

## Diagnóstico e propostas de melhoria da eficiência energética da central Txicumina I em Saurimo

### *Diagnosis and proposals for improvement in the energy efficiency of the Txicumina I power plant in Saurimo*

Filomena Ginga Sozinha <sup>1\*</sup>, Franklyn González Segura <sup>2</sup>, José Eduardo Márquez Delgado <sup>3</sup>, Yamilé Mesa Barrera<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Eng. Academia CATOCA. [filomenagingasozinho@catoca.com](mailto:filomenagingasozinho@catoca.com). ORCID: 0009-0003-4411-3664

<sup>2</sup> MsC. Prof. Auxiliar. Universidade de Holguín. Cuba. [franklyngonzalezsegura1969@gmail.com](mailto:franklyngonzalezsegura1969@gmail.com). ORCID: 0000-0002-7394-7647

<sup>3</sup> PhD. Prof. Titular. Universidade de Granma. Cuba. [jemarquezd69@gmail.com](mailto:jemarquezd69@gmail.com) ORCID: 0009-0003-4411-3664

<sup>4</sup> PhD. Prof. Titular. Universidade de Oriente. Cuba. [mesayamile63@gmail.com](mailto:mesayamile63@gmail.com) ORCID: 0000-0001-6485-4222

\* Autor para correspondência: [jemarquezd69@gmail.com](mailto:jemarquezd69@gmail.com)

## RESUMO

Este artigo apresenta um diagnóstico da eficiência energética da central Txicumina I, localizada na cidade de Saurimo, Angola. O objetivo deste estudo é avaliar a eficiência energética da central, considerando a relação entre a produção e o consumo de combustível, a fim de contribuir para a otimização do funcionamento desta instalação uma vez que se restabeleçam os seus serviços de produção de eletricidade. Através de uma análise detalhada da relação produção-consumo de combustível, foram identificadas ineficiências significativas na operação da planta, principalmente derivadas de equipamentos obsoletos, manutenção insuficiente e falta de supervisão adequada. O diagnóstico incluiu a revisão de dados operacionais históricos e entrevistas com ex-trabalhadores da fábrica, permitindo identificar áreas críticas que afetam o desempenho energético. Os resultados obtidos neste estudo contribuem para a discussão sobre a necessidade de otimizar a eficiência energética nas centrais termoeletricas, focando-se especificamente na central Txicumina I, na cidade de Saurimo.

**Palabras clave:** eficiência energética, usina de Txicumina I, consumo de combustível, sustentabilidade, Saurimo.

## ABSTRACT

*This article presents a diagnosis of the energy efficiency of the Txicumina I power plant, located in the city of Saurimo, Angola. The objective of this study is to evaluate the energy efficiency of the plant, considering the relationship between fuel production and consumption, in order to contribute to the optimization of the operation of this facility once its electricity production services are restored. Through a detailed analysis of the production-consumption relationship of fuel, significant inefficiencies in the operation of the plant were identified, mainly arising from outdated equipment, insufficient maintenance, and lack of proper supervision. The diagnosis included a review of historical operational data and interviews with former workers of the plant, allowing for the identification of critical areas that affect energy performance. The results obtained in this study contribute to the discussion on the need to optimize energy efficiency in thermal power plants, focusing specifically on the Txicumina I power plant in the city of Saurimo.*

**Keywords:** energy efficiency, Txicumina I plant, fuel consumption, sustainability, Saurimo.

## INTRODUÇÃO

A eficiência energética é crucial para o desenvolvimento sustentável dos sistemas elétricos, especialmente em regiões em crescimento como Saurimo, onde a demanda de energia aumentou. A planta Txicumina I, que depende do gásóleo, enfrenta desafios relacionados à otimização do consumo de combustível e à redução de custos operacionais devido ao envelhecimento dos equipamentos e à falta de manutenção.

Este artigo apresenta um diagnóstico detalhado da eficiência energética da planta, analisando dados operacionais e propondo medidas para otimizar seu desempenho, reduzir o consumo de combustível e mitigar emissões. A planta, inaugurada em 2012, atualmente está fora de operação, com uma capacidade instalada de 12,5 MW e cinco grupos geradores de 2,5 MW cada. O aumento da demanda em Saurimo e as falhas nos geradores impactaram sua eficiência energética.

A investigação busca entender como melhorar a eficiência energética da planta quando seus serviços forem restabelecidos, avaliando a relação entre produção e consumo de combustível para contribuir com a sustentabilidade energética da região.

Ao longo da história, os seres humanos tiveram uma postura puramente extractivista em relação aos recursos naturais. Considerando que quanto maior o nível de actividade económica, maior o uso da energia e maiores os impactos ambientais deste uso, a eficiência energética pode proporcionar segurança e benefícios não só económicos, mas também ambientais com a mitigação da emissão de CO<sub>2</sub> e diminuição da importação de energia.

Comenta Aguilar (2015), que esses benefícios se complementam, o que implica a redução da energia necessária por unidade de produto económico, aumentando a eficiência da economia e garantindo que a mesma produção possa ser obtida com menos energia e, portanto, com menor uso de recursos naturais e menores danos ambientais.

Segundo De Sá (2017) a eficiência no uso da energia entrou na agenda mundial a partir dos choques no preço do petróleo dos anos 1970, quando ficou claro que o uso das reservas de recursos fósseis teria custos crescentes, seja do ponto de vista económico, seja do ponto de vista ambiental. Logo se reconheceu que um mesmo serviço poderia ser obtido com menor gasto de energia e, consequentemente com menores impactos económicos, ambientais, sociais e culturais.

Os equipamentos e os hábitos de consumo começaram a ser avaliados sob o prisma da conservação de energia, comprovando-se que muitas ações que promovem maior eficiência energética são financeiramente viáveis, ou seja, o investimento necessário para implementá-las é inferior ao custo de produzir ou adquirir a energia que seria consumida. Conforme argumenta De Sá (2017), recentemente a busca pela eficiência energética ganhou um novo impulso. Além do aumento dos custos da energia proveniente de fontes fósseis, a preocupação com as mudanças climáticas causadas pelo aquecimento global, amplamente atribuído à geração e ao consumo de energia, trouxe justificativas adicionais e decisivas para priorizar a eficiência energética ao se considerar a oferta e o uso de energia no futuro.

### Eficiência energética

Segundo Viana (2017) poucas palavras suportam tantos sentidos e definições como energia. No século IV a.C., Aristóteles, em sua obra *Metafísica*, descreveu a energia ("energeia") como uma manifestação da realidade em ação. Na ação moderna, energia corresponde ao conceito desenvolvido juntamente com a termodinâmica a partir de meados do século XIX e utilizado para descrever uma ampla variedade de fenómenos físicos. Uma definição usual, encontrada em muitos livros, afirma que (energia é a medida da capacidade de efetuar trabalho). A rigor, esta definição não é totalmente correta e aplica-se apenas a alguns tipos de energia, como a mecânica e a elétrica, que, em princípio são totalmente conversíveis em outras formas de energia.

