos de restauração das áreas afetadas. Os objetivos da reabilitação são “a proteção da saúde e da segurança da comunidade; minimizar ou eliminar o impacto ambiental; permitir, no local, um uso produtivo similar ao original ou uma alternativa aceitável (DUTRA, 2017, p. 15).

Como pode ser observada na Figura 16, a produção mineral possui grande demanda de energia pelo fato de apresentar diversificadas fases de produção. Sua principal fonte de energia para aquecimento é a eletricidade.

O consumo de energia em cada processo de uma mineração varia de acordo com o tipo de minério. Seu custo energético atualmente é alto e representa cerca de 25 a 30% do total de uma operação (COCHILCO, 2020). Portanto, a energia para a mineração é um fator fundamental para sua operação, dado que, em todo o processo ela é usada de maneira bem expressiva.

Pensando, especificamente nos processos envolvidos na mineração, o processo de lavra (que consiste na retirada do bem material de um depósito mineral subterrâneo ou adjacente à superfície) e o beneficiamento do minério de ferro são os que mais gastam energia elétrica na mineração, sendo que o último apresenta cerca de 88,8% do consumo total. Além disso, as etapas de moagem e de bombeamento da polpa mineral do minério também exigem um alto gasto de energia: a primeira, com 64% de gasto de energia elétrica e, a segunda, com cerca de 21% (BIKBOV et al., 2004).

## 6.2 Análise comparativa das fontes de energia utilizadas na mineração

Dentre as fontes de energia renováveis, as fontes de energia eólica, solar fotovoltaica, hidroelétrica e da biomassa se destacam para serem utilizadas na mineração. Na **Tabela 1** estão apresentadas as vantagens e desvantagens da utilização dessas fontes de energia para produção de energia elétrica para a mineração.

**Tabela 1**– Comparação das vantagens e desvantagens das fontes renováveis.

Fonte de energia	Vantagem	Desvantagem
<b>Energia eólica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não produz emissões atmosféricas de GEE e poluentes;</li> <li>• Retorno financeiro a curto prazo;</li> <li>• Está entre as mais competitivas fontes alternativas no mercado brasileiro;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalação de aerogeradores eólicos provocam modificações nas paisagens;</li> <li>• Emitem ruídos e outros tipos de radiação eletromagnética;</li> <li>• Alto custo dos geradores eólicos;</li> <li>• Prejudica a rota migratória de aves;</li> </ul>
<b>Energia solar fotovoltaica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentam baixo impactos socioambientais;</li> <li>• Incremento na economia local;</li> <li>• Alta flexibilidade locacional da instalação;</li> <li>• Baixa interferência na fauna e flora;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo de instalação;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonte de energia abundante em diversas áreas</li> <li>• Retorno financeiro a curto prazo</li> </ul>	
<b>Energia hidráulica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produz mais energia por unidade de área necessária;</li> <li>• Baixa emissão de gases de efeito estufa;</li> <li>• Viabiliza o uso de outras fontes renováveis, como a eólica e solar;</li> <li>• Baixo custo operacional;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• É necessário que a mineração esteja situada em uma região que tenha rios com desnível e vazão suficiente para gerar energia;</li> <li>• Se necessária acumulação da água em represa, causa ainda maiores danos ambientais;</li> <li>• Provoca danos ambientais, impactando a biodiversidade;</li> <li>• Comprometimento da qualidade das águas;</li> <li>• Dependente da sazonalidade anual da precipitação e das condições climáticas;</li> </ul>
<b>Biomassa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonte de energia pouco poluente;</li> <li>• Recursos são renováveis em curto prazo;</li> <li>• Possui baixo custo para o reaproveitamento;</li> <li>• Apresenta menor risco ambiental;</li> <li>• Possui alta capacidade de reaproveitamento dos resíduos orgânicos;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode impactar os recursos hídricos;</li> <li>• Aumento do desmatamento para destinação de áreas para agricultura;</li> <li>• Apresenta eficiência reduzida em relação a outras fontes de energia;</li> <li>• Se torna mais interessante se a mineração estiver em uma região com grande disponibilidade de biomassa (coma produção de cana-de-açúcar)</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dependente de variações nas condições climáticas e fitopatológicas que podem alterar o crescimento das plantas;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>
<b>Energia solar térmica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil instalação;</li> <li>• Redução de custo;</li> <li>• Independente de variações climáticas;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menos eficiente do que a energia solar fotovoltaica</li> </ul>