Do ponto de vista de Viana (2017), que refere também que a palavra eficiência tem origem no termo latim (*efficientia*) e refere-se à capacidade de dispor de alguém ou de algo para conseguir um efeito determinado. O conceito também costuma ser equiparado com o de ação, força ou produção. Com outras palavras, a eficiência é o uso racional dos meios dos quais se dispõe para alcançar um objetivo previamente determinado. Trata-se da capacidade de alcançar os objetivos e as metas programadas com o mínimo de recursos disponíveis e tempo, conseguindo desta forma a sua otimização.

Finalmente Viana (2017), considera que a eficiência energética é um conceito que determina o nível da economia dos recursos das fontes de energia nos aparelhos. Nesse sentido declara que para determinar a eficiência energética de determinado aparelho, por exemplo, deve-se traçar a quantidade de energia que é utilizada para a execução de uma ativada e aquela que é disponibilizada para tal.

Segundo este autor o objetivo da eficiência energética é evitar os desperdícios de energia, valorizando os aparelhos e dispositivos que saibam administrar corretamente a fonte de energia que recebem. Por outra parte Brito (2018), expressa que quando se pensa em eficiência energética, pensa-se numa perspectiva de obter, para um mesmo nível de conforto, um consumo inferior de energia, isto aliado igualmente a uma utilização mais racional desta, assim sendo a eficiência energética é a otimização que realizamos no consumo de energia.

O autor esclarece que toda forma de energia passa por um processo de conversão, resultando em calor, frio, luz, entre outros. Durante essa conversão, parte da energia é perdida, e a porção que chega ao consumidor nem sempre é utilizada de forma eficiente. Brito (2018) afirma que a eficiência energética envolve a implementação de medidas para reduzir o desperdício de energia ao longo de todo o processo de transformação, produção, distribuição e uso final. Este processo pode ser dividido em duas fases principais: Transformação e Utilização.

Brito (2018) também destaca que o desperdício de energia não ocorre apenas na fase de transformação, mas também durante o consumo. Nessa etapa, a eficiência energética está associada ao conceito de Utilização Racional da Energia (URE), que envolve a adoção de medidas para o melhor aproveitamento da energia, seja no setor doméstico, de serviços ou industrial. Com a escolha correta, a aquisição e o uso eficiente dos equipamentos, é possível economizar energia de forma significativa, mantendo o conforto, aumentando a produtividade das atividades dependentes de energia, e gerando benefícios econômicos e ambientais.

Uma ideia que se repete nos conceitos aportados pelos diferentes autores é que a eficiência energética consiste em obter o melhor desempenho na produção de um serviço com o menor gasto de energia, mas ainda se carece de enfatizar que a eficiência esta indissolivelmente ligada à poupança de portadores energéticos, ou seja, o aforro das fontes primária para a obtenção dessa energia.

### **O potencial económico da eficiência energética**

Na perspetiva de Sánchez (2015), o desenvolvimento económico predominante nas últimas décadas tem-se caracterizado pela utilização intensiva de energia proveniente de recursos fósseis. A natureza finita desses recursos naturais, juntamente com o impacto ambiental da sua produção e consumo, alertou o mundo para a necessidade de rever as premissas que sustentam o modelo de desenvolvimento económico.

Paralelamente a esta realidade, emergiram evidências da globalização que demonstram a interdependência de fatores frequentemente considerados independentes, como o acesso e a utilização de energia, o desenvolvimento económico, o combate à pobreza e as preocupações ambientais e climáticas, entre outros.

Conforme apontado por Sánchez (2015), é imprescindível buscar novas soluções que possibilitem a preservação dos padrões de vida das sociedades desenvolvidas, ao mesmo tempo que se atendem às legítimas expectativas dos países em desenvolvimento, sem comprometer o bem-estar das gerações futuras. O desafio é colossal, e a solução a longo prazo ainda não é clara. No entanto, no curto e médio prazo, a ação deve concentrar-se na busca por um uso sustentável da energia, com especial ênfase no desenvolvimento e na implementação de políticas de eficiência energética que reduzam significativamente os custos económicos.

Por outro lado, Cabral (2017) esclarece que promover a eficiência energética em todos os setores da atividade não se resume apenas a obter ganhos de eficiência no dia-a-dia. Implica também integrar a transição energética global, um movimento em curso que, quando concretizado, transformará a forma como a energia é produzida e utilizada.

O desenvolvimento económico de qualquer país requer que se esteja na vanguarda desta nova abordagem para interpretar os desafios energéticos que os países e os seus setores produtivos enfrentam. O desafio que se apresenta aos governos, instituições e empresas vai além da mera identificação da

necessidade de alterar o paradigma energético. É crucial definir como essa transformação pode e deve ser implementada, assegurando o avanço social, a sustentabilidade ambiental e o sucesso económico.

Como mencionado por Cabral (2017), a forma como a energia disponível é utilizada é um aspeto fundamental nesse processo. Portanto, é essencial que as empresas aumentem a eficiência energética das suas operações para alcançar os objetivos do novo modelo de desenvolvimento, o que se reflete na redução da intensidade energética global e no aumento dos resultados económicos. A eficiência energética apresenta-se como uma valiosa oportunidade para as empresas reafirmarem o seu papel como parte da solução, criando valor real para o negócio e, simultaneamente, para a sociedade e o ambiente. Patterson (1996) analisa que a compreensão económica da eficiência energética está associada a um menor uso de energia por cada unidade de produção.

## DESENVOLVIMENTO

O estudo da eficiência energética da usina Txicumina I, na cidade de Saurimo, foi realizado com abordagem analítica e descritiva, com base na coleta de dados históricos, análise gráfica e entrevistas com ex-trabalhadores da usina. Os métodos e procedimentos aplicados neste estudo são detalhados abaixo.

Os **métodos teóricos** aplicados foram: **histórico e lógico**: Para determinar os antecedentes e evolução histórica da geração de energia elétrica. No **análise e sínteses**: Para analisar os principais fundamentos teóricos que suportam a eficiência energética na central elétrica Txicumina I da cidade de Saurimo. A **indução e dedução**: Para diagnosticar o estado da eficiência energética, da central elétrica Txicumina I da cidade de Saurimo durante o período de funcionamento anterior. O **enfoque de sistema**: Para estruturar hierarquicamente os procedimentos na execução da análise teórica prática da eficiência energética da central elétrica, focada na identificação dos níveis de carga ótimos que possibilitem reduzir o consumo de combustível.

Como **métodos empíricos** aplicados no estudo incluem: Na **observação**: Para conhecer e ter informações de como se controla a eficiência energética na central elétrica Txicumina I. O **questionário**: Para conhecer os critérios dos diretivos e funcionários da central elétrica Txicumina I. Nas **análises do documento**: Para analisar a documentação existente sobre a produção de eletricidade e o consumo de combustível na central elétrica Txicumina I.

**Métodos estatísticos matemáticos. Estatística descritiva**: Para o processamento inicial e final dos dados obtidos durante a execução da análise teórica prática da eficiência energética da central elétrica Txicumina I. Foi tido em conta como **métodos tecnológicos** o **método de medição direta das magnitudes e grandezas necessárias**: Para executar a análise teórica prática da eficiência energética da central elétrica Txicumina I.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização da central elétrica de Txicumina I

A caracterização da central elétrica Txicumina I é fundamental para entender seu papel no sistema energético da cidade de Saurimo. A coleta de informações técnicas e operacionais a partir de documentos oficiais e registros permite uma visão abrangente da infraestrutura e suas operações, destacando a importância da usina no contexto regional.

**Dados técnicos**: A central, inaugurada em 24 de maio de 2012, possui cinco grupos geradores com uma capacidade total de 12,5 MW. Essa capacidade instalada é crucial para atender à demanda energética da região, refletindo a capacidade da planta em contribuir para o desenvolvimento económico local e o bem-estar da população.

**Missão e objetivos**: A missão da central é garantir um fornecimento confiável e contínuo de energia elétrica, o que é essencial para o crescimento económico e a qualidade de vida da comunidade. O foco em maximizar a eficiência na produção de eletricidade, especialmente através do uso adequado de combustíveis fósseis como o diesel, revela uma abordagem pragmática para atender às necessidades energéticas, embora também levante questões sobre a sustentabilidade a longo prazo.

**Sustentabilidade e melhoria contínua**: O compromisso da central em adotar melhorias tecnológicas e operacionais para aumentar a sustentabilidade e a segurança energética é um aspeto positivo. Isso sugere

uma consciência das implicações ambientais e um esforço para mitigar o impacto da operação da usina, alinhando-se com as tendências globais de transição energética.

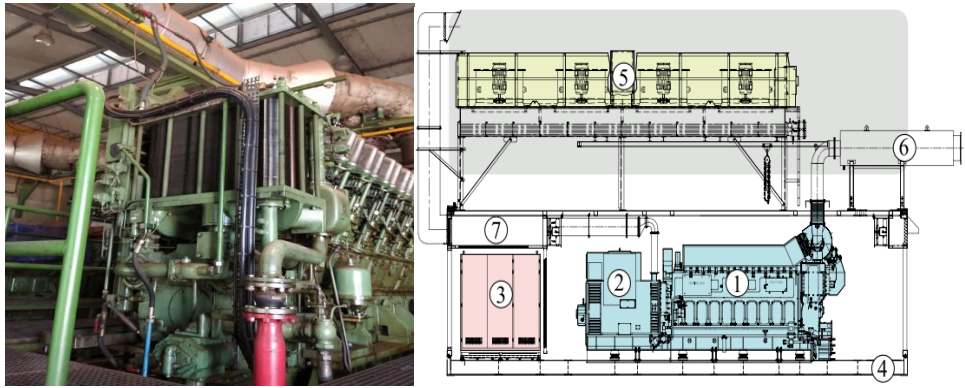
**Desafios e considerações:** Embora a central busque minimizar os custos operacionais e o impacto ambiental, o uso de combustíveis fósseis como o diesel pode ser um ponto de preocupação, especialmente em um contexto onde há uma crescente pressão para a adoção de fontes de energia renováveis. A eficiência energética e a redução de emissões devem ser prioridades contínuas para garantir a viabilidade da usina no futuro.

A caracterização da central elétrica Txicumina I fornece uma base sólida para entender sua operação e impacto na região. A combinação de eficiência operacional, compromisso com a sustentabilidade e a capacidade de atender à demanda local são fatores que definem seu papel estratégico no sistema elétrico regional. No entanto, é essencial que a central continue a evoluir e se adaptar às mudanças nas políticas energéticas e nas expectativas da sociedade em relação à sustentabilidade ambiental.

A base da geração se faz a partir de grupos eletrogéneos de marca ABC, de tecnologia diesel. A seguir se apresenta uma imagem deste tipo de grupo gerador também conhecido como grupos eletrogéneos e que baseia o seu funcionamento na sincronização direta no eixo de um motor de combustão interna com um gerador elétrico, todos estes elementos fiscalizados por um sofisticado e computadorizado sistema de controlo. Ver figura 1.

**Figura 1.**

*Grupo gerador ABC, central eléctrica Txicumina I.*



Fonte: IEEE (2020).

Os componentes sinalados acima pertencem aos seguintes elementos:

- |                       |                                   |
|-----------------------|-----------------------------------|
| ① Motor diesel;       | ⑤ Radiador;                       |
| ② Gerador eléctrico;  | ⑥ Silenciador de gases de escape; |
| ③ Painel de controlo; | ⑦ Ventilador de exaustão de ar.   |
| ④ Recinto;            |                                   |

As especificações técnicas fornecidas pelo fabricante colocam-se na tabela 1 a seguir:

**Tabela 1.**

*Especificações do grupo gerador ABC.*

Descrição	Especificação
Velocidade do motor	750 rpm
Uso principal	Operação contínua de carga base
Combustível	Diesel
Disponibilidade	Mais de 88%

Manutenção	Simples e fácil feita no local
Consumo de combustível * (SFOC)	(185~189 g/kW/h)
Vida útil	Mais de 20 anos
Ciclo de manutenção	As 12 000 horas de operação
Características elétricas	Fora de serviço

Fonte: PRODEL EP (2012).

A central elétrica está alinhada com os objetivos da estratégia de longo prazo Angola 2025, que visa fomentar o desenvolvimento humano e o bem-estar da população angolana. Essa estratégia busca promover um crescimento justo e sustentável, assegurar um avanço significativo da economia e desenvolver o território nacional de maneira equilibrada, o que só pode ser alcançado por meio de uma resposta eficaz do setor elétrico.

A operação desta central possibilitou atingir o forte crescimento do consumo de energia na cidade de Saurimo, enfocada em resolver os problemas de curto e médio prazo embora ainda é insuficiente para atingir a totalidade da demanda, muito mais depois da paralisação momentânea da mesma.

A ação, desta central até sair de serviço foi prioritária no fornecimento elétrico da cidade de Saurimo. No entanto, só foi possível desenvolver o sector elétrico com apoio de uma forma adequada que infelizmente não ocorreu nas aspirações da província de se desenvolver com uma visão de longo prazo para o sector. Ver tabelas 2, 3 e 4.

**Tabela 2.**

*Reservatório de combustível da central elétrica Txicumina I.*

<b>Tipo de combustível</b>	<b>Gasóleo</b>
Quantidade de reservatório	8x50
Volume do reservatório m <sup>3</sup>	400

Fonte: PRODEL EP (2012).

**Tabela 2.**

*Motores da central elétrica Txicumina I.*

<b>Marca</b>	<b>ABC</b>
Posição do eixo	Horizontal
Rotação nominal (rpm)	750

Fonte: PRODEL EP (2012).

**Tabela 3.**

*Geradores da central elétrica Txicumina I. Marca Leroy Somer*

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>VALOR</b>
Potência nominal	5x 2, 5
Fator de potência nominal	0.80
Tensão nominal	50 Hz
Frequência nominal	6,6 kV

Fonte: PRODEL EP (2020).