Fonte: Autoria própria, 2023

Dentre as fontes de energia não renováveis, a os combustíveis fósseis e a energia nuclear se destacam para serem utilizadas na mineração. Na **Tabela 2** estão apresentadas as vantagens e desvantagens da utilização dessas fontes de energia para produção de energia elétrica para a mineração.

**Tabela 2**– Comparação das vantagens e desvantagens das fontes não renováveis.

<b>Fonte de energia</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Combustíveis fósseis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possuem alta eficiência energética: sua queima libera grandes quantidades de energia;</li> <li>• É fácil obter combustíveis;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A queima desses combustíveis libera gases poluentes na atmosfera;</li> <li>• Os GEEs liberados na queima são causadores de mudanças climáticas;</li> <li>• É necessário a compra constante de combustíveis para utilização nas máquinas e equipamentos da mineração;</li> </ul>

<b>Energia nuclear</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não libera gases de efeito estufa;</li> <li>• Não depende de fatores climáticos para viabilizar seu uso;</li> <li>• Utilização de menores recursos naturais;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• É uma energia cara em relação às outras fontes energéticas;</li> <li>• Seu uso apresenta alto potencial de risco de acidentes nucleares;</li> <li>• Maiores custos de construção e operação;</li> </ul>
------------------------	--	--

Fonte: Autoria própria, 2023

Ao comparar a relação entre as formas de energia que podem ser empregadas para geração de energia elétrica para mineração, apresenta os menores impactos ambientais entre todas as fontes energéticas disponíveis ao homem, sem emissão de poluentes na sua geração elétrica ou efeitos negativos significantes ao meio ambiente na construção de grandes usinas, sendo estes ainda nulos em pequenos e médios projetos de geração distribuída (Solar B. S., 2021) , quando comparado com as demais fontes de energias analisadas.

Logo, a fonte solar fotovoltaica chama atenção não só por possuir as vantagens citadas, mas, sobretudo, o seu funcionamento é silencioso e discreto, evitando a produção de ruídos desagradáveis. Esse tipo de sistema de geração de energia também não requer um cuidado de manutenção exaustivo, apenas uma limpeza ocasional. Além disso, sua matéria-prima – a luminosidade do sol – é inesgotável e gratuita (Solar P. , 2021).

A economia proporcionada pode chegar até 95% do total da conta de luz, tornando esse um investimento muito inteligente, que contribui também para a valorização do imóvel (Solar P. , 2021).

Um dos principais tipos de fontes de energia elétricas utilizadas pela mineração é a eletricidade. Em grandes empresas, a exemplo da Vale, o percentual total de energia elétrica usada chega a 2% do total produzido no país. (EPE) (2022, p. 223). Por isso, a necessidade de buscar fontes alternativas, que promovam a eficiência energética nessas empresas, é imperativa.

Os depósitos minerais são fontes de recursos não renováveis que, devido aos altos teores dos minérios, ao crescimento da produção e da profundidade dos depósitos, ficam cada vez mais dependentes da utilização de fontes energias de maior aproveitamento

(JONUSAN, 2017). Segundo dados do EPE (2021), no ano de 2019, a área da mineração consumiu 28.109,71GWh de energia total do país, sendo que a energia elétrica foi responsável por 47% desse consumo.