#### **Análises gráfico da relação produção-consumo de diesel**

Foi realizada uma análise gráfica comparativa utilizando os dados de produção de energia e consumo de diesel da planta durante um determinado período. Esses dados foram obtidos dos registros

operacionais da usina e analisados para avaliar a eficiência energética, ou seja, quanta energia foi gerada por unidade de combustível consumido. Utilizou-se um software de análise de dados para a construção de gráficos ilustrando a relação entre produção e consumo, o que possibilitou identificar padrões de eficiência ou ineficiência no uso de combustíveis.

Um dos fatores de maior peso para se determinar o custo da energia gerada pelas centrais termoeletricas é o custo dos combustíveis. Para a execução da análise utilizaram-se dados fornecidos pela direção da central elétrica e que recolhem informações dos anos de serviço. As análises dos dados se realizaram iniciando pelos de maior período de tempo até meses e dias específicos. A tabela 5 a seguir mostra os dados diários de geração e consumo de combustível durante o ano 2017.

Os dados dos kW médio produzidos por litro de combustível são dados aproximados entanto para o dado exato precisa-se do consumo de combustível por horas. Neste caso só se teve acesso aos dados de produção e consumo diário e mensal. A seguir se apresentam várias figuras (2, 3 e 4) que refletem de maneira gráfica os dados fornecidos na tabela 5.

A análise dos gráficos revela que o mês de maior produção e consumo de diesel foi o mês de outubro, mesmo assim o mês de piores resultados nos aspectos que estão sendo avaliados foi o mês de novembro, o que indica aparentemente uma relação totalmente linear destes dois indicadores.

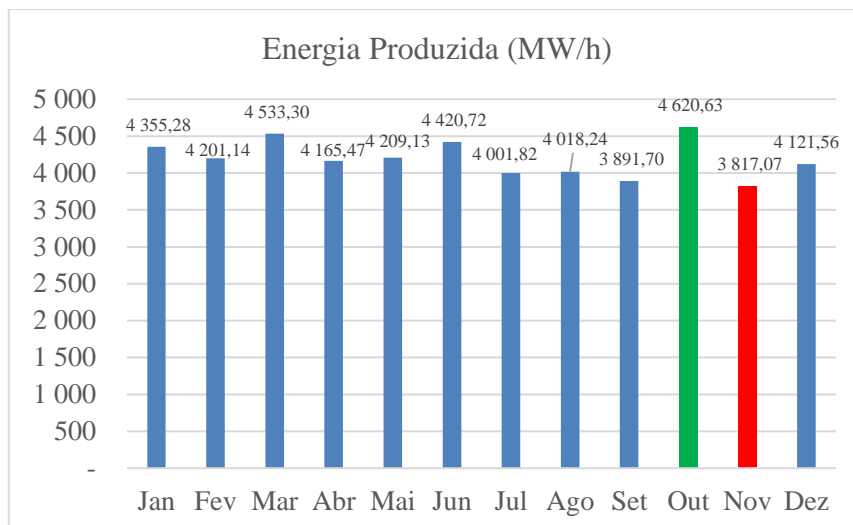
#### **Tabela 4.**

*Relação energia produzida-consumo de diesel da central no ano 2017.*

<b>Meses</b>	<b>Energia produzida (MW/h)</b>	<b>Consumo de Combustível (l)</b>	<b>kW/l</b>
Janeiro	4,355. 28	11,252. 40	3,871. 00
Fevereiro	4,201. 14	11,060. 08	3,798. 00
Março	4,533. 30	12,011. 08	3,774. 00
Abril	4,165. 47	10,844. 02	3,841. 00
Mai	4,209. 13	10,686. 70	3,939. 00
Junho	4,420. 72	11,095. 09	3,984. 00
Julho	4,001. 82	10, 519. 07	3,804. 00
Agosto	4,018. 24	10,621. 28	3,783. 00
Setembro	3,891. 70	10,161. 04	3,830. 00
Outubro	4,620. 63	12,163. 84	3,799. 00
Novembro	3,817. 07	9,949. 92	3,836. 00
Dezembro	4,121. 56	10,723. 52	3,843. 00
Ano	50,281. 06	131,088. 04	46,102. 00

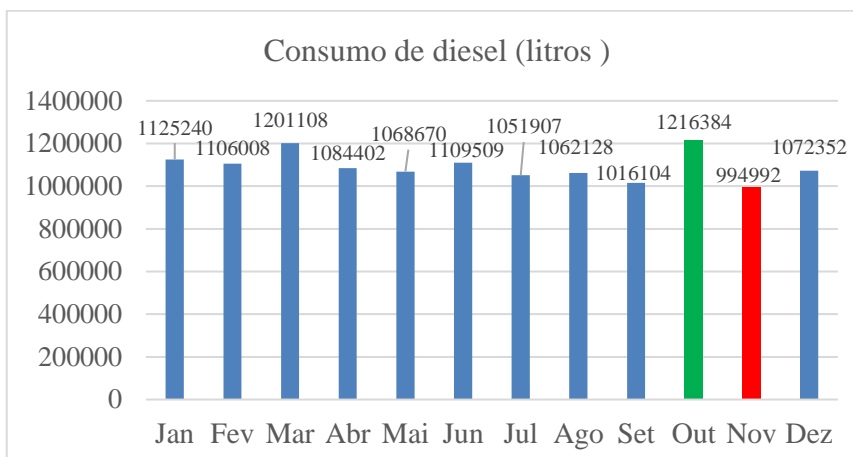
**Figura 2.**

*Gráfico de produção de energia elétrica, ano 2017 da central elétrica Txicumina I.*



**Figura 3.**

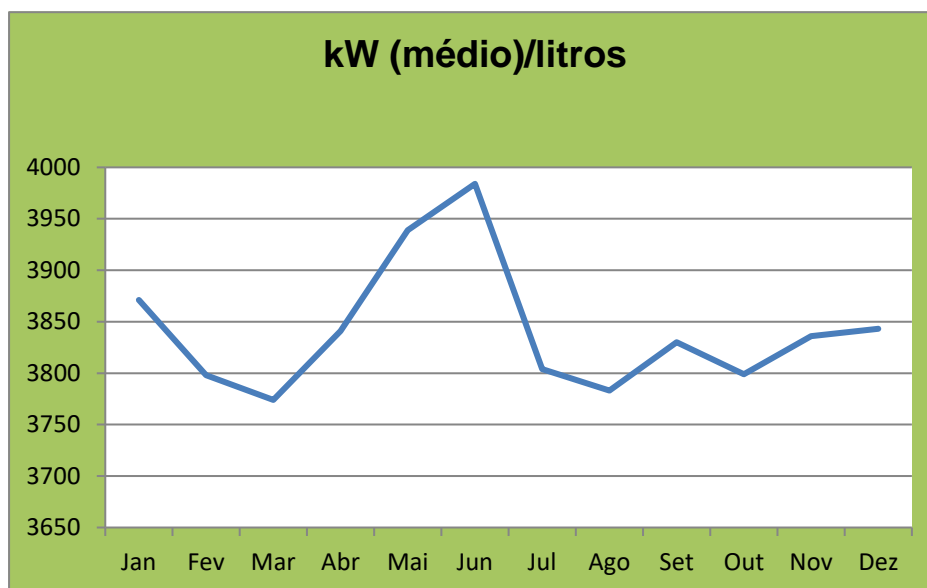
*Gráfico de consumo de diesel, ano 2017 da central elétrica Txicumina I.*





**Figura 4.**

*Gráfico de índice de kW/l produzidos (eficiência), ano 2017 da central elétrica Txicumina I.*



#### **Análise de produção e eficiência na central elétrica Txicumina I**

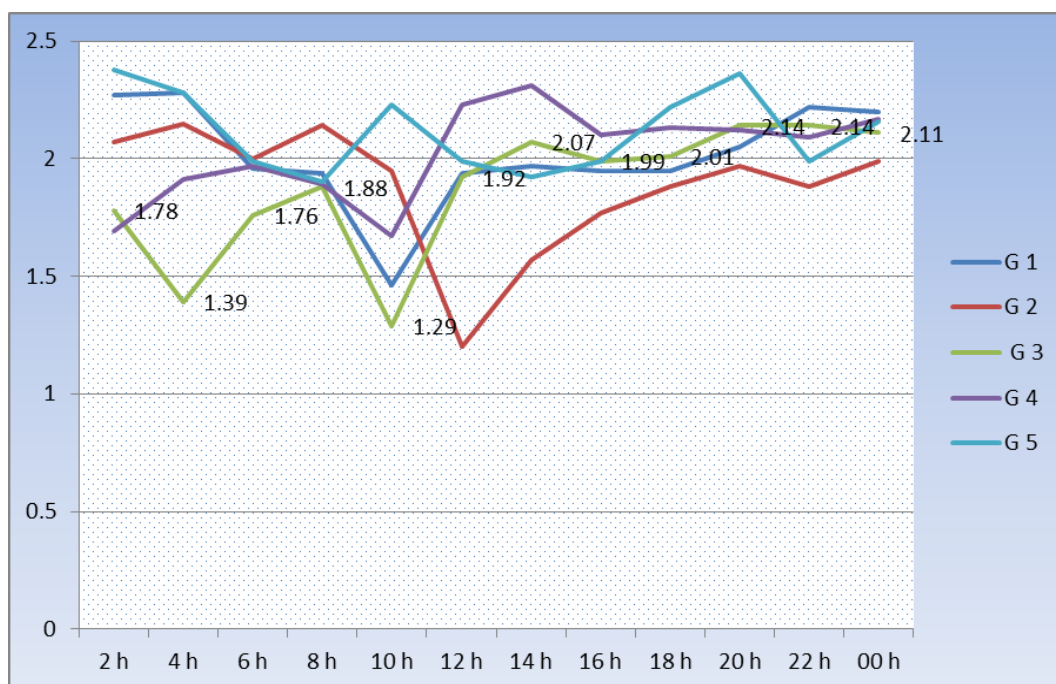
O terceiro gráfico indica que a relação entre a produção e o consumo de energia não é linear, não havendo correspondência direta entre os meses de maior e menor produção/consumo e os índices de eficiência (kW/l). Notavelmente, março, que apresenta o menor índice de eficiência, é também o segundo mês com maior produção e consumo de combustível, sugerindo que outras variáveis influenciam essa relação, como o nível de carga por horas, o desgaste dos grupos geradores e o tempo de operação.

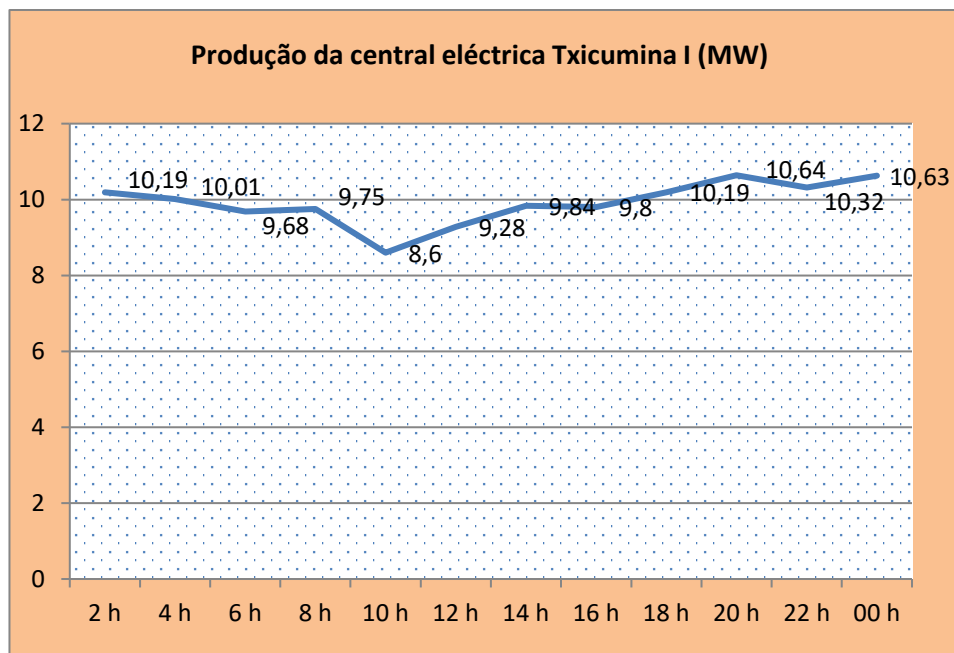
A análise se concentrará no mês de dezembro de 2017, utilizando dados de carga individuais de cada grupo gerador a cada duas horas. Embora não seja ideal limitar a análise a um único dia, foi selecionado o dia 10 de dezembro de 2017 para apresentação dos dados de produção da central elétrica.

**Tabela 5.***Produção da central elétrica do dia 10 de dezembro de 2017.*

Horas	CENTRAL ELÉCTRICA					
	G N.º 1	G N.º 2	G N.º 3	G N.º 4	G N.º 5	CT
2	2,27	2,07	1,78	1,69	2,38	10,19
4	2,28	2,15	1,39	1,91	2,28	10,01
6	1,96	2,00	1,76	1,97	1,99	9,68
8	1,94	2,14	1,88	1,89	1,90	9,75
10	1,46	1,95	1,29	1,67	2,23	8,60
12	1,94	1,20	1,92	2,23	1,99	9,28
14	1,97	1,57	2,07	2,31	1,92	9,84
16	1,95	1,77	1,99	2,10	1,99	9,80
18	1,95	1,88	2,01	2,13	2,22	10,19
20	2,05	1,97	2,14	2,12	2,36	10,64
22	2,22	1,88	2,14	2,09	1,99	10,32
00	2,20	1,99	2,11	2,17	2,16	10,63
<b>Total</b>	<b>24,19</b>	<b>22,57</b>	<b>22,48</b>	<b>24,18</b>	<b>25,41</b>	<b>118,83</b>

Os dados totais devem-se multiplicar por 2, assumindo que a carga se manteve constante no intervalo de 2 em 2 horas. Isto reflete determinada margem de erro, mas é aceitável para os objetivos deste estudo. A seguir se apresentam várias figuras que refletem de maneira gráfica os dados fornecidos na figura 5 e 6.