O Brasil, em um estudo divulgado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, 2016), esteve, em 2015, entre os 10 maiores países investidores em energias sustentáveis no mundo. Todavia, hoje, um dos maiores obstáculos que precisam ser vencidos nele, é a ausência de políticas públicas que, a longo prazo, permitam a empresas de quaisquer ramos a terem eficiência energética, produzindo sua própria fonte de energia. Para Stefanelo, Marangoni e Zeferino (2018, p. 2);

O Brasil tem inúmeros recursos ambientais que possibilitam a diversificação e a consolidação de um setor energético estratégico, mas as demandas de um país em desenvolvimento são maiores que os recursos financeiros. Políticas públicas, relacionadas à microgeração e minigeração direcionadas mais especificamente à geração de energia solar fotovoltaica, que garantam valores de piso para a energia injetada na rede, tempo de compra pelo Estado da energia gerada, e formas de diminuição dos custos gerais dos módulos fotovoltaicos são mecanismo para impulsionar a diversificação e o aumento da matriz energética de forma independente aos recursos públicos. Redirecionando os mesmos para o investimento em áreas que ampliem os conhecimentos e propiciem o desenvolvimento de novas tecnologias e mercados.

Seguindo essa linha de raciocínio, a energia solar fotovoltaica constitui um caminho importante para diminuir as perdas socioambientais associadas à atividade minerária e também gastos do Estado. Para isso, é preciso, além da elaboração políticas governamentais, que haja um mapeamento do consumo energético e a verificação das medidas de conservação de energia.

É fato que o investimento na energia solar traz muitos benefícios. O incentivo por meio das políticas públicas à utilização dessa fonte renovável fomenta o aperfeiçoamento do atendimento às demandas de energia tanto para empresas mineradoras, quanto para as atividades essenciais do país.

“A diversificação da matriz energética deve vir atrelada às premissas básicas de diminuição de impacto ambiental,

maior alcance social e eficiência energética. Essencial ao desenvolvimento, a energia elétrica quando decorrente de fontes não renováveis, suscita sérios problemas ambientais colocando em risco a sustentabilidade do planeta” (STEFANELO; MARANGONI; ZEFERINO, 2018, p. 3).

Portanto, diante das características geográficas do Brasil, como a irradiação solar distribuída em quantidade considerável por todo o território; a energia solar fotovoltaica tem condições de gerar redução de custos ao seu sistema energético, incluindo o consumo demandado pelas mineradoras.

### **6.3 Autogeração de energia elétrica na mineração**

A Anglo American e a Anglo Gold Ashanti são exemplos de empresas que estão investindo no desenvolvimento de novas tecnologias de energia elétrica renovável para atingir a meta de carbono zero (Estadão, 2022).

O fato de o consumo energético de uma empresa mineradora ser muito elevado, tem se constituído num grande desafio para o desenvolvimento do setor. Para superar este desafio, as empresas de mineração buscam encontrar meios de manter a produtividade, enquanto incrementa a eficiência energética (solutions, 2020).

Atualmente, as mineradoras têm substituído a energia que utilizam por fontes renováveis, com o objetivo de contribuir com a descarbonização dos seus processos e para ajudar o Brasil a cumprir as metas estabelecidas no Acordo de Paris. No sentido de obter as tecnologias limpas, as mineradoras têm adotado dois caminhos: a assinatura de contratos de fornecimento de energia de longo prazo e investimento para se tornarem autoprodutoras. Todas elas possuem metas de descarbonização e encontraram na energia renovável uma forte aliada para atingi-las (Brasil61, 2022).

As boas práticas na busca de soluções para a eficiência energética que estão sendo adotadas nas cadeias produtivas da mineração vêm alcançando novos patamares a cada dia (solutions, 2020). As grandes companhias mineradoras procuram gerar sua própria energia.

Se a demanda de energia na atividade mineradora é tão alta, a estratégia mais inteligente é investir em fontes renováveis, que nunca se esgotam (Brasil61, 2022). A

brasileira Vale colocou meta de utilização de 100% de fontes limpas e renováveis até 2030, e já tem contrato para a compra de toda a produção do parque eólico Folha Larga Sul, na Bahia (Estadão, 2022).

Outras empresas gigantes do setor minerário também investem na substituição das fontes não-renováveis pelas renováveis. A mineradora Anglo American no Brasil contratou 235 MW médios de energia eólica e solar entre dezembro de 2019 e julho de 2020. Esse investimento marcou o início da estratégia da empresa de aquisição de energia elétrica renovável rumo a uma operação cada vez mais sustentável. “A Anglo American no Brasil já concluiu a negociação de contratos de longo prazo para fornecimento de energia elétrica 100% renovável (eólica, solar, hidrelétrica), tornou-se autoprodutora de energia em parceria com a Casa dos Ventos e está investindo fortemente em tecnologias do hidrogênio” (Estadão, 2022).