**Figura 5.***Comportamento da produção dos grupos geradores da central Txicumina I.*

**Figura 6.***Comportamento da produção da central.*

A análise dos gráficos apresentados revela que nenhum dos grupos geradores atinge a sua capacidade nominal, só alguns grupos ultrapassam ligeiramente a barreira dos 2,00 MW, e isto acontece no final de diferentes horas de serviço. Outro detalhe importante é que todos os grupos excepto o G N.º 1 conseguem a sua máxima potência durante a hora de ponta das 20 horas. Isto se corresponde com o comportamento da central apresentado. Finalmente o grupo de comportamento mais estável foi o número 5 (G N.º 5), contrariamente ao grupo número 2 (G N.º 2) que mostra o comportamento mais instável de todos os da central.

#### **Análise de custos de geração de energia na central Txicumina I**

A análise dos custos de geração de energia na central eléctrica Txicumina I considerou os preços da época, incluindo custos diretos de combustível, operacionais e de manutenção. Os dados foram extraídos de relatórios financeiros e ajustados com os preços de 2019, permitindo comparações e avaliação do impacto das flutuações de preços na eficiência económica da usina.

A energia eléctrica é um insumo estratégico para a economia, e seu fornecimento seguro e a custos acessíveis são essenciais para a competitividade nacional. No entanto, nos últimos anos, os custos têm aumentado, evidenciado pelo Decreto Executivo 705/15 do Ministério das Finanças (MINFIN), que estabeleceu novas tarifas de venda de energia eléctrica.

As tarifas variam conforme a categoria de consumidores, com valores específicos para residências de baixa renda, comércio e indústrias, baseadas em fórmulas que consideram o consumo e a potência contratada. O cálculo do preço do kW/h gerado na central foi realizado utilizando dados sobre consumo de diesel, energia gerada e custos operacionais.

O consumo médio de diesel foi estimado em 1.452,50 litros por hora, resultando em um gasto de 192.020,50 Akz. A energia gerada por hora foi de 10,19 MW/h. Incluindo os custos de operação e manutenção, o preço do kW/h gerado foi calculado em aproximadamente 145 Akz. Comparando com os preços de venda estabelecidos no decreto, conclui-se que os custos de produção de energia na central superaram significativamente os preços de venda para todas as categorias.

### **Identificação de dificuldades operacionais da central elétrica Txicumina I**

As principais dificuldades na operação da central elétrica Txicumina I foram identificadas por meio de entrevistas semiestruturadas com ex-trabalhadores e análise de relatórios técnicos. As informações coletadas revelaram várias áreas críticas que necessitam de melhorias, incluindo:

#### **1. Equipamentos Avariados:**

- Grupo Gerador N.º 1: Problemas no AVR e bobina do disjuntor de média tensão.
- Grupo Gerador N.º 2: Necessita de reparação capital e reposição do turbo danificado, avariado há mais de um ano.
- Grupo Gerador N.º 3: Problema na bobina do disjuntor de média tensão.
- Grupos Geradores N.º 4 e N.º 5: Falta de contadores de combustíveis.
- Grupo Gerador Auxiliar: Problemas com martelo e válvulas.
- Compressores de Ar: Avariados devido a problemas de mangueira e tubo de cobre.

#### **2. Sala de Média Tensão:**

- Três disjuntores fora de serviço por falta de bobinas.
- Barramentos danificados no transformador N.º 5.

#### **3. Processo de Controle e Tratamento de Combustível:**

- Várias bombas e mangueiras avariadas, além da necessidade de manutenção especializada nas separadoras de combustível.

#### **4. Sistema de Abastecimento e Tratamento de Água:**

- Bomba de transferência de água bruta e inversor de frequência da bomba de circulação avariados.

Para a central recomeçar suas operações, é essencial priorizar a resolução dessas questões. Além disso, é necessário desenvolver uma visão de longo prazo para o setor elétrico da cidade, implementando políticas de eficiência energética que incluam:

1. Modelagem e previsão de despesas e custos de energia.
2. Comparação do consumo de energia entre grupos geradores.
3. Análise detalhada do consumo e custo de energia.
4. Medição e verificação em tempo real do consumo energético.
5. Reajuste interativo para melhorar a eficiência na geração de energia.

### **Discussão e análise dos resultados**

Os resultados obtidos a partir do estudo de eficiência energética na usina Txicumina I, na cidade de Saurimo, revelam conclusões importantes sobre o desempenho operacional e o impacto econômico e ambiental da usina. Nesta secção, serão abordadas as principais conclusões, centrando-se no consumo de eletricidade, na relação entre a produção e o consumo de combustível, nos testemunhos de antigos trabalhadores e nas oportunidades para melhorar a eficiência energética na instalação.

#### **Consumo de eletricidade e fatores de emissão**

A análise do consumo de eletricidade da usina Txicumina I indica que, embora a usina cumpra sua missão de fornecer energia para a região de Saurimo, sua eficiência é comprometida pelo alto consumo de diesel. O rácio entre a energia produzida e o combustível utilizado reflete uma dependência significativa de fontes não renováveis, o que aumenta tanto os custos operacionais como o combustível utilizado.

#### **Análises dos fatores de emissão na Central Txicumina I**

No estudo de eficiência energética da central elétrica Txicumina I, foram avaliados os fatores de emissão associados ao consumo de diesel, focando nas emissões de CO<sub>2</sub> e outros gases de efeito estufa.

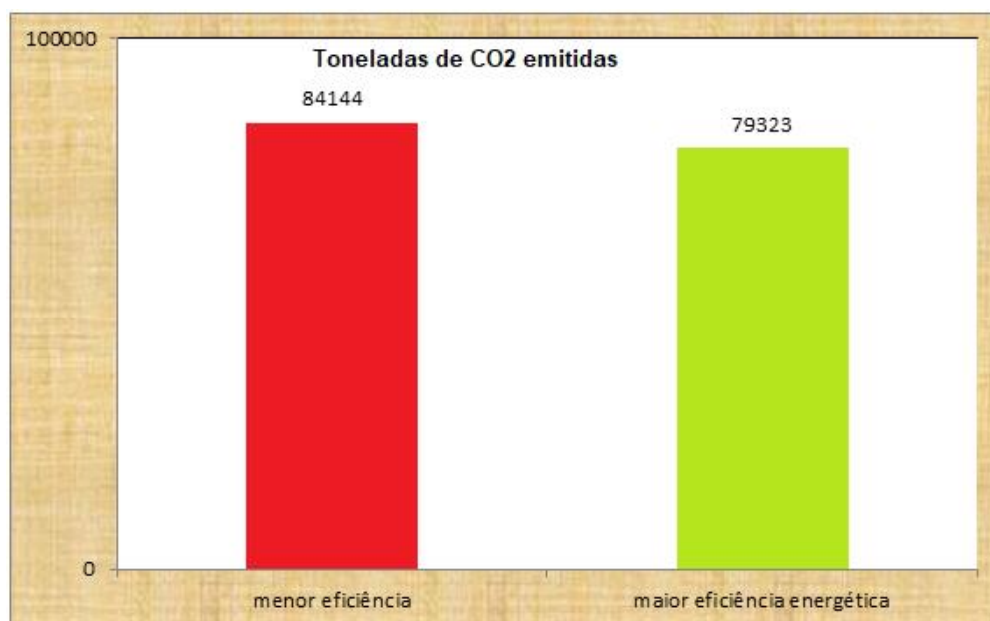
Essa análise é crucial para entender o impacto ambiental da central e sua contribuição para as emissões locais e regionais.

Para calcular as emissões, utilizou-se um fator de emissão de CO<sub>2</sub>, conhecido como mix elétrico (g de CO<sub>2</sub>/kW/h), refletindo as emissões desde a fundação da central em 2012 até sua paralisação em 2019. O mix elétrico de 2012 foi de 192 g CO<sub>2</sub>/kW/h, e a simulação indicou que, com a implementação de estratégias de eficiência energética, esse valor poderia ser reduzido para 181 g CO<sub>2</sub>/kW/h.

Os cálculos mostraram que, sem uma relação eficiente entre produção e consumo de combustíveis, as emissões totalizariam 84.144,00 toneladas de CO<sub>2</sub>. Com uma relação mais eficiente, as emissões poderiam ser reduzidas para 79.323,00 toneladas de CO<sub>2</sub>. A análise ilustra claramente a diferença nas emissões entre operações menos eficientes e aquelas otimizadas. Ver figura 7. Implementando as medidas de eficiência energética, a central poderá operar de forma mais limpa, beneficiando o meio ambiente da cidade de Saurimo, com uma redução estimada de 4.821,00 toneladas de CO<sub>2</sub> não emitidas durante um período similar.

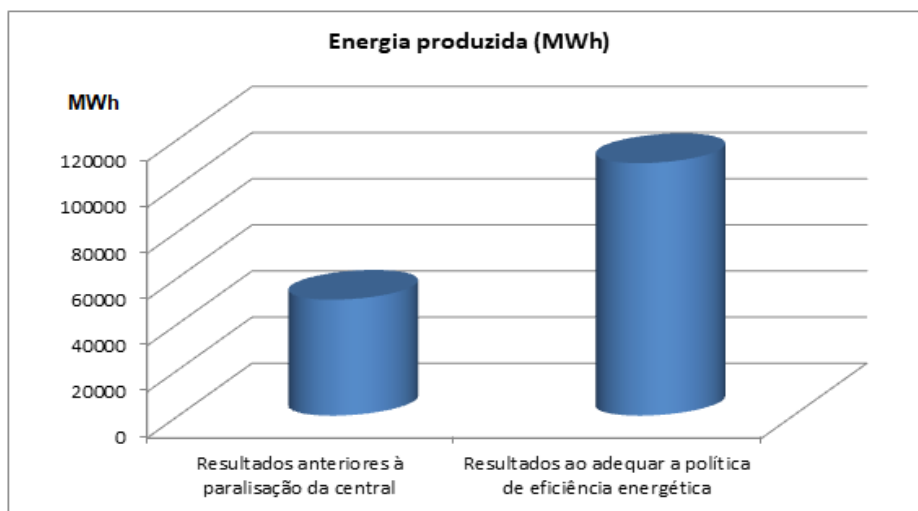
**Figura 7.**

*Relação do efeito de emissão à atmosfera de quando se trabalha com menor eficiência e quando se trabalha com maior eficiência energética.*

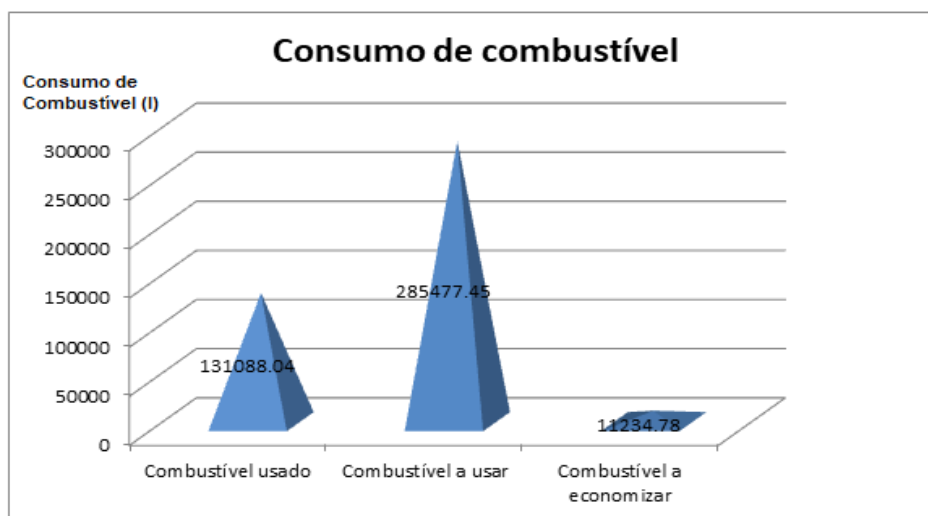


### **Efetividade da relação produção-consumo de combustíveis**

No exposto, a relação entre produção e consumo de combustíveis foi apresentada para as diversas situações em que a usina estava em operação. Ao estabelecer as ações recomendadas ao final do capítulo e resolver os problemas detetados, a central deverá experimentar uma melhoria em seus indicadores de produção com os correspondentes rendimentos quanto à qualidade do combustível e as lógicas economias do mesmo que se originam como resultado de aplicar uma adequada estratégia de eficiência energética. Ver figura 8.

**Figura 8.***Análise da energia produzida e a produzir.*

Todos os resultados que se possam obter por acima do valor obtido anterior serão resultados com um alto grau de eficiência energética e por lógica de sustentabilidade com respeito ao valor ideal representado na figura 9.

**Figura 9.***Análise do combustível usado e a usar, economia de combustível.*

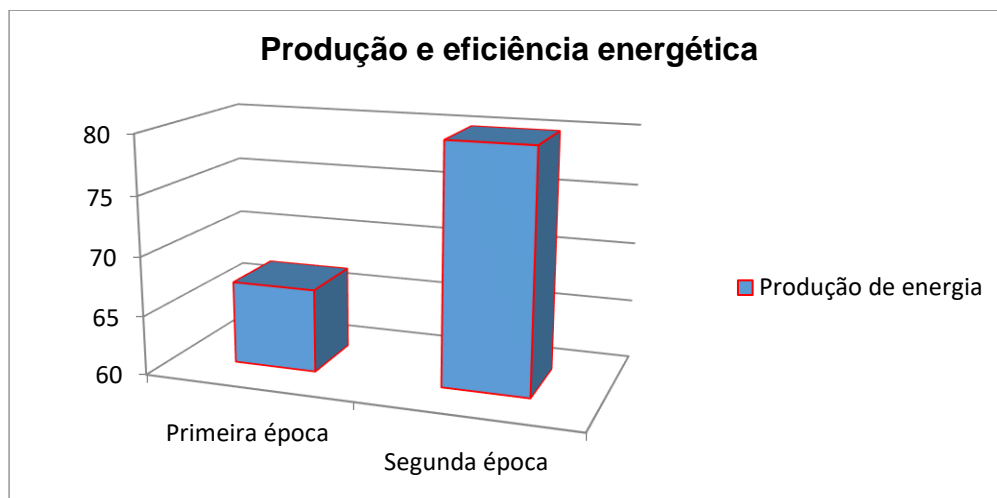
### Resultados da eficiência energética na central elétrica

Os resultados demonstram que a aplicação de um uso adequado do combustível para eficiência energética na produção de energia da central elétrica é evidente. Embora a central tenha contribuído positivamente para o fornecimento elétrico da cidade, a eficiência operacional não correspondeu aos resultados esperados.