A Anglo Gold Ashanti Brasil, por sua vez, deu mais um passo importante em prol da sustentabilidade. A empresa multinacional de produção de ouro alcançou a marca de uso de 100% de energia elétrica renovável em suas operações no País no ano de 2021. O reconhecimento aconteceu por meio da obtenção do Certificado de Energia Renovável (Cemig-REC), concedido pela companhia de energia (Estadão, 2022).

## **7 Considerações Finais**

Ao longo desta pesquisa, foi possível perceber que a preocupação com a preservação do meio ambiente tem trazido discussões importantes acerca da necessidade de utilizarmos os seus recursos de modo consciente. Embora as hidrelétricas possuam uma fonte de energia limpa, vários estudos comprovam que elas trazem impactos indiretos ao meio, a exemplo do agravamento do efeito estufa; o que requer o emprego de fontes alternativas de energia.

Outro aspecto importante, diz respeito ao consumo de energia de empresas mineradoras. Como analisado, elas têm um consumo alto de energia para o processo de extração do minério, e isso reclama a tomada de decisões que incluam, no cotidiano das empresas, as fontes renováveis de energia. Uma alternativa favorável trata-se do emprego da energia solar fotovoltaica, a qual apresenta baixo custo-benefício e agride menos a natureza.

Foi visto que existem diversas fontes renováveis disponíveis e, cada uma delas, traz desafios que precisam ser superados. Mesmo que o país apresente uma posição geográfica facilitadora, que o permite ter irradiação solar no decorrer de todo o território, a carência de políticas públicas tende a tornar o emprego da energia solar fotovoltaica dificultado, sobretudo, para empresas mineradoras, o que responde ao problema de pesquisa levantado. Logo a energia solar fotovoltaica se torne uma realidade para autogeração de energia na mineração e, também, no país como um todo, sendo direcionados investimentos em tecnologia, em qualificação profissional que corroborem a substituição das fontes não renováveis de energia pelas fontes renováveis.

## 8 Referências Bibliográficas

- Ackermann, T.; Andersson, G. Distributed Generation: a definition. [S.I]: [s.n.], 2001.
- Aguilar, R.S; Oliveira, L.C.S; Arcanjo, G.L.F. Energia Renovável: Os Ganhos E Os Impactos Sociais, Ambientais E Econômicos Nas Indústrias Brasileiras. In: **XXXII Encontro Nacional De Engenharia De Produção**. Bento Gonçalves. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2012.
- Almeida, C. Desafios da energia nuclear no Brasil. *Agência Brasil Energia*, pp. 1 - 2, 2019.
- Almeida, J. A. J. **P&D no setor elétrico brasileiro**: um estudo de caso na companhia hidroelétrica do São Francisco. 2008. Dissertação (Mestre em Economia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.
- ANM. (2021). Acesso em 16 de Dezembro de 2022, disponível em Anuário Mineral brasileiro.
- Bezerra, A. M., Queiroz, J. L., & Coutinho, D. A. (2018). O impacto ambiental dos combustíveis fósseis e dos biocombustíveis: as concepções de estudantes do ensino médio sobre o tema. *Revista Brasileira de Educação Ambiental*, 13(3), 299 - 315.
- Brasil 61 (2022). <https://brasil61.com/n/mineradoras-cada-vez-mais-atentas-a-transicao-energetica-mine220308>. Acesso em 21 de Março de 2023, disponível em Mineradoras cada vez mais atentas à transição energética: <https://brasil61.com>
- Bueno, A. F., & Cunha, R. K. (2012). *Companhia Energética de Minas Gerais* (Vol. II). Belo Horizonte.
- Engie. (2020). <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/matriz-energetica-brasileira>. Acesso em 18 de Março de 2023, disponível em Matriz energética brasileira: fique por dentro de sua evolução ao longo dos anos: [www.engie.com.br](http://www.engie.com.br)
- ESBRASIL. (19 de Agosto de 2022). <https://esbrasil.com.br/fontes-renovaveis-na-matriz-energetica-devem-aumentar-em-2022>. Acesso em 20 de Março de 2023, disponível em Fontes renováveis na matriz energética devem aumentar em 2022.
- Estadão. (2022). <https://www.estadao.com.br/sustentabilidade/setor-de-mineracao-investe-em-energia-renovavel-para-atingir-a-meta-de-carbono-zero/>. Acesso em

21 de Março de 2023, disponível em Setor de mineração investe em energia renovável para atingir a meta de carbono zero: [www.estadao.com.br](http://www.estadao.com.br)

Gazoli, R. J. (2011). Microinversor monofásico para sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica. *Microinversor monofásico para sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica*. Campinas, Brasil.

<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. (2021). Acesso em 28 de Outubro de 2022, disponível em Balanço Energético Nacional Interativo.

Lima. (12 de Maio de 2022). Análise de Sistema Ambiental. *Energia Solar Fotovoltaica*, pp. 1 - 12.

Machado, A. C., & Nivalde, A. A. (2021). Acesso em 18 de Outubro de 2022, disponível em Autoprodutores de energia elétrica: tendências e perspectivas.

Mauad, F. F. (2017). *Análise das principais fontes* (1º ed., Vol. 1). (EESC.USP, Ed.) São Carlos: São Carlos.

Melo, I. E. (15 de Novembro de 2008). AS CRISES DO PETRÓLEO E SEUS IMPACTOS SOBRE A INFLAÇÃO DO BRASIL. *AS CRISES DO PETRÓLEO E SEUS IMPACTOS SOBRE A INFLAÇÃO DO BRASIL*, pp. 10 - 17.

Moreira, N. J. (17 de Abril de 2012). <https://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20482,%20de%202012%20-%20bip-junho-2012.pdf>. Acesso em 2023, disponível em AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL.

Raphael Santos do Nascimento, P. G. (Outubro de 2016). Fontes Alternativas e Renováveis de Energia no Brasil: Métodos e Benefícios Ambientais. *Educação e Ciências para a cidadania global*, 11(1), 6.

Schutze, R. A. (2021). Acesso em 15 de Outubro de 2022, disponível em Eficiência Energética no Brasil.

Solar, B. S. (2021). <https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-impactos-ambientais/#:~:text=A%20etapa%20operacional%20da%20tecnologia,poluentes%20causadores%20do%20efeito%20estufa>. Acesso em 21 de Março de 2023,

disponível em Energia Solar e os Impactos Ambientais no Uso da Tecnologia Fotovoltaica: <https://blog.bluesol.com.br/author/admin/>

Solar, P. (2021). <https://www.portalsolar.com.br/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar.html>. Acesso em 21 de Março de 2023, disponível em Vantagens e desvantagens da energia solar: benefícios e mais: <https://www.portalsolar.com.br>

Solutions, D. (2020). [https://www.dcml.com.br/mineracao-e-energia-como-anda-essa-relacao-  
hoje/#:~:text=De%20fato%2C%20o%20consumo%20energ%C3%A9tico,do%20estado%20do%20Esp%C3%ADrito%20Santo](https://www.dcml.com.br/mineracao-e-energia-como-anda-essa-relacao-<br/>hoje/#:~:text=De%20fato%2C%20o%20consumo%20energ%C3%A9tico,do%20estado%20do%20Esp%C3%ADrito%20Santo). Acesso em 21 de Março de 2023, disponível em Mineração e energia: como anda essa relação hoje?: <https://www.dcml.com.br/>

Tolmasquim, M. T. (Julho de 2008). Prospectiva da Matriz : Energizando o desenvolvimento sustentável do país. *Revista Brasileira de Energia*, 13(1), 1 - 19.

Vale, S. D. (2020). Acesso em 30 de Agosto de 2022, disponível em Mineração e energia.

Villalva, M. G. (2015). Energia Solar Fotovoltaica – conceitos e aplicações. *Energia solar Fotovoltaica*(2).