Ao economizar 11.234,78 litros de combustível, seria possível gerar mais 38,67 MWh, o que é significativo, considerando as necessidades de energia e as dificuldades de geração em Saurimo e na província de Lunda Sul. Portanto, é importante analisar a eficiência operacional, mesmo que o serviço prestado beneficie a sociedade, pois a ineficiência pode comprometer a produção de energia. A investigação também abordou as implicações de produzir energia em condições de baixa eficiência energética, apresentando resultados de simulação relacionados. Ver figura 10.

**Figura 10.**

*Produção energia produzida.*



### Resultados negativos na exploração da central

A análise dos grupos geradores revela dificuldades significativas na exploração da central:

- Grupo Gerador N.º 1: Problemas no AVR e na bobina do disjuntor de média tensão resultaram na perda de aproximadamente 220 MW de produção.
- Grupo Gerador N.º 2: Avaria que necessitou de reparação capital e reposição do turbo danificado, resultando na perda de cerca de 500 MW.
- Grupo Gerador N.º 3: Problemas na bobina do disjuntor de média tensão levaram à perda de aproximadamente 300 MW.
- Grupos Geradores N.º 4 e 5: A ausência de contadores de combustíveis impediu o controle adequado, resultando em desperdício de combustíveis e uma ineficiência energética que perfila cerca de 200 MW.

Além disso, os compressores de ar dos grupos N.º 2 e N.º 3 estão avariados devido a problemas com mangueiras, tubos de cobre e acoplamentos. Isso contribuiu para o desperdício de combustíveis, que poderiam ter sido utilizados para gerar cerca de 60 MW.

### CONCLUSÕES

O estudo teórico realizado sobre os conceitos de eficiência energética permitiu estabelecer um quadro de referência para analisar a situação da central Txicumina I. Foram definidos princípios fundamentais que orientam as melhorias na eficiência de centrais elétricas similares.

O diagnóstico da relação entre a produção de energia e o consumo de combustíveis durante o período de funcionamento da central revelou ineficiências significativas. O consumo de diesel foi desproporcionalmente elevado em relação à energia produzida, evidenciando uma má gestão dos recursos. Isso sublinha a urgência de implementar medidas corretivas, como a modernização dos equipamentos de geração e o monitoramento em tempo real do consumo e da produção.

Os resultados da análise da relação entre produção e consumo de combustíveis permitiram identificar áreas-chave para melhorar a eficiência energética da central. A otimização dessa relação não apenas melhoraria o desempenho da central, mas também reduziria consideravelmente os custos associados à geração de energia. Esse aspeto é crucial, uma vez que os custos operacionais da central são insustentáveis sem uma gestão adequada dos combustíveis, o que afeta sua viabilidade econômica a longo prazo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, M. S. (2015). *Elaboración de un plan de producción más limpia para el hotel patrimonio de la ciudad de Cuenca*. Tesis previa de la obtención del Título de Ingeniero Ambiental. Universidad de Cuenca. Ecuador.
- Brito, M. C. (2018). *Factores de influência na eficiência energética*. Rio de Janeiro: UFRJ.
- Cabral, P. M. (2017). *Um sistema energético mais eficiente*. Obtido de [https://w5.siemens.com/portugal/web\\_nwa/pt/PortalInternet/SalaImprensa/dialogo/Documents/Diálogo\\_76.pdf](https://w5.siemens.com/portugal/web_nwa/pt/PortalInternet/SalaImprensa/dialogo/Documents/Diálogo_76.pdf). Acesso maio 2020.
- De Sá, A. F. (2017). *Guia de Aplicações de Gestão de Energia e Eficiência Energética*. Lisboa: Publindústria.
- IEEE. (2020). *IEEE Standard for Information Technology—Telecommunications and Information Exchange between Systems* (IEEE Std 802.3). ISBN:978-1-5044-7283-8 <https://ieeexplore.ieee.org/document/9363693>
- MINFIN. (2015). Decreto Executivo 705/15 do Ministério das Finanças. *Novas tarifas de venda de energia eléctrica*. Diário da República, pp. 7-9. (30 de dezembro de 2015).
- Patterson, M. G. (1996), *What is energy efficiency? concepts, indicators and methodological issues*. Energy Policy, Vol. 24, pp.377-390.
- PRODEL EP. (2012). *Informe Anual de Actividades 2012*. <https://www.prodel.ao/informe2012>
- PRODEL EP. (2020). *Relatório Anual de Atividades 2020*. <https://www.prodel.ao/relatorio2020>
- Sánchez, F. F. (2015). *Manual de boas práticas de eficiência energética*. Lisboa: BCSD.
- Viana, A. C. (2017). *Eficiência energética: fundamentos e aplicações*. Campinas: ELEKTRO.

## Síntese curricular dos autores

**Eng. Filomena Ginga Sozinho.** Engenheira de Mina, Colabora na Sociedade Mineira de Catoca exercendo a função de Eng<sup>o</sup> de Mina é Licenciada em Mina tendo como linha de pesquisa a orientação profissional para os cursos de Licenciatura em geológica e Minas na Escola Politécnica do Luari.

**MSc. Franklyn González Segura.** Mestre em Ciências Técnica. Docente de Educação Superior na Faculdade de Engenharia da Universidade de Holguín, Cuba. Com categoria docente de Professor Auxiliar. Professor em colaboração do Instituto Politécnico de Saurimo. Universidade Lueji A'nkonde. Lunda Sul. Angola.

**Ph.D. José Eduardo Márquez Delgado.** Doutor em Ciências pela Universidade Politécnica de Madrid (UPM), Espanha. Máster em Desenho e Fabricação Assistido por Computadores (CAD/CAM). Engenheiro Mecânico. Professor Titular do departamento de Engenharia Mecânica. Universidade de Granma. Cuba.

**Ph.D. Yamilé Mesa Barrera.** Docente de Educação Superior da Faculdade de Construção da Universidade de Oriente, Cuba. Professora Titular. Doutora em Ciências Pedagógicas. Mestre em Pedagogia Profissional. Licenciada em Educação Construção. Professora em colaboração do Instituto Politécnico de Saurimo. Universidade Lueji A'nkonde. Lunda Sul. Angola. email: