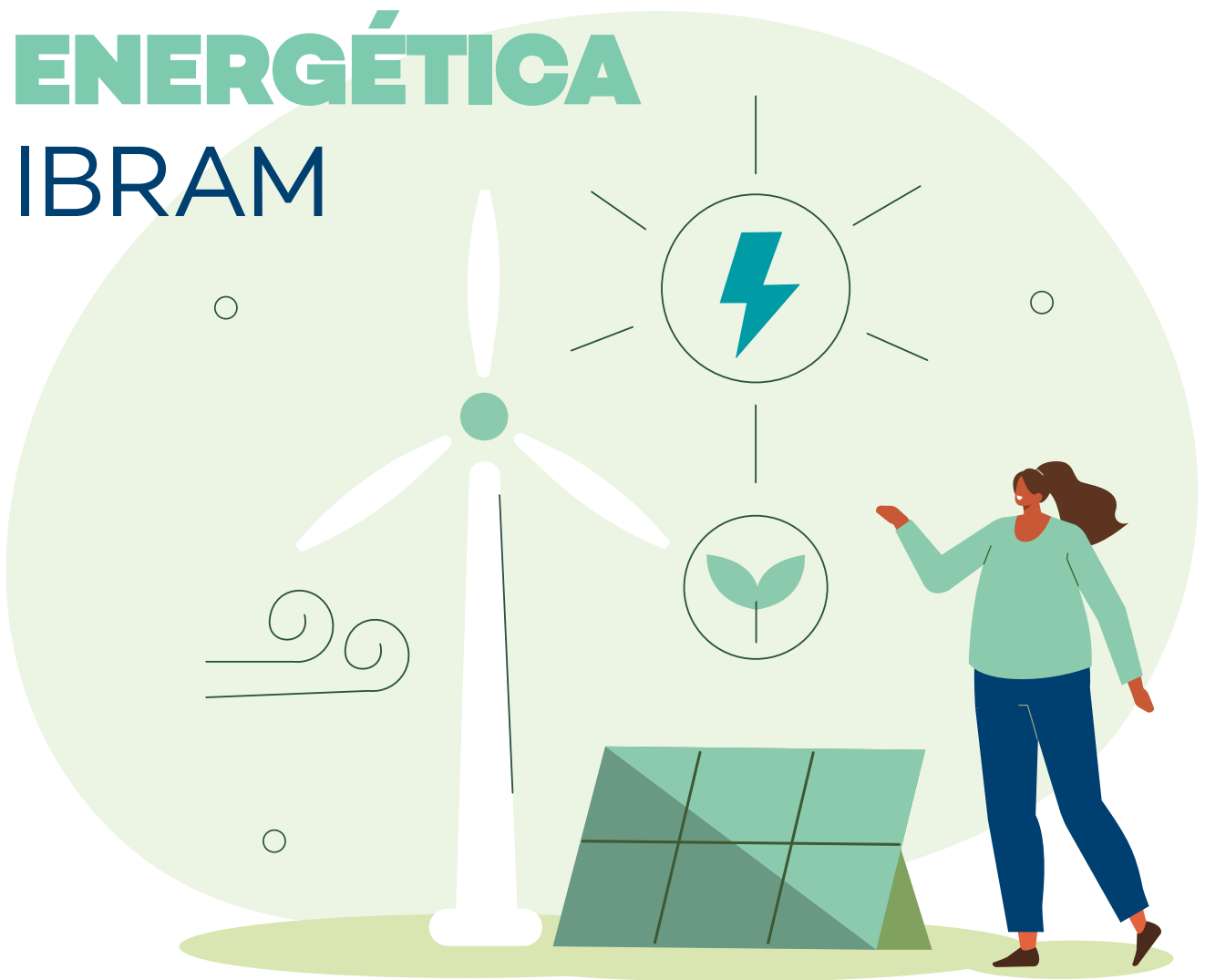


**GUIA  
EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA  
IBRAM**



# GUIA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA IBRAM



© **2024 Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM)**

SHIS QL 12 cj 0 (zero) casa 04, Lago Sul.

CEP:71.630-205 – Brasília/DF

Telefone: (61) 3364-7272

Endereço eletrônico:

<http://www.ibram.org.br>

© Todos os direitos reservados.

É permitida a reprodução de dados e de informações contidos nesta publicação, desde que citada a fonte.

**TEXTO ORIGINAL EM PORTUGUÊS  
ELABORADO POR:**

- Sérgio Grassi Ferreira Marques
- Sérgio Ricardo Dieguez Couto
- Stéfano Maria Falsini Angioletti

**COLABORADORES:**

- Aline Pereira Leite Nunes, Instituto Brasileiro da Mineração - IBRAM,
- Gilvan Gomes Corradi, Samarco Mineração.
- Isabelle Santos, Vale S/A
- Isenildo dos Santos Marques, Mineração rio do Norte - MRN
- Katia Alves, Kinross Brasil Mineração S/A
- Luis Ancelmo S. Silva, Mineração Caraíba, ERRO Brasil
- Maria Beatriz Fabrini Martins da Costa, GRID Energia
- Mario Souza Alvarenga, AngloGold Ashanti
- Matheus Chaves Faria Carvalho, AngloGold Ashanti
- Paulo de Tarso Gonçalves Noli, Companhia Brasileira e Metalurgia e Mineração - CBMM

Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM  
Guia Eficiência Energética IBRAM. E Book. Organizador, Instituto Brasileiro de Mineração. 1.ed. – Brasília: IBRAM, 2024.

176p. : il.

ISBN nº 978-85-61993-21-4

1.Mineração 2. Eficiência Energética 3. Redução de emissões.

Disponível em: [www.ibram.org.br](http://www.ibram.org.br)

CDU: 622:621 502/594



# GOVERNANÇA



## DIRETORIA EXECUTIVA

### Raul Jungmann

Diretor-Presidente do IBRAM

### Fernando Azevedo e Silva

Vice-Presidente do IBRAM

### Alexandre Valadares Mello

Diretor de Assuntos Associativos e Mudança do Clima

### Julio Cesar Nery Ferreira

Diretor de Sustentabilidade

### Paulo Henrique Leal Soares

Diretor de Comunicação

### Rinaldo César Mancin

Diretor de Relações Institucionais

### Osny Vasconcellos

Diretor Administrativo e Financeiro

## CONSELHO DIRETOR

BIÊNIO 2024-2025

### Presidente do Conselho:

- **Anglo American Brasil**  
Ana Sanches  
Titular

### Vice-Presidente do Conselho:

- **Lundin Mining**  
Ediney Maia Drummond  
Titular

## CONSELHEIROS:

- **Alcoa**  
Eduardo Doria - Titular  
Michelle Shayo - Suplente
- **Anglo American Brasil**  
Ivan de Araujo Simões Filho -  
Suplente
- **AngloGold Ashanti**  
Marcelo Pereira - Titular  
Othon de Villefort Maia -  
Suplente
- **ArcelorMittal**  
Wagner de Brito Barbosa -  
Titular  
Wanderley José de Castro -  
Suplente
- **BAMIN**  
Eduardo Jorge Ledsham - Titular  
Alexandre Victor Aigner -  
Suplente



**Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração - CBMM**

Eduardo Augusto Ayroza Galvão Ribeiro - Titular  
Ricardo Fonseca de Mendonça Lima - Suplente

- **Copelmi Mineração Ltda**  
Cesar Weinschenck de Faria - Titular  
Roberto da Rocha Miranda de Faria - Suplente
- **Embu S.A. Engenharia e Comércio**  
Daniel Debiazzi Neto - Titular  
Luiz Eulálio Moraes Terra - Suplente
- **Kinross Brasil Mineração S.A.**  
Gilberto Carlos Nascimento Azevedo - Titular  
Ana Cunha - Suplente
- **Lundin Mining**  
Luciano Antonio de Oliveira Santos - Suplente
- **Mineração Caraíba S.A.**  
Eduardo de Come - Titular  
Antonio Batista de Carvalho Neto - Suplente
- **Mineração Paragominas S.A. (HYDRO)**  
Anderson Baranov - Titular  
Paula Amelia Zanini Marlieri - Suplente
- **Mineração Rio Do Norte S.A. - MRN**  
Guido Roberto Campos Germani - Titular

Vladimir Senra Moreira - Suplente

- **Mineração Taboca S.A**  
Newton A. Viguetti Filho - Titular  
Ronaldo Lasmar - Suplente
- **Mineração Usiminas S.A.**  
Carlos Hector Rezzonico - Titular  
Marina Pereira Costa Magalhães - Suplente
- **Minerações Brasileiras Reunidas - MBR**  
Octavio Bulcão - Titular  
Marcelo Sampaio - Suplente
- **Mosaic Fertilizantes**  
Adriana Kupcinskias Alencar - Titular  
Emerson Araken Martin Teixeira - Suplente
- **Nexa Resources**  
Jones Belther - Titular  
Guilherme Simões Ferreira - Suplente
- **Samarco Mineração S.A.**  
Rodrigo Alvarenga Vilela - Titular  
Felipe Starling - Suplente
- **Vale**  
Alexandre Silva D´Ambrosio - Titular  
Lauro Angelo Dias de Amorim - Suplente  
Marcello Magistrini Spinelli - Titular  
Vinícius Resende Domingues - Suplente  
Rafael Bittar - Titular  
Helga Paula Patrícia Franco - Suplente



## ESCLARECIMENTOS



Apesar de este documento ter sido preparado com os devidos cuidados, o IBRAM e qualquer outra instituição participante não se responsabilizam pelas informações e análises apresentadas, que devem ser creditadas diretamente aos autores do documento. Este documento não restringe e não dispensa a consulta e leitura de outras fontes citadas aqui (ex.: ABNT NBR ISO 50001, ABNT NBR ISO 50002, ABNT NBR ISO 50006, dentre outras)



## LISTA DE FIGURAS



<b>Figura 1</b> - Gases do Efeito Estufa (adaptado pelos autores)	30
<b>Figura 2</b> - Fontes associadas aos escopos e os GEE	32
<b>Figura 3</b> - Principais etapas para implementar o sistema	35
<b>Figura 4</b> - Fluxograma para execução de Diagnóstico Energético conforme ABNT ISO 50002- 2014	42
<b>Figura 5</b> - Ciclo PDCA	49
<b>Figura 6</b> - Rotina de implantação de sistema de gestão da energia	50
<b>Figura 7</b> - Relação entre as expectativas do projeto	61
<b>Figura 8</b> - Alinhamento e desalinhamento de acoplamentos elásticos	91
<b>Figura 9</b> - Transporte de material em britadores e moinhos	99
<b>Figura 10</b> - Representação de um moinho de bolas	100
<b>Figura 11</b> - Tipos de Compressores	109
<b>Figura 12</b> - Níveis de eficiência: Processos X Produtos	125





## LISTA DE GRÁFICOS



<b>Gráfico 1</b> – Previsão do uso de fontes de energia (milhões de TJ)	33
<b>Gráfico 2</b> – Evolução típica do desempenho com implantação de programa de eficiência energética	40
<b>Gráfico 3</b> – Exemplo de diagrama de dispersão utilizado para análise de desempenho energético	57
<b>Gráfico 4</b> – Impacto dos riscos, incertezas e mudanças no ciclo de vida dos projetos	66
<b>Gráfico 5</b> – Média do consumo energético na mineração	78
<b>Gráfico 6</b> – Consumo por setor	79
<b>Gráfico 7</b> – Consumidores Industriais	80
<b>Gráfico 8</b> – Curva característica de desempenho sob variação de carga	86
<b>Gráfico 9</b> – Curva de corrente X velocidade de um motor de indução trifásico	87
<b>Gráfico 10</b> – Onda Senoidal e onda contendo Harmônicos	89
<b>Gráfico 11</b> – Curva típica do Fator de Potência em função da carga	90
<b>Gráfico 12</b> – Relação entre energia fornecida e tamanho da partícula	95
<b>Gráfico 13</b> – Curva Carga X Vazão - Utilização com “Damper”	103
<b>Gráfico 14</b> – Curva Potência X Vazão - Utilização com “Damper”	104
<b>Gráfico 15</b> – Curva Rendimento X Vazão - Utilização com “ Damper”	104
<b>Gráfico 16</b> – Curva Carga X Vazão - Utilização de variação de velocidade	105
<b>Gráfico 17</b> – Curva Potência X Vazão - Utilização de variação de velocidade	105
<b>Gráfico 18</b> – Curva Rendimento X Vazão - Utilização de variação de velocidade	106
<b>Gráfico 19</b> – Relação Opacidade e Rendimento Energético	129



## LISTA DE TABELAS



<b>Tabela 1</b> - Exemplo de equipamentos contidos na regulamentação PBE	20
<b>Tabela 2</b> - Compromisso e metas propostas pelo IBRAM	22
<b>Tabela 3</b> - Fatores de conversão de energia	29
<b>Tabela 4</b> - Comparação entre Gestão de Projetos tradicionais e ágeis	64
<b>Tabela 5</b> - Opções de medição e suas aplicações	74
<b>Tabela 6</b> - Rendimentos nominais mínimos	81
<b>Tabela 7</b> - Comparação entre perdas de motor standard X alto rendimento	83
<b>Tabela 8</b> - Regime característico de funcionamento do motor de indução trifásico	88
<b>Tabela 9</b> - Resistência contra o movimento das correias transportadoras	97
<b>Tabela 10</b> - Oportunidades de melhoria da eficiência	111
<b>Tabela 11</b> - Perdas de pressão admissíveis e velocidades permitidas	116
<b>Tabela 12</b> - Vazão de ar perdida e potência desperdiçada com vazamentos	117
<b>Tabela 13</b> - Estimativa de vazamentos pela idade e conservação da distribuição	117
<b>Tabela 14</b> - Perdas devido a vazamentos na distribuição	118
<b>Tabela 15</b> - Usos inadequados de ar comprimido	122
<b>Tabela 16</b> - Evolução do transporte no caminho da descarbonização	130



# SUMÁRIO



<b>APRESENTAÇÃO</b>	<b>18</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>18</b>
1.1 Sumário Executivo	19
1.2 Contexto da Eficiência Energética no cenário Brasil	19
1.3 Cenário da Eficiência Energética na Mineração	21
<b>1.4 Conceitos</b>	<b>23</b>
1.4.1 Energia	23
1.4.2 Gestão de Energia	24
1.4.3 Eficiência Energética	25
1.4.4 Desperdício, Reutilização e Reciclagem	26
1.4.5 Demanda x Consumo (Energia Elétrica)	26
1.4.6 Relação Watt x Joule x tep	27
1.4.7 Aquecimento Global	30
1.4.8 Efeito Estufa e Gases Gerados	30
1.4.9 Protocolo de Gases do Efeito Estufa (GHG - Protocol)	31
1.4.10 Descarbonização	33
1.4.11 A Norma ABNT NBR ISO 50001	34
<b>2. METODOLOGIA APLICADA EM DIAGNÓSTICOS ENERGÉTICOS</b>	<b>39</b>
2.1 Objetivos	40
2.2 Metodologia	41
<b>2.3 Execução passo a passo de um Diagnóstico Energético</b>	<b>41</b>
2.3.1 Pré-requisitos	41
2.3.2 Fluxograma para execução de um Diagnóstico Energético	42
2.3.3 Planejamento do Diagnóstico Energético (P – Plan – Planejar)	42
2.3.4 Levantamento de dados (D – Do – Fazer)	43



2.3.5	Reunião de abertura (D – Do – Fazer)	44
2.3.6	Condução da visita ao local (D – Do – Fazer)	44
2.3.7	Análise (C – Check – Avaliar)	45
2.3.8	Elaboração do Relatório do Diagnóstico Energético (A – Act – Agir)	46
2.3.9	Reunião de encerramento (A – Act – Agir)	47
<b>3.</b>	<b>GESTÃO DA ROTINA</b>	<b>48</b>
<b>3.1</b>	<b>Análise de desempenho – Rotina e metodologia</b>	<b>49</b>
<b>3.2</b>	<b>Medição e Verificação – M&amp;V</b>	<b>51</b>
3.2.1	Variáveis relevantes	53
3.2.2	Fronteiras de medição	54
3.2.3	Modelo energético	54
3.2.4	Meta energética	54
3.2.5	Indicadores de desempenho energético (IDE)	55
3.2.6	Estabelecendo linhas de base energética	55
3.2.7	Determinando período de base	56
3.2.8	Monitoramento e reporte	56
3.2.9	Demonstrando melhoria de desempenho energético	59
<b>4.</b>	<b>PROJETOS</b>	<b>60</b>
<b>4.1</b>	<b>Relação/Análise dos possíveis projetos</b>	<b>61</b>
<b>4.2</b>	<b>Desenvolvimentos técnicos e econômicos dos possíveis projetos definidos em perdas e oportunidades</b>	<b>62</b>
<b>4.3</b>	<b>Gerenciamento dos Projetos</b>	<b>63</b>
4.3.1	Metodologia para gestão dos projetos	64
4.3.2	Cultura, operação, processo	67
4.3.3	Projetos de Automação	69
4.3.4	Mudanças de Tecnologia	70
<b>4.4</b>	<b>Análise dos Projetos</b>	<b>71</b>
4.4.1	Comparar dados “Antes X Depois” da implantação	71
4.4.2	Divulgar resultados	75
<b>4.5</b>	<b>Relatório conclusivo e recomendações</b>	<b>76</b>



<b>5. MINERAÇÃO: PROCESSOS – MAIORES CONSUMOS</b>	<b>77</b>
<b>5.1 Cominuição</b>	<b>78</b>
5.1.1 Motores Elétricos	79
5.1.2 Acoplamento Motor Carga	91
5.1.3 Britadores e Peneiras	93
5.1.4 Correias Transportadoras	97
5.1.5 Moinhos	98
5.1.6 Ventiladores	102
5.1.7 Bombas	107
5.1.8 Compressores	108
<b>5.2 Transporte</b>	<b>123</b>
5.2.1 Objetivos estratégicos na área de transporte	124
5.2.2 Oportunidades na área de transporte	124
5.2.3 Motores diesel	127
5.2.4 Eletrificação de caminhões	130
5.2.5 Cases na área de transporte	131
<b>6. FONTES DE PESQUISA</b>	<b>132</b>
<b>7. ANEXOS</b>	<b>136</b>
<b>7.1 TIR Verde na prática</b>	<b>137</b>
<b>7.2 “Case 1” – O papel da cultura das empresas no sucesso dos programas de Eficiência Energética</b>	<b>141</b>
<b>7.3 “Case 2” – Otimização de correias transportadoras: estudo de caso de redução da velocidade de motores operando a vazio</b>	<b>150</b>
<b>7.4 “Case 3” – Impactos Positivos no Consumo de Diesel e Manutenção da Frota Obtidos por meio da Melhoria de Vias Nível 1 de RAC</b>	<b>158</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>169</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b>	<b>172</b>
<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>174</b>



## PREFÁCIO



A mineração é base da evolução e do progresso. Em 2022, segundo dados do World Mineral Data, foram produzidos 18,7 bilhões de toneladas de minerais metálicos, óleo e gás e minerais industriais em todo mundo. Ainda, segundo informações da ANEPAC - Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção, a produção mineral mundial de agregados corresponde a dois terços da produção mineral mundial. Ou seja, a produção mineral mundial total em 2022 ultrapassou 56 bilhões de toneladas.

De acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) – estatal ligada ao Ministério de Minas e Energia, o setor industrial brasileiro responde por cerca de 30% de todo o consumo energético do país, incluindo combustíveis, gás natural, eletricidade e biomassa. Segundo artigo científico publicado em 2023 pela *University of Leeds*, do Reino Unido, na revista *Global Environmental Change*, a indústria de mineração é atualmente responsável por aproximadamente 1,7% do consumo final global de energia.

Como apontam os números, a indústria da mineração tem um dos menores índices no consumo energético global, assim como não participa diretamente com grandes fatias nas emissões de gases de efeito estufa. Porém, como qualquer outra atividade econômica, temos o papel de fomentar a redução do consumo de insumos naturais energéticos e das emissões de gases de efeito estufa, compromissos esses que se tornaram globais nos últimos anos.

Sabe-se também que a demanda futura por minerais provavelmente aumentará e, conseqüentemente, o consumo de energia por unidade de massa de mineral extraído também aumentará em virtude dessa demanda. Soma-se a esse fator, a tendência de queda das qualidades dos depósitos minerais, o que leva à necessidade de maior processamento e maior consumo energético para suprir a demanda global por bens minerais.

Em suma, os eventos climáticos têm trazido também ao setor mineral uma série de desafios econômicos e operacionais. A atividade está sendo afetada tanto por impactos financeiros – derivados do compromisso com metas de redução de emissões de GEE – quanto pelas conseqüências dos eventos em si, além da forte especulação e incertezas em relação à disponibilidade e oferta de recursos minerais necessários à transição energética.



Portanto, os desafios da mineração são enormes e constantes, fazendo com que a utilização de processos que incorporem a eficiência energética seja um dos pilares na gestão dos empreendimentos e negócios. Segundo a Agência Internacional de Energia (International Energy Agency – IEA), a eficiência energética é o mecanismo mais barato e imediato para reduzir a dependência de combustíveis fósseis.

Eficiência energética é garantir o bom uso da energia e ao mesmo tempo ter a responsabilidade de investir em tecnologia e inovação para reduzir emissões escopo 1, 2 ou 3, de gases de efeito estufa (GEE). Além disso, é contribuir com uma transição segura para uma economia de baixo carbono.

A Coalition for Eco Efficiency Comminution (CEEC) estima que uma melhoria de 5% na eficiência energética em processos de cominuição na mineração resultaria em uma redução de 30 milhões de t CO<sub>2</sub> e evitaria o consumo de 0,7 kWh por tonelada processada. Reforça-se que, além da busca pelos ganhos ambientais, os projetos relacionados à eficiência energética, assim como outros, devem também ter sua viabilidade econômica e retorno sobre o investimento examinado e avaliado.

O IBRAM, através de diversos estudos desenvolvidos na última década, levantou diversos riscos para o setor mineral em relação às questões climáticas como 1) o aumento da competição por recursos sensíveis ao clima, tais como água e energia; 2) o aumento do custo da energia e da produção de biocombustíveis; 3) a redução da eficiência de equipamentos, exigindo mudanças operacionais, até mesmo influenciando a demanda por serviços específicos; 4) e impactos sobre a infraestrutura crítica relacionada à energia, ao transporte, às telecomunicações e ao fornecimento de água, o que implicaria em consequências negativas à indústria brasileira.

Conhecendo-se tantos desafios, o IBRAM tem estruturado esforços para auxiliar e orientar as empresas do setor mineral por mais resiliência frente ao cenário posto. O lançamento deste Guia concretiza um destes esforços, no sentido de levar para todas as empresas, sejam elas de grande, médio ou pequeno porte, possibilidades adequadas às suas realidades, para melhoria de seus processos produtivos, seja por meio de melhorias diretas de eficiência de equipamentos e processos, seja por melhorias contínuas e transformações de culturas organizacionais de cada companhia.







## APRESENTAÇÃO



A urgência em reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) tornou-se um compromisso global inegável. As atividades industriais, onde se inclui a mineração, como geradoras de GEE, estão profundamente envolvidas para a superação desse desafio. Muito embora o setor mineral seja considerado de baixa emissão, esta indústria desempenha um papel fundamental para o desenvolvimento econômico e social do Brasil e deve estar envolvida diretamente nos esforços nacionais para abreviar os níveis de emissões, uma contribuição necessária para alcançarmos uma economia de baixo carbono.

O Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) reconhece essa urgência de mitigar as emissões setoriais e tem tomado medidas significativas para apoiar seus associados e demais empresas na busca por resultados expressivos.

O Guia de Eficiência Energética IBRAM é uma ferramenta essencial para empresas de mineração que desejam otimizar seus processos e contribuir para um setor mineral mais sustentável. Nesta publicação, empresários e gestores encontrarão informações e conceitos relevantes, tecnologias avançadas e as melhores práticas para alcançar a eficiência energética.

O Guia estimula a busca contínua pela eficiência no uso da energia e na otimização da matriz energética. Essas estratégias não apenas reduzem os custos operacionais, mas também têm reflexos positivos em todo o setor mineral do Brasil.

Ao adotar práticas mais eficientes, as empresas de mineração podem minimizar sua pegada de carbono. Isso atende às demandas globais por sustentabilidade e fortalece a reputação das empresas nos diversos mercados.

A eficiência energética vai além de uma questão ambiental. Abrange questões econômicas, afinal, reduzir o consumo de energia de fontes poluentes e substituí-las por fontes de energia renovável significa minimizar custos operacionais, com reflexos imediatos na lucratividade.

Companhias que adotam práticas eficientes estão mais bem posicionadas para enfrentar desafios, como flutuações nos preços das commodities e



mudanças regulatórias. A eficiência energética é um fator-chave para a resiliência do setor mineral.

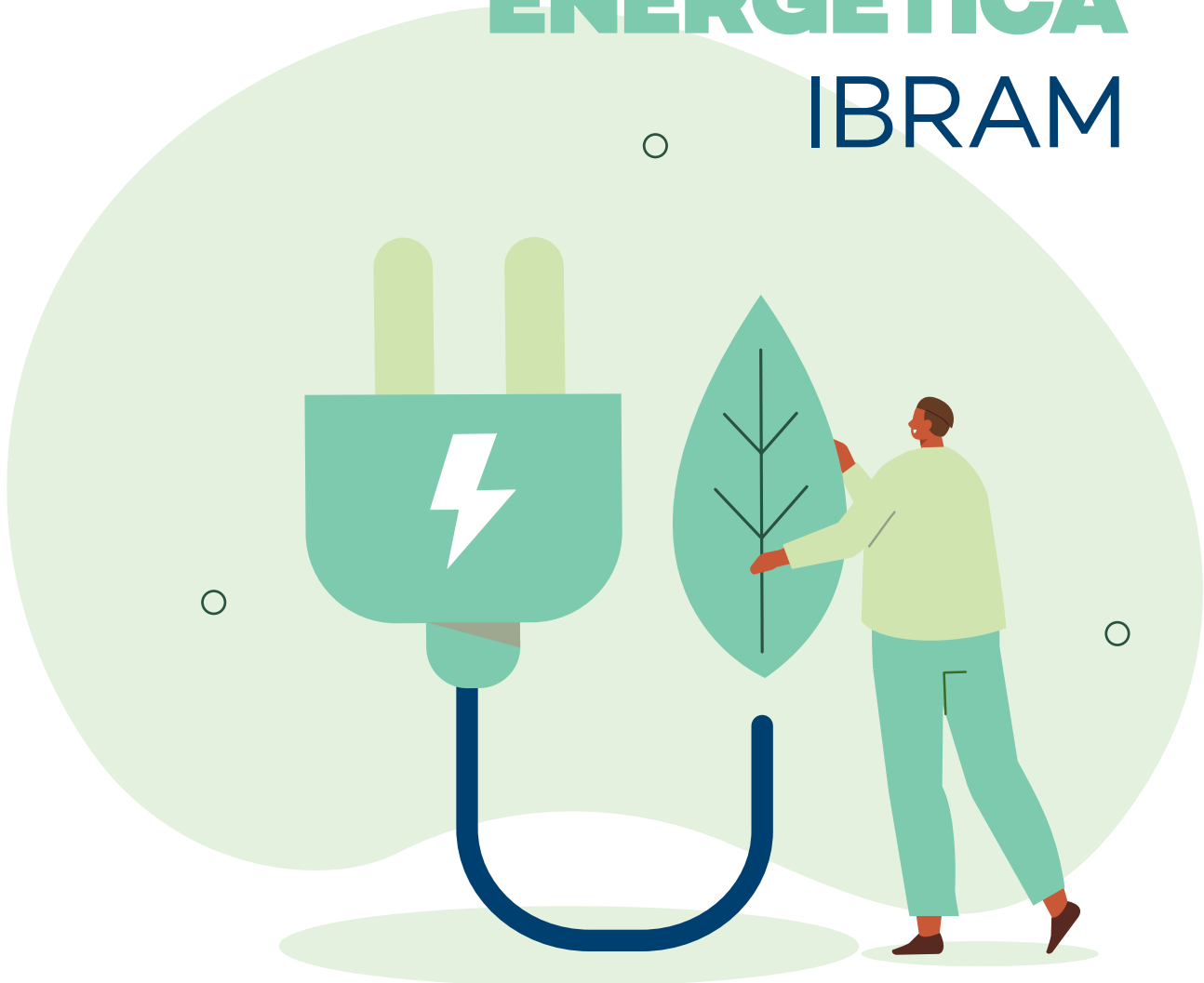
O Guia Eficiência Energética IBRAM é uma ferramenta prática e objetiva, desenvolvida para capacitar as empresas de mineração a alcançar resultados significativos. Sua leitura é altamente recomendada a todos os stakeholders da indústria mineral brasileira. Por meio desta publicação, mais uma vez o IBRAM reforça seu compromisso com a sustentabilidade e a excelência na mineração.

**Raul Jungmann,**

Diretor-Presidente do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM)



# GUIA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA IBRAM





# 01 INTRODUÇÃO

<b>1.1</b>	<b>Sumário Executivo</b>	<b>19</b>
<b>1.2</b>	<b>Contexto da Eficiência Energética no cenário Brasil</b>	<b>19</b>
<b>1.3</b>	<b>Cenário da Eficiência Energética na Mineração</b>	<b>21</b>
<b>1.4</b>	<b>Conceitos</b>	<b>23</b>
1.4.1	Energia	23
1.4.2	Gestão de Energia	24
1.4.3	Eficiência Energética	25
1.4.4	Desperdício, Reutilização e Reciclagem	26
1.4.5	Demanda x Consumo (Energia Elétrica)	26
1.4.6	Relação Watt x Joule x tep	27
1.4.7	Aquecimento Global	30
1.4.8	Efeito Estufa e Gases Gerados	30
1.4.9	Protocolo de Gases do Efeito Estufa (GHG - Protocol)	31
1.4.10	Descarbonização	33
1.4.11	A Norma ABNT NBR ISO 50001	34

## 1.1 Sumário Executivo

A necessidade de redução das emissões de gases de efeito estufa tornou-se, nos últimos anos, um compromisso global. As atividades industriais e minerárias como geradoras desses gases, estão totalmente envolvidas neste grande objetivo, e o IBRAM definiu, como uma de suas ações relevantes, a criação de um GUIA que pudesse suportar, de forma objetiva e prática, os seus associados na busca de grandes resultados.

Por meio deste GUIA, é possível conhecer os fundamentos, conceitos, tecnologias e melhores práticas que apoiarão os associados a obter os resultados desejados.

As metas serão atingidas principalmente por meio da busca da eficiência no uso da energia e a otimização da matriz energética, que deve se tornar cada vez mais sustentável.

O valor agregado por essas ações aos resultados das empresas associadas, serão significativos no aspecto Meio Ambiente, Social e de Governança (*Environmental, Social and Governance* - ESG).

O envolvimento das pessoas e o esforço para criação de uma cultura alinhada com os objetivos citados acima são determinantes para que sejam alcançadas tais metas.

## 1.2 Contexto da Eficiência Energética no cenário Brasil

Eficiência energética se tornou um tema relevante de política pública com os choques internacionais do petróleo na década de 1970. A partir desta crise, foram criadas Leis e programas com objetivo de promover o uso racional de recursos energéticos no país.

A criação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) passou a divulgar informações sobre eficiência energética utilizando etiquetas nos equipamentos. O Programa Nacional de Conservação de Energia (PRO-CEL) e o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET) foram criados para promover o uso



racional de recursos energéticos. Os produtos que apresentam melhores desempenhos energéticos em suas categorias podem receber o Selo PROCEL e o Selo CONPET para aquecedores a gás.

Com a crise da energia elétrica, em 2001, foi criada a Lei de Eficiência Energética que estabeleceu normas mínimas de eficiência. O Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE) passou a elaborar a regulamentação específica para cada tipo de equipamento. A tabela abaixo apresenta exemplos de equipamentos englobados pela regulamentação do PBE.

**Tabela 1 - Exemplo de equipamentos contidos na regulamentação PBE**

<b>PROGRAMAS</b>	<b>MECANISMO</b>	<b>CARÁTER</b>
Bombas centrífugas	Declaração do fornecedor	Compulsório
Condicionadores de ar	Declaração do fornecedor	Compulsório
Edificações comerciais, de serviços e públicos	Inspeção	Voluntário
Motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo - alto rendimento	Declaração do fornecedor	Compulsório
Transformadores para rede de distribuição em Líquido Isolante	Declaração do fornecedor	Compulsório
Veículos leves de passageiros e comerciais leves	Declaração do fornecedor	Compulsório

Fonte: Orientações Gerais para fabricantes e importadores sobre a Regulamentação de produtos no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem 2013 (adaptado pelos autores)

Em 2001, observou-se que a Lei de Eficiência Energética e os programas de etiquetagem alcançaram resultados importantes. A partir dessa informação foi elaborado o Programa Nacional de Eficiência Energética (PNEf) que aborda, entre outros, o **setor industrial**. Dados do Atlas da Eficiência Energética do Brasil 2020, mostram que, de 2005 a 2019, o Brasil ficou 14% mais eficiente energeticamente e o setor industrial com uma melhoria de 7%. Comparando com *European Environment Agency* (EEA), a União Europeia melhorou sua eficiência energética em 10% entre 2005 e 2016 e o setor industrial, uma melhoria de 19%.

Eficiência energética e energias renováveis se tornam uma combinação inevitável para sustentabilidade. Tomando os dados de 2005, o Brasil na COP21 assumiu os compromissos:





**Reduzir emissões de gases de efeito estufa em até 43% até 2030**



**Ampliar para 66% a participação da fonte hídrica na geração de eletricidade**



**Ampliar para 23% a participação de fontes renováveis na geração de energia elétrica (eólica, solar e biomassa)**

Políticas públicas de incentivo à conservação de energia têm sido empregadas em vários países, a fim de reduzir o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa. Os desafios são grandes e a busca pelas oportunidades devem ser planejadas e contabilizadas. Com ações tomadas diariamente por empresas e iniciativas sendo testadas e implantadas, podemos esperar que o índice de eficiência energética cresça junto com as taxas de maior uso de fontes renováveis e sustentáveis.

Os objetivos da conservação da energia, eficiência energética e uso de fontes renováveis são importantes, mas a busca maior é por um **mundo ambientalmente melhor e sustentável**.

### 1.3 Cenário da Eficiência Energética na Mineração

Os desafios da mineração são enormes e constantes. Os altos e voláteis preços dos combustíveis fósseis, a necessidade de redução da emissão dos Gases do Efeito Estufa (GEE), as jazidas com teores mais baixos elevando os custos, as regulamentações governamentais nacionais e internacionais mais exigentes e a demanda por minerais essenciais com mínimo impacto ao meio ambiente tornam necessárias a utilização de processos que incorporem a eficiência energética como um dos pilares na gestão.

“Produzir mais com menos” ou “produzir o mesmo com menos” é poupar dinheiro, ser mais eficiente. O objetivo é reduzir o consumo de energia sem afetar a qualidade do produto ou do serviço. Segundo a Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency* – IEA), a eficiência energética é o mecanismo mais barato e imediato para reduzir a dependência de combustíveis fósseis.



Eficiência energética é garantir o bom uso da energia e, ao mesmo tempo, ter a responsabilidade de investir em tecnologia e inovação para reduzir emissões do escopo 1, 2 e 3, de gases de efeito estufa (GEE). Além disso, contribuir com uma transição segura para uma economia de baixo carbono.

O futuro da mineração está ligado à **descarbonização**, seja com o fornecimento de minerais críticos – matérias-primas essenciais para a geração e armazenamento de energia, seja promovendo o uso de fontes renováveis, implementando estratégias e políticas de eficiência energética em seus processos produtivos. A adequação das indústrias à ABNT NBR ISO 50.001 também orienta a implantação de um Sistema de Gestão de Energia (SGE) para tornar o consumo energético mais eficiente.

O Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) organizou a agenda ESG da Mineração do Brasil, que trata de um conjunto de compromissos e metas que a indústria mineral pretende seguir e reportar à sociedade global, tornando-se ainda mais sustentável, segura, responsável e ética. São doze áreas e temas, sendo “Energia” um deles

Por meio desta Agenda, o IBRAM afirma que o setor estará empenhado em garantir o desenvolvimento, pautado na responsabilidade de suas operações. Como indústria intensiva, a mineração tem o papel de fomentar a redução do consumo de insumos naturais energéticos, por meio de melhoria de eficiência de equipamentos e dos processos produtivos, e planejar o aumento do número de fontes de energia renovável na matriz energética das atividades minerárias. Assim, o tema Energia, por meio de seu Grupo de Trabalho do IBRAM, propõe como compromissos e metas do setor a redução do consumo de insumos naturais energéticos e o aumento do número de fontes de energia renovável conforme mostra a tabela abaixo.

**Tabela 2 - Compromisso e metas propostas pelo IBRAM**

<b>Compromisso</b>	<b>Meta do Setor</b>	<b>Linha de base Energética</b>	<b>Prazo da Meta</b>
Fomentar a redução do consumo de insumos naturais energéticos por meio da melhoria da eficiência de equipamentos e dos processos produtivos	Redução de 5% do consumo específico de energético do setor.	2021	2030
Planejar o aumento do número de fontes de energia renovável na matriz energética das atividades minerárias	Aumento de 15% de fonte renovável na matriz energética do Setor Mineração.	2021	2030





Um exemplo de processo intensivo no consumo de energia é o processo de cominuição, em que podem ser citados os moinhos, os maiores consumidores, seguidos pelos britadores e correias transportadoras. A *Coalition for Eco Efficiency Comminution* (CEEC) estima que uma melhoria de 5% na eficiência energética da cominuição resultaria em uma redução de 30 milhões de t CO<sub>2</sub> e evitaria o consumo de 0,7 kWh por tonelada processada.

Os projetos relacionados à eficiência energética, assim como outros, devem também ter sua viabilidade econômica e retorno sobre o investimento examinado e avaliado. A Taxa Interna de Retorno (TIR) ou *Internal Return Rate* (IRR) é um método utilizado pelas empresas na análise de seus projetos.

Sustentabilidade e finanças devem andar juntas nos desafios da avaliação e aprovação dos projetos. Deve-se considerar a **TIR Verde**<sup>1</sup> ou **Green IRR**, cujos valores não mensuráveis da análise dos investimentos, mesmo que intangíveis, são considerados e avaliados. A TIR Verde deve incorporar as preocupações ambientais, sociais e de governança nas decisões.

Os pilares Ambientais, Sociais e de Governança Corporativa (ESG) fomentam diferentes setores da economia a agir de acordo com princípios sociais. E na mineração não é e não será diferente. A caminhada é longa, mas o setor é promissor. É necessário conscientizar-se das necessidades de mudança, adaptar processos e estar alinhado com a busca por uma sociedade mais sustentável, igualitária e transparente.

## 1.4 Conceitos



### 1.4.1 Energia

A energia é uma grandeza física abstrata que se relaciona com a capacidade de produzir ação e ou movimento que poderia ser expressa em diversas formas.

**1. Energia potencial:** é o nome dado à forma de energia que está armazenada e que se pode manifestar a qualquer momento.

---

**1** TIR Verde: o conceito de TIR Verde está sendo proposto neste Guia para estimular as equipes a buscar todos os ganhos resultantes (tangíveis e intangíveis). Detalhes no Anexo 7.1.1.



- 2. Energia química:** é um tipo de energia potencial armazenada nas ligações químicas, que é libertada na quebra destas ligações. Pode ser percebida, por exemplo, em uma combustão.
- 3. Energia nuclear:** é a energia produzida nas centrais termonucleares, sendo libertada em processos de transformação de núcleos atômicos.
- 4. Energia mecânica:** é a soma da energia cinética com as energias potenciais de um sistema físico. Em um sistema conservativo, em que não há atrito, a energia mecânica é conservada.
- 5. Energia térmica:** é a energia contida em corpos acima da temperatura do zero absoluto. Quando esta é transferida para outro corpo, chamar-se-á calor.
- 6. Energia elétrica:** também chamada energia potencial elétrica, esta surge a partir das diferenças de potencial elétrico, que permite estabelecer uma corrente elétrica entre dois pontos.

Consideramos energias renováveis aquelas que possuem a capacidade de reposição natural. São exemplos do nosso cotidiano a luz do sol, a energia dos ventos e da água. Por outro lado, as fontes não renováveis são finitas e formadas por recursos limitados do planeta. Exemplos do nosso cotidiano são o petróleo, seus derivados e o carvão.

Pressões para reduzir o consumo de energia e torná-la mais sustentável, são cada vez mais destacadas na sociedade e a indústria da mineração está totalmente comprometida com esta missão.



## 1.4.2 Gestão de Energia

A gestão de energia refere-se ao processo de otimização do consumo de energia em diversos processos. Envolve a análise, monitoramento e controle do uso da energia para maximizar a eficiência e minimizar os custos.

As principais estratégias e técnicas que podemos utilizar na gestão energética, são as seguintes:

- 1. Auditorias Energéticas:** avaliação detalhada do consumo de energia para identificar áreas de desperdício e oportunidades de melhoria.



## 2. Implementação de Tecnologias Eficientes.

**3. Monitoramento e Controle:** uso de sistemas de monitoramento em tempo real para rastrear o consumo de energia e identificar padrões de uso, permitindo ajustes para otimização.

**4. Gestão de Demandas:** estratégias para gerenciar picos de demanda de energia.

De acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) – estatal ligada ao Ministério de Minas e Energia –, o setor industrial brasileiro responde hoje por pouco mais de 30% de todo o consumo energético do país. Essa fatia inclui combustíveis, gás natural, eletricidade e biomassa. Em relação a eletricidade, especificamente, as indústrias demandam 35%. Ela também estima que até 2031 seria possível avançar e reduzir para 32% o consumo energético geral da indústria. Em energia elétrica, por exemplo, o potencial de economia chega a 32 TeraWatts/hora (TWh), o que equivale ao volume de geração de eletricidade da parte brasileira da usina hidrelétrica de Itaipu, a segunda maior do mundo em capacidade instalada (14 GW).

Uma gestão de energia eficaz é a principal estratégia para abatimento de carbono em cenários globais e deve sempre abordar os aspectos comportamentais do ambiente em análise. Atualmente a Gestão de Energia no mundo tem como referência a norma ABNT NBR ISO 50001 - 2018. (vide item 1.4.11)



### 1.4.3 Eficiência Energética

A norma ABNT NBR ISO 50001 - 2018 define Eficiência Energética como sendo a razão ou outra relação quantitativa entre uma saída de **desempenho**<sup>2</sup>, serviços, produtos, commodities ou energia e uma entrada de energia.

Como exemplo, podemos citar a eficiência de conversão como energia requerida / energia consumida.

---

**2** Desempenho é um resultado mensurável e pode ser relacionado a constatações quantitativas e às qualitativas. Ele pode se relacionar à gestão de atividades, processos, produtos, sistemas ou organizações.



Processos eficientes normalmente utilizam a prática de melhoria contínua, que nada mais é que a busca ininterrupta do aprimoramento (de processos, de produtos, de serviços, de resultados).



#### 1.4.4 **Desperdício, Reutilização e Reciclagem**

O **Desperdício** de energia é o uso ineficiente desta e pode ter diversas causas, entre elas:

- Dimensionamento inadequado de um consumidor (equipamento ou instalação que consuma qualquer tipo de energia);
- Uso inadequado do consumidor;
- Falta de manutenção do consumidor;
- Tecnologia ultrapassada e inadequada do consumidor;
- Operação inadequada do consumidor;
- Registro inadequado do consumo.

A **Reutilização** de energia colabora significativamente para melhoria do desempenho energético. Na indústria normalmente nos processos térmicos estão as maiores oportunidades (fornos, compressores, caldeiras, etc.).

A **Reciclagem** de energia consiste em aproveitar resíduos de processos para geração de energia térmica ou elétrica

#### 1.4.5 **Demanda x Consumo (Energia Elétrica)**

A **Demanda** energética é o que se espera de consumo para determinado período e medida em kW ou MW. O **Consumo** energético é o montante utilizado ao longo do tempo, medido em kWh ou MWh.

Nos contratos de fornecimento de energia, a demanda é o montante “reservado” pelo fornecedor para aquele consumidor. O valor da demanda faturada será o maior entre o valor contratado e o registrado no ciclo



de leitura. Ele é o resultado de uma integração de consumo medido durante 15 minutos.

Existe tolerância de 5% para ultrapassagens, e o valor da multa onera a fatura. Diversas soluções de automação estão disponíveis para limitar a demanda nos valores contratados, o que é sempre recomendado para evitar aumento desnecessário do R\$/kWh faturado.



#### 1.4.6 Relação Watt x Joule x tep

Joules e Watts são unidades de medidas muito utilizadas no assunto eficiência energética. Fazem parte do sistema métrico internacional, que é usado em muitos países. O Joule é uma unidade para estimar a energia, o trabalho e a quantidade de calor. O Watt é utilizada para potência ou fluxo de energia.

A potência de um equipamento está relacionada com a capacidade de realização de trabalho em uma determinada quantidade de tempo. Em outras palavras, seria quanto trabalho uma força é capaz de realizar em uma determinada quantidade de tempo. A equação abaixo mostra a relação entre as unidades watt e Joule.

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$$

#### ■ CONVERSÃO DE WATT EM JOULE

Watt corresponde à potência do equipamento e Watt-hora corresponde à energia consumida pelo equipamento.

$$1 \text{ [Wh]} = 1 \text{ [W]} \times 3600 \text{ [s]} \text{ então } 1 \text{ [Wh]} = 3600 \text{ [Ws]}$$

Sabemos que  $1 \text{ [Ws]} = 1 \text{ Joule}$ , portanto  **$1 \text{ Wh} = 3600 \text{ Joules}$**

- Exemplos

Uma carga resistiva de 100 Watts ligada por 2 horas. Consumo de 200 Watt-hora (Wh).

$$\text{Energia [Wh]} = \text{Potência [W]} \times \text{tempo [h]}$$



Energia [Wh] = 100 [W] x 2 [h]

$$\mathbf{E = 200 Wh \text{ ou } 0,2 kWh}$$

Temos, então, 2 horas que correspondem a 7.200 segundos, portanto:

$E = 100 [W] \times 7.200 [s]$

$$\mathbf{E = 720.000 Ws = 720.000 Joules}$$

Uma carga de 600 Watts funcionando 1 minuto, que são 60 segundos:

$E [J] = 600 [W] \times 60 [s]$

$$\mathbf{E [J] = 36.000 Joules}$$

Voltando na mesma equação acima:

$E [Wh] = 36.000 [J] / 3.600 [s]$

$$\mathbf{E [Wh] = 10 Wh}$$

Convertendo o Joule em Watt-hora [Wh]:

$$\mathbf{J = W / s = W / 3.600s = 0,0002777778 Wh = 0,000000277778 kWh}$$

Utilizando os 36.000 Joules do exemplo anterior:

$$\mathbf{36.000 [J] = 10 [Wh] = 0,010 [kWh]}$$

Essas unidades são muito utilizadas nos trabalhos de eficiência e conservação de energia. O kWh é mais usual para a energia elétrica por razões práticas conforme verificado nos exemplos acima. As contas de energia das concessionárias fornecedoras dos estados trabalham em kWh.



## TEP – TONELADAS EQUIVALENTES DE PETRÓLEO

São unidades de energia utilizadas para comparar o poder calorífico de diferentes formas de energia com o petróleo. Pode ser verificada frequentemente nos balanços energéticos nacionais, o que significa que as demais energias são convertidas em toneladas de petróleo para que o poder calorífico de cada uma possa ser analisado e comparado a de forma simplificada.

Uma tep equivale a 41,868 GJ (GigaJoules) ou 11,630 MWh (MegaWatt-hora). Para comparar medidas, é necessário que elas estejam nas mesmas unidades e se tornam necessárias as conversões entre as unidades. A tabela abaixo apresenta fatores para a conversão entre as unidades mais usuais para eficiência energética e balanços de energia.

**Tabela 3 - Fatores de conversão de energia**

Multiplicar	Para					
De	Joule [J]	British Thermal Unit [BTU]	Caloria [cal]	Quilowatt-hora [kWh]	Ton. Equivalente de Petróleo [tep]	Barril Equivalente de Petróleo [bep]
Joule [J]	1	$947,8 \times 10^{-6}$	0,2388	$277,8 \times 10^{-9}$	$2,388 \times 10^{-11}$	$1,681 \times 10^{-10}$
British Thermal Unit [BTU]	$1,055 \times 10^3$	1	252	$293,07 \times 10^{-6}$	$2,52 \times 10^{-8}$	$1,776 \times 10^{-7}$
Caloria [cal]	4,1868	$3,968 \times 10^{-3}$	1	$1,163 \times 10^{-6}$	$10^{-10}$	$7,042 \times 10^{-10}$
Quilowatt-hora [kWh]	$3,6 \times 10^6$	3412	$860 \times 10^3$	1	$8,598 \times 10^{-5}$	$6,061 \times 10^{-4}$
Ton. Equivalente de Petróleo [tep]	$41,868 \times 10^9$	$39,68 \times 10^6$	$10^{10}$	$11,63 \times 10^3$	1	7,0369
Barril Equivalente de Petróleo [bep]	$5,95 \times 10^9$	$5,63 \times 10^6$	$1,42 \times 10^9$	$1,65 \times 10^3$	0,1421	1

Fonte: Anexo VIII.5 Balanço Energético – Empresa de Pesquisa Energética EPE (adaptado pelo autor)





### 1.4.7 Aquecimento Global

O aquecimento global é o aumento das temperaturas médias do planeta ao longo dos últimos tempos, o que, em tese, é causado pelas práticas humanas (desmatamento, uso de combustíveis fósseis) – embora existam discordâncias quanto a isso no campo científico. A intensificação do efeito estufa, fenômeno natural responsável pela manutenção do calor na Terra, causa temperaturas mais altas, tempestades mais severas, aumento da seca, oceano cada vez maior e mais quente, perda de espécies e aumento dos riscos à saúde.

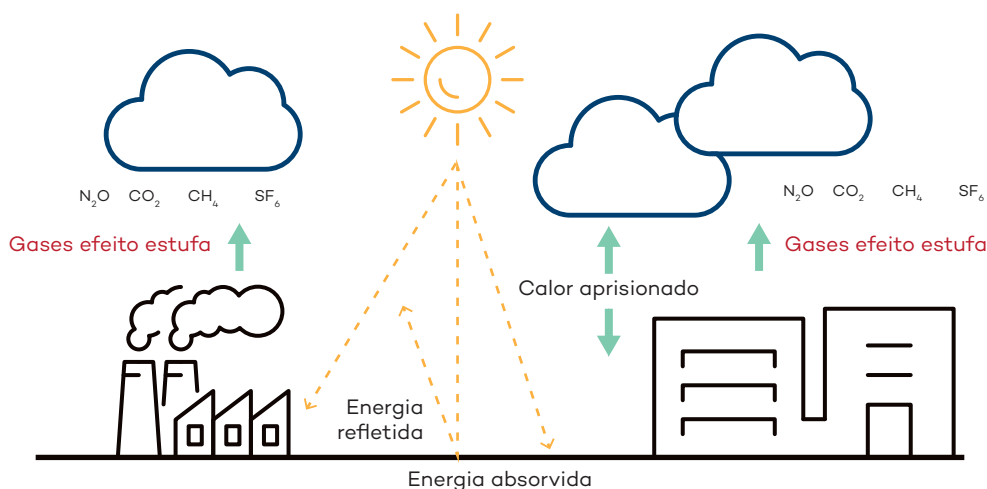


### 1.4.8 Efeito Estufa e Gases Gerados

O efeito estufa é um fenômeno natural de extrema importância para a existência de vida na Terra. É responsável por manter as temperaturas médias globais, evitando que haja grande amplitude térmica e possibilitando o desenvolvimento dos seres vivos.

Esse fenômeno, no entanto, tem sido agravado pela ação antrópica, que tem elevado as emissões de gases de efeito estufa à atmosfera, provocando alterações climáticas em todo o planeta. Essa grande concentração de gases dificulta que o calor seja devolvido ao espaço, aumentando, conseqüentemente, as temperaturas do planeta.

**Figura 1 - Gases do Efeito Estufa (adaptado pelos autores)**





Os principais gases de efeito estufa são o dióxido de carbono, o metano e o óxido nitroso.

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é responsável por cerca de 60% do efeito estufa e é proveniente da queima de combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo e seus derivados, turfa). Perdura na atmosfera por até 1000 anos.

O metano (CH<sub>4</sub>) representa 15 a 20 % dos gases de efeito estufa e é gerado nos processos relacionados aos combustíveis fósseis, atividades agrícolas e de pecuária e nos aterros de resíduos urbanos. Perdura na atmosfera por até 10 anos.

Já o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) tem sua geração ligada à aplicação de fertilizantes no solo e perdura na atmosfera por até 120 anos. Representa em torno de 6% dos gases de efeito estufa.



1.4.9

## Protocolo de Gases do Efeito Estufa (GHG - Protocol)

O GHG Protocol é uma parceria de negócios entre partes interessadas: ONG's, governos e outras entidades, reunidos pelo WRI (*World Resources Institute*) e pelo WBCSD (*World Business Council for Sustainable Development*).

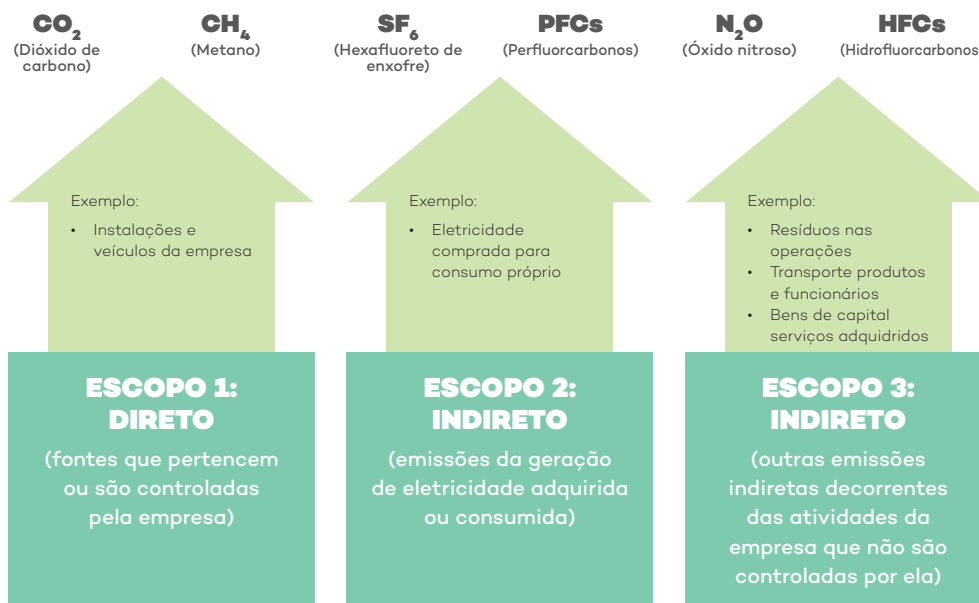
Teve início em 1998 com o objetivo de desenvolver normas internacionalmente aceitas para monitoração e comunicação das emissões de GEEs e promover sua aceitação global.

Por sua vez, o Programa Brasileiro GHG Protocol (<https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol>) foi criado em 2008 e é responsável pela adaptação do método GHG Protocol ao contexto brasileiro e desenvolvimento de ferramentas de cálculo para estimativas de emissões de gases do efeito estufa (GEE). Foi desenvolvido pelo FGV (Fundação Getúlio Vargas) e WRI, em parceria com o Ministério do Meio Ambiente, Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), o WBSCD e 27 Empresas Fundadoras.

Atualmente este método é utilizado pela maioria das empresas brasileiras com o objetivo de monitorar e comunicar ao mercado suas emissões de GEEs. Este método divide as emissões em três grupos distintos.



**Figura 2 - Fontes associadas aos escopos e os GEE**



• **EMISSÕES DE ESCOPO 1**

São as **emissões diretas** liberadas para a atmosfera como resultado das operações da própria empresa. Todos os combustíveis que produzem emissões de gases de efeito estufa devem ser incluídos no escopo 1, a combustão dos veículos pertencentes ou controlados pela empresa, por exemplo.

• **EMISSÕES DE ESCOPO 2**

São as **emissões indiretas**, provenientes da energia elétrica adquirida para uso da própria companhia. Ou seja, todas as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera a partir do consumo de eletricidade, vapor, calor e refrigeração entram no escopo 2.

• **EMISSÕES DE ESCOPO 3**

São todas as **emissões indiretas não incluídas no escopo 2** que ocorrem na cadeia de valor da empresa. Em outras palavras, são emissões ligadas às operações da companhia, como matéria-prima adquirida, viagens de negócios e deslocamento dos colaboradores, descartes de resíduos, transporte e distribuição.

Ainda que o escopo 3 não seja obrigatório, para muitas empresas, a maior parte das emissões de gases de efeito estufa e oportunidades de redução de custos estão fora de suas operações.



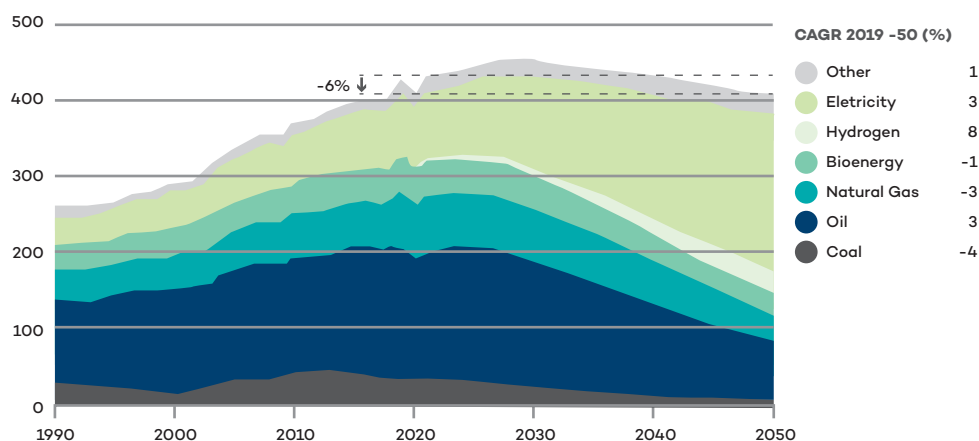


### 1.4.10 Descarbonização

As ações para redução do efeito estufa são conhecidas e passam principalmente pela redução da queima de energia fóssil, ou seja, uma alteração na matriz energética, uma das motivações deste manual.

No gráfico abaixo, podemos verificar uma projeção mundial da redução do uso de fontes não renováveis (carvão, óleo e gás natural) e um aumento do uso de fontes limpas.

**Gráfico 1 – Previsão do uso de fontes de energia (milhões de TJ)**



Fonte: Global Energy Perspective 2023 - McKinsey

As ações em andamento no Brasil já trazem resultados importantes e têm como causa a entrada de fontes renováveis (eólicas e solares) no SIN (Sistema interligado Nacional). Segundo o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, em 2023, a taxa de emissão de dióxido de carbono foi a menor desde 2012. Foram 38,5 kg de CO<sub>2</sub> para cada MWh gerado.

A otimização de processos de lavra e beneficiamento significam redução da quantidade de estéreis extraídos, o que minimiza a quantidade de materiais que serão movimentados – menos transporte, menos combustível. No beneficiamento, temos a otimização de circuitos de cominuição – maior controle de tamanho de partículas, conseqüentemente mais eficientes energeticamente.

Na mineração, a descarbonização passa por diversos grupos de ações, tais como:



1. Consumo de energia elétrica com certificado internacional, conhecido como I-REC (*International Renewable Energy Certificate*) disponível no mercado brasileiro;
2. Redução do consumo específico por equipamentos e processos consumidores de combustíveis fósseis por meio de manutenção preventiva adequada;
3. Uso de biocombustíveis em equipamentos que suportam esta mudança. Neste caso, podem-se utilizar misturas compatíveis com o equipamento;
4. Busca de eficiência na utilização de energia elétrica adotando as melhores práticas do mercado (automação de processos, uso de inversores de frequência, monitoramento *online* do consumo dos consumidores significativos, dentre outras).

Algumas tecnologias disruptivas em desenvolvimento contribuirão em breve para a descarbonização:

5. Eletrificação de equipamentos que utilizam combustíveis fósseis. Caminhões e escavadeiras que consomem óleo diesel estariam neste conjunto, porém sabe-se que a tecnologia para eletrificação de frotas é ainda incipiente e em estágio experimental. Atualmente o mercado projeta para 2030 a possibilidade de disponibilização ampla de tecnologias confiáveis com custo compatível no mercado;
6. Uso de hidrogênio verde (produzido com energia limpa e sustentável) na matriz energética. Esta tecnologia ainda é incipiente e com custo inviável no momento. O mercado projeta para 2035 a possibilidade de disponibilização ampla desta tecnologia com custo compatível, no mercado.



## 1.4.11 A Norma ABNT NBR ISO 50001

Até 2007, no mundo, existiam apenas normas locais ou regionais que trabalhavam os conceitos da Gestão de Energia. Neste ano, a UNIDO (Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial) identificou a necessidade de uma norma internacional sobre Gestão de Energia.

Em 2009, Brasil e USA assumiram a liderança internacional do desenvolvimento da ABNT NBR ISO 50001 - 2018, que teve sua primeira versão publicada em 2011 com participação de 50 países e a última em 2018.



### 1.4.11.1 O que é a ABNT NBR ISO 50001 - 2018

Define requisitos do Sistema de Gestão da Energia (SGE) e utiliza diretrizes de melhoria contínua largamente conhecidas no mercado (PDCA). Ela também formaliza a política e objetivos energéticos de uma corporação e cria planos de monitoramento de energia, bem como atividades de análise de energia.

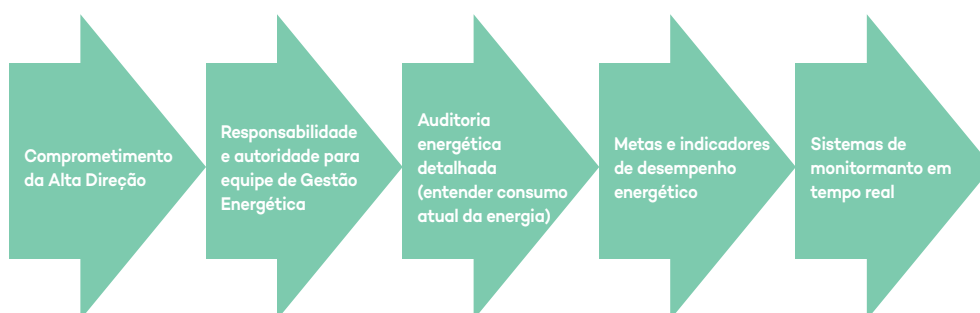
### 1.4.11.2 Por que implantar esta norma

O principal objetivo é reduzir custos e a emissão de gases de efeito estufa (GEEs). Ela melhora o desempenho energético e pode ser implantada por qualquer empresa que utiliza energia. Pode facilitar a obtenção de financiamento voltado à modernização do processo produtivo.

### 1.4.11.3 Como implantar esta norma

Implementar um sistema de gestão da energia envolve uma abordagem holística e sistemática. A figura abaixo mostra as principais etapas para implementar o sistema de forma eficaz:

**Figura 3 - Principais etapas para implementar o sistema**



1. O primeiro passo é garantir o comprometimento da alta administração da organização;
2. A Alta Direção deve atribuir responsabilidade e autoridade para equipe de Gestão Energética;



3. Realizar uma auditoria energética detalhada para entender o consumo atual de energia da organização e identificar áreas de desperdício e oportunidades de melhoria;
4. A Organização deve estabelecer Metas e Indicadores de Desempenho Energético (IDE's). Devem ser metas claras e mensuráveis de economia de energia;
5. Implementar sistemas de monitoramento em tempo real para acompanhar o consumo de energia.

#### 1.4.11.4 Principais desafios para implantação da Norma

A implementação de uma norma de gestão da energia pode enfrentar diversos desafios, desde questões técnicas e financeiras até resistência cultural. Seguem alguns dos principais desafios que as organizações podem enfrentar ao implementar a gestão da energia:

1. Falta de conscientização e **comprometimento**;
2. A falta de sistemas adequados de medição e monitoramento do consumo de energia;
3. Estabelecimento de Metas e Indicadores de Desempenho Energético (IDE's) representativa.

#### 1.4.11.5 Importância da Alta Direção

O propósito da **ABNT NBR ISO 50001 - 2018** é permitir que as organizações estabeleçam os sistemas e processos necessários para melhorar continuamente o desempenho energético, incluindo a eficiência energética, o uso e o consumo da energia.

A norma especifica os requisitos de um Sistema de Gestão da Energia (SGE) para uma organização. A implementação bem-sucedida de um SGE suporta uma cultura de melhoria do desempenho energético, que depende do comprometimento de todos os níveis da organização, especialmente da Alta Direção.

Entende-se como Alta Direção pessoa ou grupo de pessoas que dirigem ou controlam uma organização no nível mais alto, sendo que ela tem o



poder de delegar autoridade e prover recursos na organização. Ela deve também demonstrar liderança e comprometimento em relação à melhoria contínua de seu desempenho energético e da eficácia do SGE. Em muitos casos, isto envolve mudanças culturais dentro da organização.

#### 1.4.11.6 Política energética

É função da Alta Direção estabelecer uma política energética que deve proporcionar:

- Aderência ao propósito da organização;
- Estrutura para o estabelecimento e análise crítica dos objetivos e metas energéticas;
- Comprometimento em assegurar a disponibilidade de informações e recursos necessários para alcançar objetivos e metas energéticas;
- Comprometimento em satisfazer requisitos legais aplicáveis à eficiência energética, uso da energia e consumo da energia;
- Comprometimento com a melhoria contínua do desempenho energético e do SGE;
- Apoio à aquisição de produtos e serviços energeticamente eficientes que impactem o desempenho energético;
- Apoio às atividades de projeto que considerem a melhoria do desempenho energético.

#### **A POLÍTICA ENERGÉTICA DEVE:**



- Estar disponível como informação documentada;
- Ser comunicada dentro da organização;
- Estar disponível para as partes interessadas;
- Ser periodicamente analisada de forma crítica e atualizada quando necessário.





#### 1.4.12 TSM (Towards Sustainable Mining)

Estabelecido pela primeira vez pela *Mining Association of Canada* (<https://mining.ca>) em 2004, o TSM foi o primeiro padrão de mineração no mundo a exigir relatórios em nível local com verificação externa. O programa é obrigatório para todas as empresas integrantes de associações implementadoras.

Um órgão consultivo independente supervisiona todos os aspectos do programa TSM. Indivíduos e grupos interessados também podem comentar sobre os projetos de políticas e protocolos do TSM durante os períodos de comentários públicos.

Todos os anos, as minas utilizam o TSM para reportar 9 protocolos (<https://mining.ca/towards-sustainable-mining/protocols-guides/>) com 34 indicadores de desempenho social e ambiental. Verificadores externos qualificados analisam e confirmam estes resultados a cada três anos.

O programa produziu um documento (TSM PRIMER) que detalha o funcionamento do programa e fornece também um curso de graduação online (<https://mining.ca/towards-sustainable-mining/training/>) para aqueles que se interessarem em aprofundar os conhecimentos neste tema.

Especial atenção deve ser dada ao Protocolo 8 (*Climate Change*), que objetiva apoiar as empresas mineradoras na gestão dos seus riscos e oportunidades relacionados com o clima, incluindo estratégias de mitigação e adaptação, definição de metas e relatórios, bem como indicadores relacionados a Mudanças Climáticas.

O protocolo aborda compromissos corporativos, governança e processos de gestão, sistemas para gerenciar energia, desempenho energético, emissões de GEE, entre outros.

Embora o TSM tenha começado como uma iniciativa da Associação Mineira do Canadá (MAC) em 2004, desde então tem sido adotado por associações de mineradoras em todo o mundo, inclusive o IBRAM no Brasil, que tem um programa de implantação em andamento. Os protocolos e acompanhamento dos trabalhos podem ser verificados no site do IBRAM, no link <https://www.ibram.org.br/tsm/>







## 02 METODOLOGIA APLICADA EM DIAGNÓSTICOS ENERGÉTICOS

<b>2.1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>40</b>
<b>2.2</b>	<b>Metodologia</b>	<b>41</b>
<b>2.3</b>	<b>Execução passo a passo de um Diagnóstico Energético</b>	<b>41</b>
2.3.1	Pré-requisitos	41
2.3.2	Fluxograma para execução de um Diagnóstico Energético	42
2.3.3	Planejamento do Diagnóstico Energético (P – Plan – Planejar)	42
2.3.4	Levantamento de dados (D – Do – Fazer)	43
2.3.5	Reunião de abertura (D – Do – Fazer)	44
2.3.6	Condução da visita ao local (D – Do – Fazer)	44
2.3.7	Análise (C – Check – Avaliar)	45
2.3.8	Elaboração do Relatório do Diagnóstico Energético (A – Act – Agir)	46
2.3.9	Reunião de encerramento (A – Act – Agir)	47

## 2.1 Objetivos

Um diagnóstico energético abrange uma análise detalhada do desempenho energético de uma organização ou processo(s). É baseado em medição e observação apropriadas do uso de energia, da eficiência energética e do consumo. Ele fornece uma visão detalhada do consumo de energia, identifica áreas de desperdício e ineficiência, e propõe medidas para melhorar a eficiência energética e reduzir os custos.

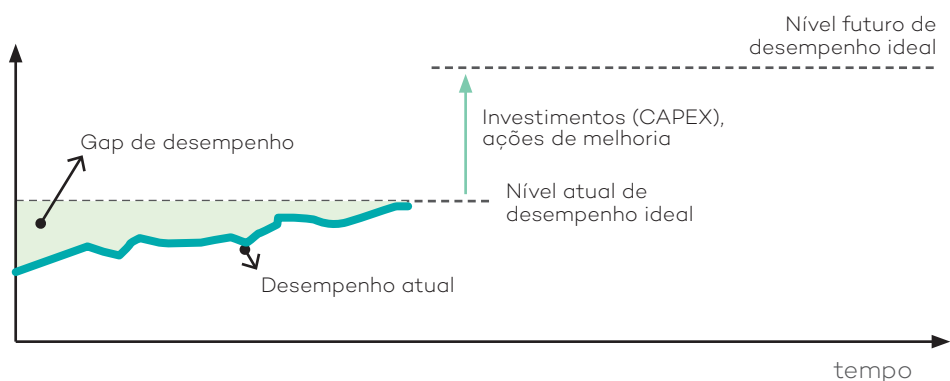
Principais objetivos de um diagnóstico energético:

- Identificar oportunidades de economia de energia;
- Identificar Fontes de Desperdício de Energia e redução da pegada de carbono;
- Estabelecer Metas de Eficiência Energética;
- Desenvolver um Plano de Ação

Como ilustrado no gráfico abaixo, ganhos de desempenho podem ser alcançados por:

1. Otimização da operação dos ativos (planta, instalações, equipamentos) o mais próximo possível do nível atual de desempenho ideal;
2. Realização de investimentos de modernização, efficientização, ou mesmo substituição dos principais ativos e verificação dos ganhos obtidos.

**Gráfico 2 - Evolução típica do desempenho com implantação de programa de eficiência energética**



## 2.2 Metodologia

A Norma **ABNT NBR ISO 50002:2014** (Diagnósticos energéticos – Requisitos com orientação para o uso) é reconhecida internacionalmente e tornou-se uma referência para consumidores de energia de diversas magnitudes.

O Diagnóstico Energético demanda um esforço para identificação de oportunidades e ações de melhoria sobre as práticas e ferramentas existentes para gestão de energia na corporação e torna-se um importante suporte durante as tomadas de decisão. Deve-se notar que ele segue a metodologia PDCA, largamente utilizada no gerenciamento da rotina.

## 2.3 Execução passo a passo de um Diagnóstico Energético



### 2.3.1 Pré-requisitos

Os profissionais envolvidos na condução do Diagnóstico Energético devem ter as seguintes habilidades:

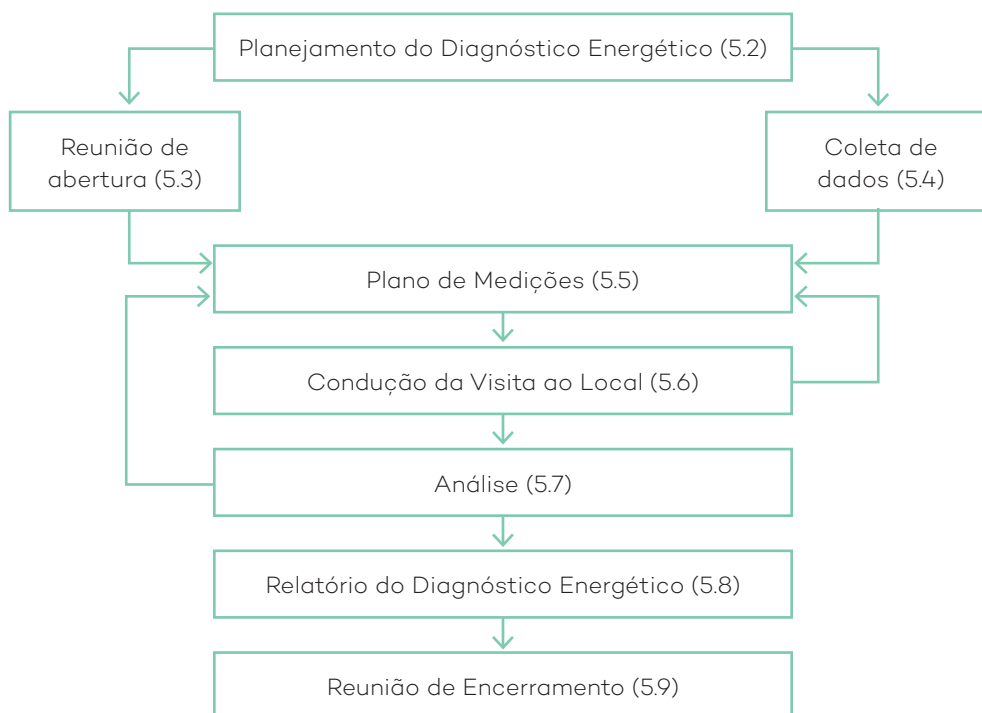
- Educação e/ou formação adequada para a atividade;
- Experiências e habilidades técnicas e profissionais relevantes na área de energia;
- Familiaridade com os usos da energia em questão;
- Conhecimento da Norma ABNT NBR ISO 50002 - 2014;
- O membro designado como líder deve ter as habilidades para gerenciar e liderar a equipe envolvida no diagnóstico.





### 2.3.2 Fluxograma para execução de um Diagnóstico Energético

**Figura 4** - Fluxograma para execução de Diagnóstico Energético conforme ABNT ISO 50002- 2014



### 2.3.3 Planejamento do Diagnóstico Energético (P – Plan – Planejar)

- a. Definir a equipe participante e um líder;
- b. Definir o representante da empresa a quem o líder deve se reportar e apresentar o relatório do diagnóstico;
- c. Definir o escopo, fronteira e objetivos do diagnóstico;
- d. Definir o cronograma do diagnóstico de energia;
- e. Definir os recursos necessários;



- f.** Definir os critérios para avaliar e priorizar oportunidades de melhoria do desempenho energético (ex.: ações sem investimentos, maior payback, maior redução de energia etc.);
- g.** Definir os dados que devem ser disponibilizados (dados de consumo, KPIs, manuais, desenhos, padrões operacionais etc.) necessários para realização da análise;
- h.** Informar à área envolvida o objetivo do diagnóstico e validar o cronograma proposto;
- i.** Verificar a necessidade de acompanhamento para prover acesso e servir como guia na visita à área;
- j.** Providenciar a permissão para o trabalho e outras obrigações, conforme as normas da empresa;
- k.** Convocar a reunião de abertura.



2.3.4

### Levantamento de dados (D – Do – Fazer)

Capturar todas as informações prévias necessárias para a execução do diagnóstico, tais como:

- a.** Garantir que o processo de coleta, validação e análise de dados seja rastreável;
- b.** Elaborar a matriz energética do escopo definido;
- c.** Elaborar o gráfico Pareto de consumo dos maiores ofensores de energia;
- d.** Conhecer o consumo histórico das cargas significativas;
- e.** Relacionar os medidores disponíveis;
- f.** Planejar medições temporárias para suprir a deficiência de dados disponíveis;
- g.** Conhecer os diagnósticos de energia anteriores;



- h.** Elaborar relação das variáveis relevantes (aquelas que influenciam o consumo energético) dos processos com consumo significativo de energia;
- i.** Conhecer os preços dos contratos de compra de energia atualizados;
- j.** Conhecer planos futuros que possam afetar o desempenho energético;
- k.** Conhecer como a organização gerencia seu uso e consumo de energia;



### 2.3.5 **Reunião de abertura (D – Do – Fazer)**

Objetiva informar o início dos trabalhos e verificar a existência de algum fato novo que altere o cronograma proposto. Devem participar da reunião:

- a.** Representante da empresa;
- b.** Equipe de execução do diagnóstico;
- c.** Representante da(s) área(s) a ser(em) diagnosticada(s).



### 2.3.6 **Condução da visita ao local (D – Do – Fazer)**

Durante o trabalho de campo, a equipe envolvida deve:

- a.** Verificar existência de alguma evidência de energia perdida (vazamentos, equipamento ligado sem necessidade, etc.);
- b.** Compreender o impacto das rotinas e do comportamento do usuário no consumo de energia;
- c.** Constatar oportunidades relativas a mudanças de tecnologia ou operacionais possíveis;
- d.** Verificar os padrões operacionais no que tange a aspectos relacionados ao uso da energia;



- e. Listar áreas e processos para os quais serão necessários dados adicionais;
- f. Certificar que os dados históricos representam uma operação normal;
- g. Informar ao representante da empresa sobre dificuldades inesperadas ocorridas.



### 2.3.7 **Análise** **(C – Check – Avaliar)**

Análises, verificações e estudos devem ser realizados com o objetivo de aumentar a eficiência do uso da energia, observando os seguintes aspectos:

- a. Levar em consideração ações futuras já planejadas pela empresa e que possam ter impacto nas oportunidades de melhoria de desempenho energético (alterações de processo, desativação de unidades, etc.);
- b. Verificar e avaliar o desempenho energético do uso de energia atual dentro do escopo acordado, que fornece as bases para avaliar as melhorias;
- c. Analisar a relação entre desempenho energético e as variáveis relevantes do processo em análise;
  - Variáveis relevantes são parâmetros quantificáveis que impactam o consumo de energia, tais como, condições climáticas, parâmetros de funcionamento (temperatura interior ou nível de luz), o horário de trabalho, a produção, taxa de transferência e outros. Como exemplo na mineração, pode-se citar que, em um moinho, o consumo específico do motor em kWh/t é impactado por diversas variáveis relevantes, como dureza do minério, nível de umidade ou volume do corpo moedor, entre outros.
- d. Comparar o desempenho energético registrado com processos similares e com novas tecnologias do mercado, quando aplicável;
  - Exemplo: Mina 1 – minério de ferro, 10 Mtpa, dureza do minério (Work Index WI) 9 kWh/t e Mina 2 – minério de ferro, 15 Mtpa, WI 11,5 kWh/t. Empresa 1 com consumo de 16 kWh/t e empresa 2 com 18 kWh/t. KPIs devem ser utilizados somente quando se conhecem as informações que o compõe. Recomenda-se cuidados ao analisar performance energética e benchmarking ao comparar dados.
- e. Avaliar os indicadores existentes objetivando criticá-los com relação à adequabilidade (correlação entre variáveis, significância para o processo);



- f.** Verificar sua própria expertise e competência para a análise em questão;
- g.** Verificar a vida útil, condições de operação e nível de manutenção dos equipamentos/ instalação contempladas no diagnóstico;
- h.** Verificar nível de obsolescência da tecnologia atualizada;
- i.** Verificar se estão sendo observadas as melhores práticas, incluindo controles e comportamentos operacionais;
- j.** As oportunidades de melhoria devem ser avaliadas levando em consideração:
  - Economia de energia durante o tempo acordado ou durante a vida útil de operação;
  - Economia financeira esperada para cada oportunidade;
  - Investimentos necessários para implantar a alteração;
  - Critérios econômicos acordados;
  - Outros ganhos não energéticos;
  - Priorização das oportunidades de desempenho energético;
  - Potenciais interações entre diversas oportunidades.



2.3.8

## Elaboração do Relatório do Diagnóstico Energético (A – Act – Agir)

O relatório deve incluir:

### **a. Resumo Executivo:**

- Objetivos do diagnóstico;
- Descrição do escopo e fronteiras;
- Resumo do uso e consumo de energia atual;
- Principais IDEs da área analisada;
- Montante de energia passível de redução;
- Proposta de programa de implantação das oportunidades com priorização;
- Dificuldades encontradas na coleta de dados (se existirem);

### **b. Contextualização**

- descrição do diagnóstico, escopo e fronteiras definidos, objetivos do diagnóstico e prazos;
- análise do desempenho energético e quaisquer indicadores de desempenho energético;





- Informações da coleta de dados (planos de medição, tipos de dados utilizados, períodos de medição, o que é medido e o que é estimado);
- Critérios utilizados para priorização das oportunidades;
- Premissas e métodos utilizados para calcular a economia de energia e a exatidão resultante das economias e benefícios energéticos calculados;

**c. Detalhes do diagnóstico**

- Relação das oportunidades identificadas e classificadas por ordem de implantação;
- Recomendações para implementação das oportunidades;
- Potenciais interferências entre oportunidades.

**d. Avaliação dos IDEs atuais**

- Reportar alterações necessárias nos IDEs atuais e propor outros, se necessário.

**e. Conclusões e recomendações.**

- Métodos de medição e verificação (M&V) recomendados na avaliação pós-implantação;
- Outras recomendações necessárias.



2.3.9

## Reunião de encerramento (A – Act – Agir)

Os participantes devem ser os mesmos que estiveram na reunião de abertura e a pauta deve ser a seguinte:

- Apresentação dos resultados do diagnóstico, objetivando facilitar a tomada de decisões pela organização;
- Relato de desvios relacionados ao planejamento inicial (se existirem);
- Relato de itens que requerem mais profundo acompanhamento pela área de gestão de energia.





## 03 GESTÃO DA ROTINA

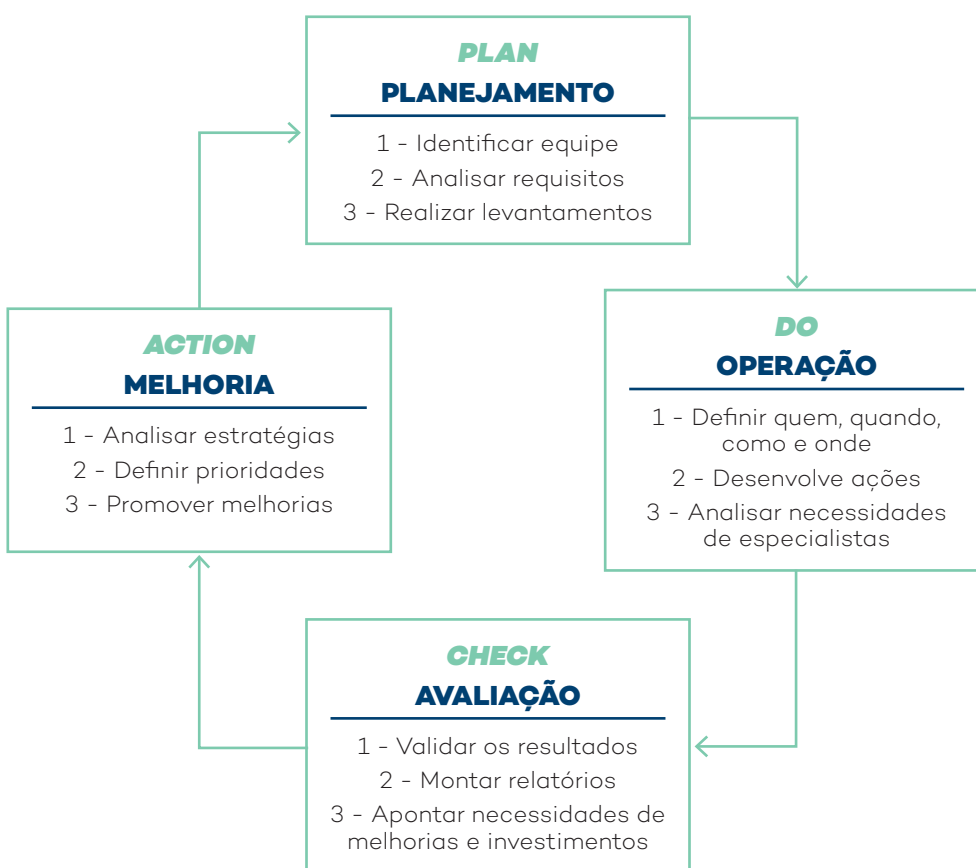
<b>3.1</b>	<b>Análise de desempenho – Rotina e metodologia</b>	<b>49</b>
<b>3.2</b>	<b>Medição e Verificação – M&amp;V</b>	<b>51</b>
3.2.1	Variáveis relevantes	53
3.2.2	Fronteiras de medição	54
3.2.3	Modelo energético	54
3.2.4	Meta energética	54
3.2.5	Indicadores de desempenho energético (IDE)	55
3.2.6	Estabelecendo linhas de base energética	55
3.2.7	Determinando período de base	56
3.2.8	Monitoramento e reporte	56
3.2.9	Demonstrando melhoria de desempenho energético	59

### 3.1 Análise de desempenho – Rotina e metodologia

O processo de gestão de energia nas corporações requer a definição e estabelecimento de um planejamento para que o uso e consumo de energia sejam abordados a partir de uma sistemática estruturada.

Objetivando facilitar esta tarefa, a recomendação é utilizar a estrutura do ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), sendo que estes passos são suficientes para proporcionar o entendimento de um sistema de gestão da energia em qualquer tipo de organização.

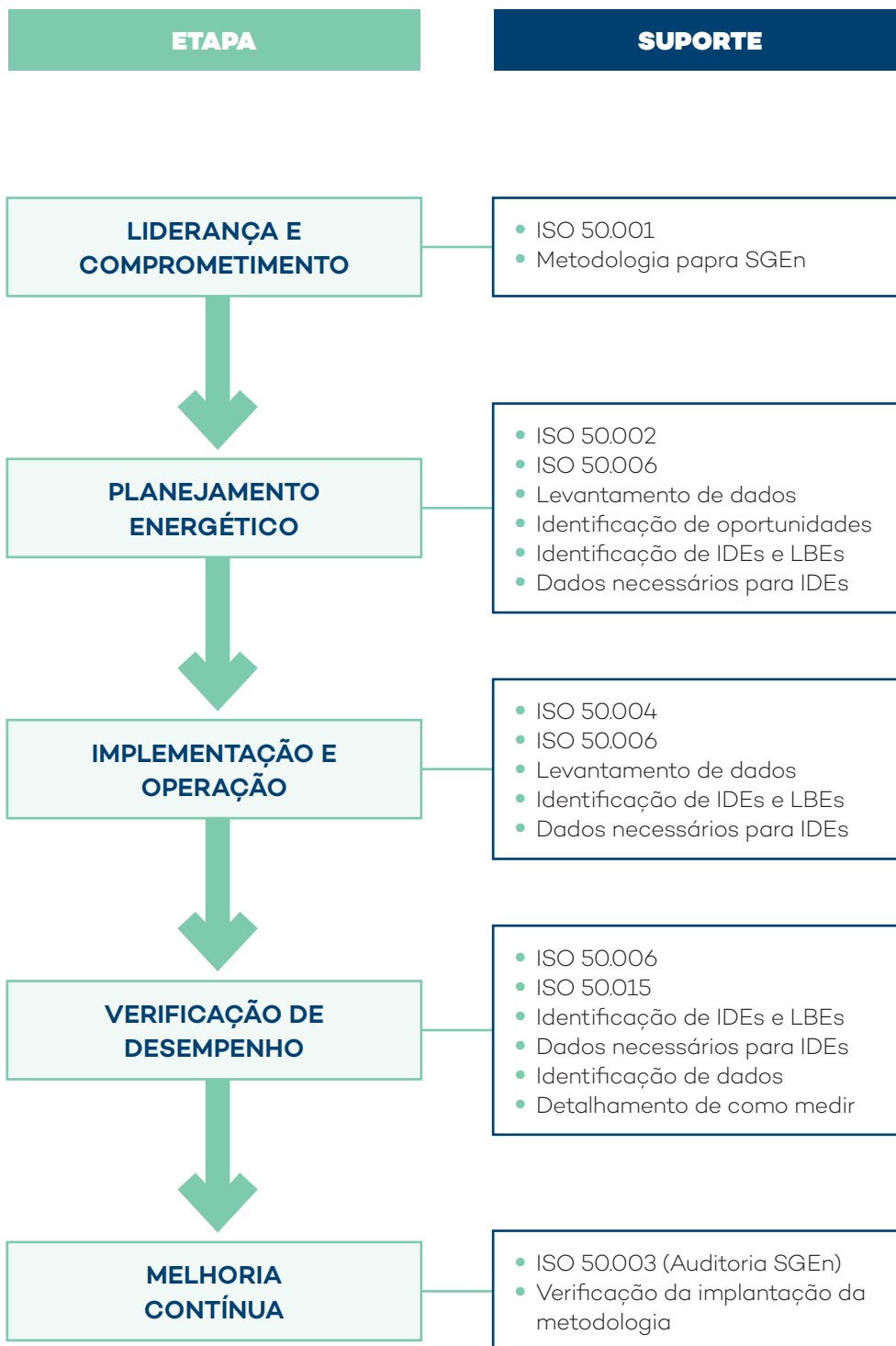
**Figura 5 - Ciclo PDCA**



Na figura 6 podemos verificar, de forma detalhada, as etapas de implantação de um SGE baseado na família de normas ISO 50001.



**Figura 6 - Rotina de implantação de sistema de gestão da energia**



Por outro lado, podemos citar aqui alguns aspectos que levam ao **insucesso** dos programas de gestão de energia:

- Falta de visão estratégica da empresa no que se refere à gestão de energia;
- Falta de comprometimento da Alta Administração;
- Falta de estrutura voltada para busca da eficiência no uso da energia;
- Falta de promoção desta estrutura quando ela existe;
- Falta de comunicação adequada entre as diversas áreas da empresa;
- Má compreensão de como gerir um projeto de eficiência energética;
- Escassez de dados e informações relacionados ao desempenho das instalações;
- Medições de variáveis relevantes insuficientes;
- Dificuldade na quebra de paradigmas relacionados aos padrões tradicionais de operação
- Barreiras técnicas e tecnológicas;
- Falta de integração com outras iniciativas.

## 3.2 Medição e Verificação – M&V

**“Não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende, e não há sucesso no que não se gerencia.” (William Edwards Deming).**

A implementação de projetos para melhoria da gestão de energia passa pelos processos de medição e verificação (M&V) da energia consumida, pois sem eles não haveria como determinar a redução de consumo, nem estabelecer as metas a serem alcançadas. Dentre as normas e documentos



de referência, o Protocolo Internacional de Medição, Verificação e Performance (IPMVP - *International Performance Measurement and Verification Protocol*) é um dos documentos utilizados para definir as estratégias do processo de M&V a serem adotados.

Pertencente à família da ABNT NBR ISO 50001, a norma ABNT NBR ISO 50006 também trata deste tema. Este documento fornece orientação sobre como estabelecer, usar e manter indicadores de desempenho energético (IDE) e linhas de base energéticas (LBE) para avaliar o desempenho energético em qualquer organização. São dadas orientações adicionais sobre como medir e monitorizar o desempenho energético e demonstrar a melhoria do desempenho energético.

O consumo de energia de uma organização pode ser significativamente afetado por variáveis relevantes, como clima, produção, etc. Se a organização tiver dados que indiquem que variáveis relevantes afetam significativamente o desempenho energético, convém que uma normalização seja realizada para permitir a comparação do desempenho energético em diferentes cenários. Para medir o desempenho energético, deve-se também especificar as fronteiras de medição adequadas para cada IDE.

A qualidade, a precisão e a exatidão dos dados coletados para calcular os IDE precisam ser consideradas para que os resultados calculados sejam pertinentes. Antes de calcular os IDE e suas LBE correspondentes, é necessário que a organização analise criticamente o conjunto de consumos de energia medidos e de variáveis relevantes para determinar a qualidade dos dados.

Garantir que os dados usados sejam de qualidade e integridade adequados pode ajudar a aumentar a robustez do valor do IDE determinado e garantir que eles atendam às necessidades da organização. Os fatores a serem considerados para determinar a qualidade adequada dos dados podem incluir o seguinte:

- O método de coleta, ou seja, manual ou automático;
- A fonte dos dados, por exemplo, dados de estações meteorológicas de terceiros;
- A frequência da coleta de dados, ou seja, abrangendo todos os turnos, horário, diário, mensal, horas de trabalho e estações do ano;
- A precisão dos medidores e equipamentos de medição.





### 3.21 Variáveis relevantes

Trata-se de um fator quantificável que impacta significativamente o desempenho energético e mudanças rotineiras (ex.: clima, nível de produção, material processado, mix de produtos, etc.). A análise de um IDE deve obrigatoriamente levar em consideração as variáveis relevantes.

Nos casos em que há apenas **uma variável relevante**, um modelo energético de regressão linear simples ou de regressão não linear para consumo de energia ou eficiência energética podem ser usados. Um modelo energético de regressão linear simples para o consumo de energia pode ser expresso pela fórmula:

$$Y = mx + c$$

Onde:

- Y = Consumo de energia;
- m = Consumo de energia por unidade da variável relevante;
- x = Valor da variável relevante;
- c = Consumo de energia da carga de base, não relacionado à variável relevante.

Nos casos em que há **mais de uma variável relevante**, pode-se usar um modelo energético de regressão linear múltipla ou de regressão multivariável. Um modelo energético de regressão linear múltipla para o consumo de energia pode ser expresso pela fórmula:

$$Y = m_1x_1 + m_2x_2 + \dots + m_Nx_N + c$$

Onde:

- Y = Consumo de energia;
- m<sub>1</sub>, m<sub>2</sub>, ... m<sub>N</sub> = Consumo de energia por unidade de variáveis relevantes;
- x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, ... x<sub>N</sub> = Valor das variáveis relevantes;
- c = Valor constante.

Na prática, um modelo energético com múltiplas variáveis relevantes é o mais comum.





### 3.2.2 Fronteiras de medição

A definição de fronteiras de medição é indispensável para se medir o desempenho energético e elas devem ser especificadas para cada IDE. Ao especificar a fronteira do IDE, convém que a organização considere as necessidades do usuário e também:

- Responsabilidades organizacionais em relação à gestão de energia, incluindo o nível de controle e/ou influência que a organização tem sobre seu desempenho energético;
- Os USE (usuários significativos de energia);
- Instalações, equipamentos, sistemas ou processos de uso de energia que a organização deseja isolar e gerenciar;
- A facilidade de isolar a fronteira do IDE medindo o consumo de energia e variáveis relevantes;
- A fronteira do SGE;
- Dados disponíveis para consumo de energia e variáveis relevantes.



### 3.2.3 Modelo energético

Representação matemática baseada em um conjunto de dados que descreve a relação entre as variáveis relevantes e o consumo de energia ou a eficiência energética durante um determinado período de tempo. O período de tempo especificado pode representar diferentes perspectivas de tempo, tais como, o período de base, o período de reporte ou o período que reflete as condições-padrão.



### 3.2.4 Meta energética

É um objetivo quantificável de melhoria do desempenho energético e pode ser incluída em um objetivo.







### 3.2.5 Indicadores de desempenho energético (IDE)

É a medida utilizada para quantificar o desempenho energético e definido pela organização.

Se a organização tiver dados que indiquem que variáveis relevantes afetam significativamente o desempenho energético, convém que uma normalização seja realizada para permitir a comparação do desempenho energético em diferentes cenários.

Para medir o desempenho energético, devem-se também especificar as fronteiras de medição (limites físicos, virtuais e/ou organizacionais definidos pela entidade para um propósito declarado) adequadas para cada IDE. A qualidade, a precisão e a exatidão dos dados coletados para calcular os IDE precisam ser consideradas para que os resultados calculados sejam pertinentes.

Antes de calcular os IDE e suas LBE correspondentes, é necessário que a organização analise criticamente o conjunto de consumos de energia medidos e de variáveis relevantes para determinar a qualidade dos dados.

Garantir que os dados usados sejam de qualidade e integridade adequados pode ajudar a aumentar a robustez do valor do IDE determinado, bem como garantir que atendam às necessidades da organização. Os fatores a serem considerados para determinar a qualidade adequada dos dados podem incluir o seguinte:

- O método de coleta, ou seja, manual ou automático;
- A fonte dos dados, por exemplo, dados de estações meteorológicas de terceiros;
- A frequência da coleta de dado (turnos, horário, diário, mensal, horas de trabalho e estações do ano);
- A precisão dos medidores e equipamentos de medição.



### 3.2.6 Estabelecendo linhas de base energética

A LBE é usada para comparar o desempenho energético e demonstrar as variações deste. Para estabelecer uma LBE, convém que sejam tomadas as seguintes medidas:



- Determinar a finalidade específica para a qual será utilizada a LBE;
- Determinar um período de dados adequado;
- Coletar os dados;
- Analisar os dados para desenvolver uma metodologia de normalização (se aplicável);
- Determinar e avaliar a LBE.



### 3.2.7 **Determinando período de base**

É o período de tempo utilizado para comparação com o período de reporte. Tem como objetivo o monitoramento do desempenho, a avaliação da melhoria do desempenho ou a determinação da economia de energia.

Ao estabelecer as LBE, convém que a organização determine um período adequado considerando seus objetivos e metas energéticas, juntamente com a natureza de suas operações. Convém que o período de base seja suficientemente longo para garantir que a variabilidade dos padrões operacionais seja contabilizada pelo IDE e pela LBE (sazonalidade da produção, padrões climáticos, etc.).

A frequência com que uma organização coleta os dados pode ser considerada para determinar um período de base adequado. O período de base pode ser revisto (por exemplo, transferido para um período de tempo diferente) ou o desempenho energético pode ser calculado sem alterar o período de base.



### 3.2.8 **Monitoramento e reporte**

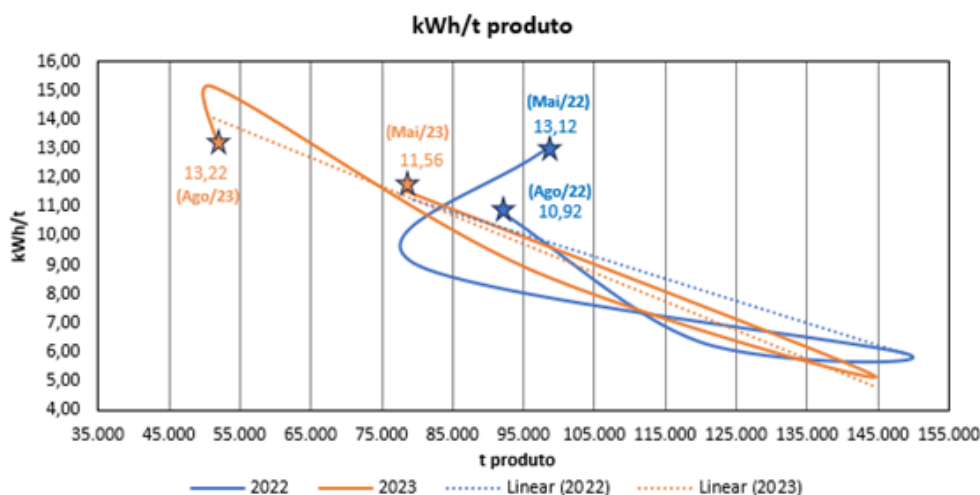
O desempenho energético pode ser monitorado comparando-se o consumo real de energia (valor do IDE) com o consumo de energia esperado (LBE) em uma base horária, diária, semanal ou mensal. A comparação mensal pode ser adequada nos estágios iniciais de desenvolvimento desses conceitos.



Diversas ferramentas e técnicas são utilizadas para monitorar e reportar o desempenho energético com base no modelo energético, incluindo:

- Monitorar a diferença entre o consumo de energia real e o esperado, usando um gráfico de tendência de IDE (e variáveis relevantes);
- Monitorar a soma cumulativa da diferença entre o consumo de energia real e o esperado, utilizando um diagrama de tendências;
- Comparar a diferença entre o consumo de energia real e o esperado com uma meta energética (o objetivo energético pode ser calculado como uma redução percentual do consumo de energia esperado);
- Monitorar o consumo de energia e a produção, usando um diagrama de dispersão.

**Gráfico 3** - Exemplo de diagrama de dispersão utilizado para análise de desempenho energético



O gráfico acima mostra a situação de uma planta industrial em 2 períodos: 2022 na linha azul e 2023 na linha laranja. No eixo horizontal, está a taxa de produção em toneladas de produto por mês. O eixo vertical mostra o consumo de energia em kWh por tonelada de produto. Uma questão fundamental nessa indústria é a sazonalidade da produção, que pode variar de menos de 50 mil toneladas por mês até 155 mil toneladas por mês, dentro de 1 ano.



O fato é que os equipamentos são projetados para uma capacidade máxima, mas sua produtividade e rendimento energético não se correlacionam de forma linear. Em quase todos os casos, o rendimento chega ao máximo quando o equipamento está entre 70% e 90% da utilização da sua capacidade. Por outro lado, quando a utilização passa para níveis mais baixos, a eficiência decresce enormemente.

Observa-se que, quando a produção chegou a 150 mil toneladas por mês, o consumo específico foi menor nos anos de 2022 e 2023. Entretanto, em agosto/2023 e maio/2022, o consumo específico foi muito elevado, em torno de 13 kWh por tonelada, e as taxas de produção foram muito diferentes. Os times envolvidos no processo devem reconhecer e entender essas variações.

Essa abordagem pode ser verificada na Mineração nos processos de cominuição. Como exemplo, britagem e moagem têm consumo de energia menor quando tem a utilização da sua capacidade em torno de 85%.

As equipes envolvidas devem ficar atentas para as variáveis relevantes que contribuem para a eficiência desses sistemas. No caso dos moinhos, a carga dos corpos moedores, carga e tipo de minério devem ser observados e considerados nos planos de produção.

Em cada caso, as informações podem ser representadas graficamente ou em tabelas. O processo de monitoramento do desempenho energético usando IDE é rotineiro. Se um resultado inesperado for observado, convém que a causa seja investigada mediante:

- Investigação do controle operacional dos equipamentos/sistemas para estabelecer a causa do desvio;
- Se o desvio estiver causando consumo de energia excessivo, tomar medidas corretivas para evitar que o desvio ocorra novamente;
- Se o desvio é resultado de um consumo inesperadamente baixo, estabelecer a causa e tentar incorporar essa ação em operações normais;
- Garantir que os dados sejam precisos.





3.2.9

## Demonstrando melhoria de desempenho energético

As organizações podem necessitar de demonstrar as melhorias do desempenho energético. Convém que a melhoria no desempenho energético seja avaliada comparando-se os valores de IDE com a LBE correspondente. Isso pode ser feito no nível da instalação, nível do USE (Usuário Significativo de Energia), nível do processo, etc.

As normas e protocolos apresentam soluções muito abrangentes, o que leva a não haver uma padronização. Com isso, as soluções de M&V para comprovação das ações de eficiência energética dentro de um projeto de gestão de energia, muitas vezes, são baseadas nas experiências dos profissionais envolvidos. Por outro lado, o custo da implementação de M&V em projetos para a gestão de energia não deve ser desprezado e sempre comparado com o retorno esperado. Em casos de retorno financeiro baixo, a implantação de um projeto M&V pode ficar inviável.

Embora existam diversos caminhos a serem seguidos para os projetos de M&V, torna-se importante levar em consideração a busca por menores incertezas de medição e cálculo de montantes envolvidos no investimento.





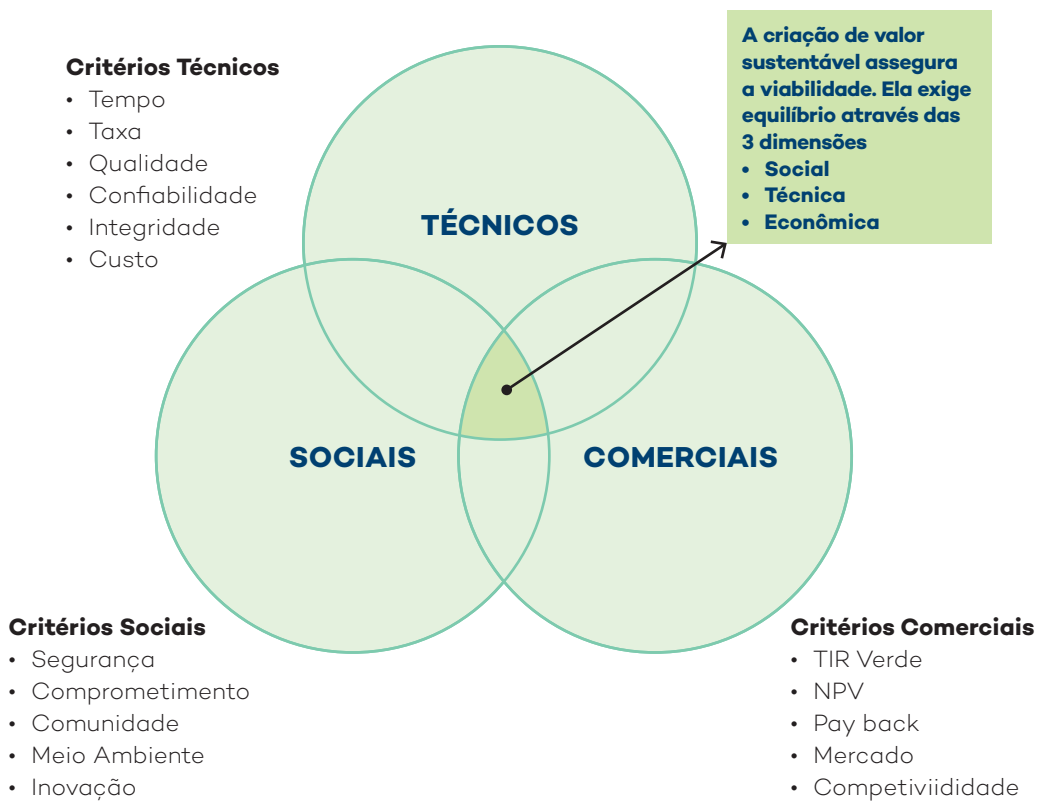
# 04 PROJETOS

<b>4.1</b>	<b>Relação/Análise dos possíveis projetos</b>	<b>61</b>
<b>4.2</b>	<b>Desenvolvimentos técnicos e econômicos dos possíveis projetos definidos em perdas e oportunidades</b>	<b>62</b>
<b>4.3</b>	<b>Gerenciamento dos Projetos</b>	<b>63</b>
4.3.1	Metodologia para gestão dos projetos	64
4.3.2	Cultura, operação, processo	67
4.3.3	Projetos de Automação	69
4.3.4	Mudanças de Tecnologia	70
<b>4.4</b>	<b>Análise dos Projetos</b>	<b>71</b>
4.4.1	Comparar dados “Antes X Depois” da implantação	71
4.4.2	Divulgar resultados	75
<b>4.5</b>	<b>Relatório conclusivo e recomendações</b>	<b>76</b>

## 4.1 Relação/Análise dos possíveis projetos

Uma das ações do diagnóstico é a Elaboração do Relatório Energético como visto no item 2.3.8.c. Recomenda-se a execução de uma lista ou relação das oportunidades identificadas. Devem ser classificadas para possível execução, considerando as expectativas dos projetos e dos envolvidos. A figura abaixo mostra a relação entre as expectativas dos projetos.

**Figura 7 - Relação entre as expectativas do projeto**



Deve haver equilíbrio das dimensões na relação dos projetos. Considerar os objetivos estratégicos, a viabilidade de recursos humanos e/ou materiais e a relação 80/20 (Pareto - 80% dos ganhos podem estar em 20% das ações). Oportunidades que geram projetos com baixos riscos relacionados à segurança, produção, operação e manutenção podem ser considerados mais atraentes e cuidados devem ser tomados nas análises.

Cuidado ao relacionar e executar projetos “desequilibrados”. O ganho tem de ser visto como um todo. Um projeto muito bom, mas que visa fortemente



as questões técnicas deve ser avaliado nas outras dimensões. Quais riscos e impactos ele traz para a dimensão social ou comercial? Não somente agora, mas o que ele pode causar ao longo do tempo?

Cuidado também nos projetos que aparentemente não trazem benefícios claros em relação ao retorno do investimento. Eficiência energética pode apresentar projetos com ganhos imensuráveis e intangíveis. Estes projetos podem não ter ganhos quantificados de forma objetiva, mas têm um valor significativo para o bem-estar das comunidades (meio ambiente) ou para as realizações pessoais (comprometimento), entre outros. Esses ganhos não podem ser comprados ou adquiridos materialmente, mas estão disponíveis para todos nós.

## 4.2 **Desenvolvimentos técnicos e econômicos dos possíveis projetos definidos em perdas e oportunidades**

Desenvolver o projeto é utilizar o conhecimento para alcançar um resultado específico. O desenvolvimento dele deve ter estratégias de operação e manutenção definidas, metas de desempenho e execução com eficácia na utilização dos recursos, sendo eles materiais ou humanos. Desenvolvê-lo é estar preparado para concluir o trabalho certo, no tempo certo e de forma correta.

No planejamento do projeto, deve ser especificado tudo que é relevante para a conclusão do trabalho. Planejar para programar em vez de programar para planejar. Recursos devem atender à programação e não programar para atender a recursos, portanto deve-se programar o que é necessário e não o que se tem disponível no momento. Pode-se dizer que o planejamento é uma disciplina de suporte, e a programação é uma prestação de serviço. A programação deve ser otimizada dentro dos limites de prazo, portanto é necessário conhecer todas as atividades planejadas.

Ao planejar, a contribuição daqueles que conhecem o trabalho, logo no início, aperfeiçoará a qualidade do planejamento e conseqüentemente da programação. Informe aos responsáveis, patrocinadores dos projetos e outros que não estejam diretamente executando tarefas relacionadas ao projeto sobre riscos e mudanças, assim que elas surgirem.





## 4.3 Gerenciamento dos Projetos

Gerenciar projetos, segundo o PMBOK (*PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE* (PMI), 2013) é a “aplicação de conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto a fim de atender aos seus requisitos”. O gerenciamento de projetos envolve a administração e controle dos processos e disciplinas interligadas e interconectadas por meio de planos consistentes com objetivo de atender às características definidas.

Um projeto é um trabalho temporário para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo e deve ter início, meio e fim muito bem definidos. É exclusivo, porque se destina a criar um resultado único. Um projeto deve ser um processo único, em que planejamento, programação e provisionamento de recursos devem atender aos requisitos específicos e definidos dentro dos limites de custos, tempo e recursos.

Durante a implantação dos projetos de Eficiência Energética, modificações, mudanças, construções ou implantações são necessárias; contudo, em muitos casos, as unidades (plantas ou processos) estão em funcionamento. O projeto precisa ser implantado e a operação precisa continuar produzindo. Em qualquer processo, seja nas minas, no beneficiamento, seja no tratamento, a constante produção é necessária e paradas produtivas devem ser negociadas e conduzidas com total controle.

Os gestores e as equipes de projetos devem conhecer o projeto de forma “macro” – como as atividades do projeto podem afetar a produção e também de forma “micro” – conhecer as variáveis do processo, atividades planejadas e programadas durante o ciclo de vida do projeto. A sintonia entre os planos de produção e as atividades do escopo do projeto evitam desvios no planejamento, atrasos e falhas nos cronogramas de implantação e nos planos de produção que, inevitavelmente, podem retornar em custo para a empresa.

Os gerentes e as equipes envolvidas, alinhadas, qualificadas e bem estruturadas, seguindo um guia ou metodologia de projeto, terão resultados consistentes e alto índice de sucesso no desenvolvimento dos projetos. A utilização de uma metodologia não deve ser opcional. Deve ser adotada de acordo com características da empresa, do projeto e dos entregáveis principais.

As principais metodologias diferem na sua organização estrutural, assim como requerem diferentes entregáveis, fluxos de trabalho e até o desenvolvimento de software da gestão de projetos.





### 4.3.1 Metodologia para gestão dos projetos

Uma metodologia de gestão de projetos é um sistema de princípios, técnicas e procedimentos em que são adotados um conjunto de regras, estratégias e definições que facilitam o planejamento e a execução de uma ação. São aplicadas com objetivo de relacionar a teoria à prática.

Metodologias são aplicáveis às diversas áreas do conhecimento e disciplinas, como exemplo, metodologias de pesquisa, metodologias de ensino, metodologias científicas, metodologias de engenharia e utilizamos para os projetos as metodologias de projeto.

As metodologias para o gerenciamento dos projetos podem ser tradicionais, robustas e rígidas e também podem ser ágeis, flexíveis e adaptáveis. Não significa que uma empresa considerada tradicional tem de usar uma metodologia tradicional e uma empresa flexível precisa necessariamente utilizar uma metodologia ágil.

Independente da metodologia a ser adotada, é importante reconhecer que uma oportunidade não é um projeto. A oportunidade vislumbrada e definida pode vir a ser um projeto e precisa de um planejamento adequado. A tabela abaixo mostra as características entre as metodologias de projetos tradicionais e ágeis.

**Tabela 4 - Comparação entre Gestão de Projetos tradicionais e ágeis**

	<b>Tradicionais</b>	<b>Ágeis</b>
<b>Planejamento</b>	Fixo Bem estruturado	Aberto Adaptável
<b>Etapas</b>	Controladas Rígidas	Adaptáveis Flexíveis
<b>Tomadas de decisão</b>	Participação de equipes específicas por disciplinas	Participação de equipes multidisciplinares



### 4.3.1.1 Tipos de metodologias e suas características

#### **METODOLOGIAS TRADICIONAIS**

As metodologias tradicionais priorizam o planejamento bem estruturado em que as etapas são definidas e mapeadas antes do início da execução das tarefas do projeto. Com o planejamento estruturado, variáveis como custos (desembolsos), prazos (tempo e compromisso de entregas), riscos (financeiros, operacionais, outros) e entregas (resultado final) são detalhados dentro do cronograma do projeto.

Essas metodologias tradicionais, também chamadas de metodologias clássicas, possuem as características abaixo:

- Formalização das etapas no início do projeto;
- Formalização das gestões de risco, suprimentos, recursos humanos, outras;
- Escopo e cronograma completo das ações;
- Disciplinas e equipes (elétrica, mecânica, outras) bem definidas;
- Desembolso financeiro definido com as etapas do projeto.

#### **METODOLOGIAS ÁGEIS**

As metodologias ágeis também necessitam de planejamento, mas o foco está nas entregas. O objetivo inicial delas era agilizar o desenvolvimento de *softwares*, mas, hoje, elas vão além do setor de tecnologia e colaboram com a gestão em diversas áreas. Possuem como características:

- Fatores determinantes são tempo e custo;
- Gestão adaptável privilegiando a alta produtividade;
- Escopo definido por ciclos;
- Decisões rápidas.

É importante ressaltar que agilidade é maximizar o trabalho a ser realizado no mesmo período de tempo e pressa é fazer o trabalho acelerado,

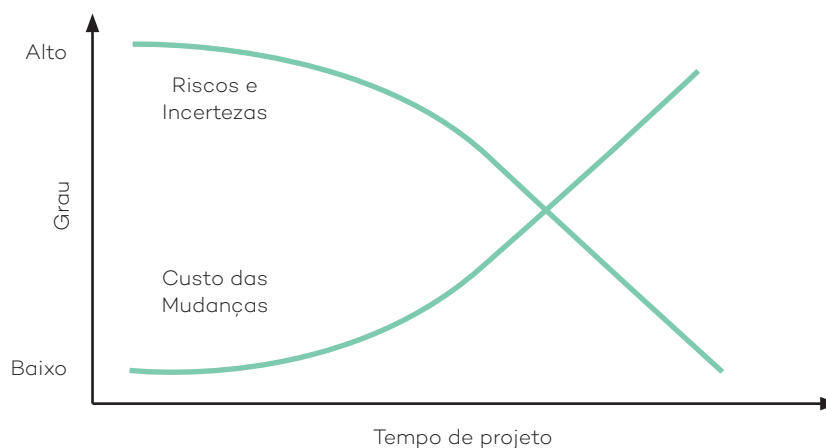


desconsiderando fatores predefinidos, como qualidade e recursos. Metodologia ágil não significa fazer com pressa. A pressa leva a negligências e imprudências que não podem ser aceitas no projeto. Um exemplo análogo, encontramos no caso a seguir.

Um bastão e uma bola custam R\$ 1,10 e sabe-se que o bastão custa R\$ 1,00 a mais que a bola. Quanto custa a bola? Mais de 50% dos estudantes de Harvard, MIT e Princeton responderam R\$ 0,10, uma resposta dada de forma intuitiva e incorreta (a resposta correta é que a bola custou R\$ 0,05). Isso não significa que o projeto não possa ser replanejado, redirecionado ou até mesmo adaptado, mas a mudança ou adaptação deve ser baseada em estudo e ter uma definição bem clara do porquê da alteração.

As adaptações, mudanças, riscos e incertezas são maiores no início do projeto e influenciam não somente nos custos, mas em outros aspectos tangíveis e intangíveis. Esses fatores diminuem ao longo da vida do projeto à medida que as decisões são tomadas e as entregas são aceitas conforme mostra o gráfico a seguir:

**Gráfico 4** - Impacto dos riscos, incertezas e mudanças no ciclo de vida dos projetos



Fonte: Guia PMBok - 5a. Edição 2013

## **METODOLOGIAS HÍBRIDAS**

Como o próprio nome indica, as metodologias híbridas reúnem características das metodologias tradicionais e ágeis. Uma é mais rígida e outra,



flexível; uma é estruturada e estável e outra é adaptável. Essa soma busca qualidade e equilíbrio no desenvolvimento do projeto em todo seu ciclo ou ciclos.

Não é unir estrutura e estabilidade à adaptação e flexibilidade. Não se trata disso! A proposta é detalhar mais o projeto de maneira que esteja aberto a avaliações e possibilite mudanças com eficácia, mantendo respostas rápidas aos envolvidos. As características são:

- Formalização das etapas no início do projeto (estrutura);
- Adaptação da estrutura em cronogramas por ciclos;
- Decisões rápidas.

Definir a metodologia a ser adotada é analisar e identificar qual delas está mais alinhada aos princípios da empresa e do projeto. Projetos bem definidos, estruturados, estáveis e com passos e metas definidas devem ser estruturados usando-se a metodologia clássica. O projeto que, logo na sua concepção e definição, apresentar incertezas e prováveis adaptações durante seu ciclo deve ser estruturado usando-se as metodologias ágeis.

As empresas e as equipes envolvidas devem estar preparadas para a metodologia adotada. Cada projeto é único e diferentes projetos vão concorrer entre si. A implantação pode ocorrer simultaneamente, portanto as empresas podem utilizar mais de uma metodologia.

A metodologia definida e aplicada será a ferramenta para chegar às metas definidas e conseqüentemente ao final do projeto. Ela é somente uma ferramenta para se ter sucesso no projeto. Abraham Lincoln disse “dê-me seis horas para derrubar uma árvore e passarei as 4 primeiras afiando o machado”.



#### 4.3.2 **Cultura, operação, processo**

As empresas são definidas pelos seus processos, operações e principalmente pela cultura que faz parte do cotidiano de todos os colaboradores da organização. Essa cultura organizacional está consolidada no comportamento dos colaboradores e muitos projetos sobre Eficiência Energética estão diretamente relacionados a uma transformação cultural.



Transformação cultural não acontece de forma repentina. Um procedimento discutido, definido, treinado e aplicado não significa resultado imediato quando se trata de uma cultura. Quantas vezes nos perguntamos como alguma “coisa” mudou e não percebemos? Uma mudança de cultura deve ser estruturada, planejada, programada e provisionada da mesma forma que um projeto de engenharia. É necessário haver suas metas definidas, monitoradas, controladas e gerenciadas, ou seja, preparação para as mudanças.

A equação abaixo mostra a relação entre Aceitação e Qualidade nas alterações culturais:

$$\text{RESULTADOS} = \text{QUALIDADE} \times \text{ACEITAÇÃO}$$

**Qualidade:**

- Fluxogramas, desenhos, especificações, tarefas, responsabilidades, rotinas gerenciais e de execução bem definidas e detalhadas.

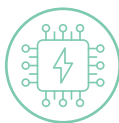
**Aceitação:**

- Qual motivo para essa mudança?
- O que ganho com isso?
- Questionar paradigmas existentes;
- Lidar com questões fundamentais;
- Treinar do topo até a base;
- Modelar a mudança desde o topo até a base.

Um projeto que envolva mudança de cultura deve utilizar as disciplinas que trabalham a psicologia, a mentalidade dos envolvidos, desde o chamado “chão de fábrica” até a diretoria. Apesar desses tipos de projetos relacionados à eficiência energética estarem intimamente relacionados à engenharia, a estrutura dos recursos humanos necessários para trabalhar cultura pode não estar na engenharia, mas linkados diretamente na psicologia, andragogia, marketing ou em outra disciplina relacionada a ciências humanas.

O engajamento da alta direção é também um item importantíssimo na mudança de uma cultura. A liderança pelo exemplo é um dos pontos-chave e os líderes, nos seus diversos níveis, devem estar, o tempo todo, comprometidos e cientes das suas responsabilidades sobre a mudança da cultura.









### 4.3.3 Projetos de Automação

Definidas as oportunidades na fase de diagnósticos, observa-se que existem projetos relacionados às automatizações e automações dos processos. Um projeto de automação é a criação de um sistema que é monitorado, controlado, gerenciado automaticamente e assume determinadas atividades sem a necessidade da intervenção humana.

Para os projetos de automação, são necessários conhecimentos teóricos e práticos, além da criatividade e experiência dos envolvidos. A automação de uma máquina/processo consiste essencialmente em escolher, entre as diversas tecnologias que se encontram ao nosso dispor, as que melhor se adaptam ao processo a desenvolver e a melhor maneira de as interligar para garantir sempre a melhor relação custo/benefício (WIKIPÉDIA, 2014).

Os projetos de automação devem seguir alguns passos que não devem ser confundidos com o Termo de Abertura e o Termo de Encerramento do projeto. Os passos sugeridos estão listados abaixo:

- 1 Descrição do processo**  Escopo com entendimento de como funciona o processo, o equipamento ou a instalação. É a engenharia básica com conceitos e fundamentos.
- 2 Fluxograma de engenharia**  Exigências do projeto básico – controles, intertravamentos, instrumentos, tipos de sinal, malhas de controle, supervisão, listas de entrada e saída de variáveis digitais e analógicas e outras informações necessárias para entender o processo pelo fluxograma de engenharia.
- 3 Descrição dos processos de automação**  Estratégias do sistema de automação – definição dos controladores, definição das malhas controle, interfaces com outros sistemas, sequenciamentos e outros requisitos para atender à automação do processo.
- 4 Engenharia detalhada**  Documentos com as informações para a instalação e montagem, contendo as localizações, posicionamentos, interligações, interferências e outras informações necessárias ao desenvolvimento do projeto.



Estes passos devem ser seguidos e podem ser desdobrados em etapas com objetivo de alcançar o sucesso no planejamento estabelecido. O gestor pode dividir as tarefas dentro dos passos citados acima na busca pelo melhor alinhamento e reconhecimento do papel de cada equipe ou de cada um dentro do projeto.



#### 4.3.4 **Mudanças de Tecnologia**

A busca pelas mudanças tecnológicas tem transformado a maneira como as empresas estão enxergando seus negócios. A introdução de novas tecnologias é inevitável e as empresas devem estar atentas às oportunidades. O avanço tecnológico acelerado traz constantes mudanças e os projetos relacionados às tecnologias se tornam inevitáveis, atingindo toda a empresa.

O avanço tecnológico é rápido e pode haver novas tecnologias lançadas no mercado enquanto o projeto está em implantação. Os projetos podem se adaptar e readequar, mas todo projeto deve ter início, meio e fim. A mudança, para adequar ou adaptar, deve ser aprovada e fazer parte do replanejamento e reprogramação, e todos os envolvidos devem estar cientes.

Um projeto de tecnologia exige multidisciplinaridade e limites. Desta forma, permite uma melhor comunicação, sem conflitos, entre as equipes envolvidas, reunindo diferentes conhecimentos e habilidades. Por meio dessa multidisciplinaridade, o sucesso no projeto, no desenvolvimento, no comissionamento e startup são garantidos.

Exemplos de projetos com mudanças tecnológicas são as lâmpadas Led substituindo as lâmpadas incandescentes. Outro exemplo é a utilização de motores elétricos substituindo os motores a combustão, visto que os motores elétricos são mais eficientes na conversão de energia elétrica em energia mecânica.

Ainda como exemplo, o uso de células de combustível, uma tendência para mudança tecnológica nos próximos anos. Essas células convertem hidrogênio em eletricidade para alimentar o veículo. Além disso, a utilização do hidrogênio como combustível contribui para redução das emissões de gases poluentes e pode reduzir impactos ambientais.





## 4.4 Análise dos Projetos



### 4.4.1 Comparar dados “Antes X Depois” da implantação

As comparações são necessárias para comprovar as economias em energia e custos resultantes das oportunidades e projetos de eficiência energética. As medições iniciais e finais devem ser contempladas no projeto. Seu início deve ser na fase de construção do planejamento da ação de eficiência e terminar com o relatório final comprovando os resultados.

A base da análise está na medição e verificação confrontando o que foi proposto ao resultado encontrado. Essas fases contam com as seguintes atividades:

- 1.** Definição das variáveis a serem medidas;
- 2.** Localização dos pontos de medição – onde serão medidas;
- 3.** Quais instrumentos e medidores serão utilizados – medições podem envolver diferentes empresas, inclusive com contratos por performance e os medidores devem ser aferidos e calibrados por órgãos certificados em comum acordo com os envolvidos neste processo de medição;
- 4.** Instalação, calibração e manutenção dos instrumentos e medidores;
- 5.** Analisar os dados – assegurar a qualidade da informação;
- 6.** Relatar os resultados – permitir verificação entre proposto e resultado, inclusive para terceiros envolvidos.

O “Antes X Depois” envolve diversos interessados e é importante conhecê-los desde o início dos trabalhos, determinando se são internos ou externos. O plano de medição bem definido deve ser acordado entre as partes envolvidas, principalmente se houver contratos de entregas e desempenho com empresas terceirizadas.



**OS ENVOLVIDOS INTERESSADOS PODEM SER:**

- **ESCO** (empresas de serviço de energia) ou empresas que realizam contrato de desempenho;
- **Usuários de energia** que executarão os próprios projetos e comprovar o resultado para a sua gerência superior, diretoria, proprietários, acionistas, patrocinadores ou outros que se fizerem necessários;
- **Gerentes** que necessitem registrar as variações nos orçamentos atuais e futuros;
- **Gerentes** que necessitem comprovação dos resultados para receber certificados, bônus ou isenções;
- **Projetistas**, pesquisadores, empreendedores que necessitem comprovar resultados para aplicar em futuras instalações;
- **Compradores e investidores** em créditos de carbono;
- **Órgãos institucionais** (ANEEL, PROCEL, instituições governamentais) que regulam ou suportam programas de eficiência energética.

Padronização por meio de protocolos de medição e verificação devem ser utilizados para evitar as incertezas e garantir qualidade nas economias alcançadas. O primeiro Protocolo Internacional de medição e Verificação foi usado em 1997 e tem sido atualizado. Outros protocolos podem ser usados em comum acordo entre os envolvidos (*stakeholders*).

O protocolo não é uma norma obrigatória, não é uma diretriz rígida e tampouco um manual de instruções sobre como fazer a análise do “Antes X Depois”. Uma das grandes vantagens é o fato de não ter regras rígidas, porque na prática cada ação apresenta suas características particulares.

O protocolo é a base do acordo para avaliação da eficiência dos projetos e documenta os métodos comuns que serão utilizados. Essa metodologia de avaliação deve ser usada pela engenharia, logística (compradores e vendedores), patrocinadores (financiadores), empreendedores e outros envolvidos.



**EM RESUMO, O PROTOCOLO EVIDENCIA:**

- Documentos e métodos comuns de avaliação aos usuários envolvidos;
- Métodos com diferentes níveis de custo e incertezas;
- Aplicado a todo tipo de instalação;
- Fundamento para comprovação das economias e custos evitados;
- Desenvolvimento de planos de medição para projetos específicos.

O protocolo e os planos são flexíveis, mas obrigatoriamente devem ser observados alguns critérios para demonstrar precisão, independência e transparência nas medições:

- a. Os envolvidos devem identificar responsáveis pelas atividades de medição e devem aprovar e assegurar que o plano seja seguido durante toda a implantação do projeto ou contrato;
- b. Os envolvidos devem estabelecer, de forma padronizada ou contratual, os métodos de análise que serão utilizados para validar as economias de energia e custos;
- c. Os envolvidos devem estabelecer:
  - Quais medições serão realizadas;
  - Quais as bases as variáveis devem ser trabalhadas;
  - Quais equipamentos e instrumentos serão utilizados;
  - Aferição e calibração dos equipamentos e instrumentos;
  - Local e circunstâncias para execução das medições;
  - Período da medição – quanto tempo de medição será analisado;
  - Outras informações que se tornem necessárias à comprovação da medição.
- d. Os envolvidos devem estabelecer as unidades de engenharia que devem ser utilizadas para cálculo, análise e comprovação das medições (kWh/t, kWh/l, horas e períodos de operação e outros);



- e. Os envolvidos devem listar e definir padrão para apresentação dos resultados em relatórios. Os relatórios devem ser padronizados;

Os benefícios da utilização de protocolos definidos e acordos são a garantia de pagamentos adequados, simplificação na negociação dos contratos, credibilidade aos resultados encontrados e comprovação para obtenção de certificações.

**Tabela 5 - Opções de medição e suas aplicações**

<b>Opções de Medição</b>	<b>Como as economias são calculadas</b>	<b>Aplicações típicas</b>
<p><b>A - ISOLAMENTO DA MELHORIA COM MEDIÇÃO SOMENTE DE VARIÁVEIS CHAVES</b></p> <p>As economias são determinadas por medições parciais de campo, separado do uso de energia do restante da instalação. As medições podem ser de curto prazo ou contínuas.</p> <p>As estimativas devem ser mostradas no “Antes X Depois” juntamente com a análise do erro que elas podem provocar.</p>	<p>Cálculos de engenharia usando medições de curto prazo ou contínuas da melhoria e valores estimados.</p> <p>Medições parciais significam que alguns parâmetros podem ser estimados, se o impacto total dos possíveis erros de estimativa não for significativo. Uma cuidadosa revisão dos cálculos da economia e da instalação assegurará que os valores estimados representam o valor real provável.</p>	<p>Retrofit de iluminação em que a carga é medida periodicamente.</p> <p>As horas de operação são estimadas baseada no regime de funcionamento da instalação e comportamento dos ocupantes.</p>
<p><b>B - ISOLAMENTO DA MELHORIA COM MEDIÇÃO DE TODAS AS VARIÁVEIS</b></p> <p>As economias são determinadas por medições de campo separado do uso de energia do restante da instalação.</p>	<p>As medições de curto prazo ou contínuas são feitas durante o período antes e pós melhoria, e os cálculos de engenharia utilizando medições de indicadores de energia. Ajustes podem ser necessários.</p>	<p>Medidas envolvendo o desempenho de variadores de velocidade ou conversores de frequência e de motores;</p> <p>Substituição de maquinários.</p>



Opções de Medição	Como as economias são calculadas	Aplicações típicas
<p><b>C – MEDIÇÃO DE TODA A INSTALAÇÃO</b></p> <p>As economias são determinadas pela medição do uso de energia em toda a instalação.</p> <p>As medições de curto prazo ou contínuas são feitas durante o período pós retrofit.</p>	<p>Análise dos dados de toda a instalação utilizando o medidor da concessionária. Ajustes calculados utilizando técnicas que vão desde a simples comparação até a análise de regressão. O uso de energia é medido pelos medidores de gás e energia da concessionária para um período de 12 meses do ano-base e durante o período pós-melhoria</p>	<p>Programa de gerenciamento de energia que afete muitos sistemas em uma instalação ou que abranja diversas medidas de economia.</p>
<p><b>D. Simulação calibrada</b></p> <p>As economias são determinadas através da simulação do uso de energia de componentes ou de toda a instalação.</p> <p>As rotinas para simulação devem ser demonstradas para simular adequadamente o desempenho efetivo da medida.</p>	<p>Simulação do uso de energia calibrada com dados horários ou mensais da fatura da concessionária e/ou medidor de uso final.</p>	<p>Programa de gerenciamento de energia que afete muitos sistemas em um prédio, mas onde não há dados disponíveis do período base. O uso de energia do período pós-melhoria é medido pelos medidores de gás e energia da concessionária. O uso de energia do ano base é determinado por simulação utilizando um modelo calibrado pelos dados da concessionária.</p>

Fonte: PEEE - Programa Educacional Eficiência Energética - Tópico Medição & Verificação



#### 4.4.2 Divulgar resultados

Os novos dados obtidos e os resultados alcançados devem ser divulgados e compartilhados. Os objetivos da divulgação não devem ser considerados como uma autopromoção, mas sim como incentivo à adoção de práticas semelhantes e à promoção e conscientização do uso eficiente da energia.



Deve haver respeito à privacidade das empresas e dos envolvidos no projeto, garantindo a confidencialidade das informações. Os processos podem ser diferentes, os minérios têm diferentes características, os transportes podem ser mais longos, mais curtos, o nível da operação pode ser bom ou ruim portanto, devem-se ter cuidados na comparação de dados entre empresas ou até mesmo entre unidades de mesma empresa.

A divulgação pode ser feita por meio de relatórios, eventos, palestras ou por meio de canais de comunicação online, como sites e redes sociais. É importante utilizar linguagem clara e acessível, de forma a atingir uma ampla audiência e promover o entendimento dos resultados.

## 4.5 Relatório conclusivo e recomendações

Como foi o desenvolvimento desse projeto? Foi necessária alocação de mais recursos? O custo ficou dentro dos limites definidos? Qual tarefa foi a mais relevante, qual tarefa nos trouxe atrasos? Outras unidades podem utilizar esse mesmo projeto? Essas e outras perguntas estão relacionadas no encerramento do projeto (projetos têm início, meio e fim bem definidos).

Os relatórios conclusivos sobre projetos são documentos que oferecem uma visão geral do projeto, suas realizações, desafios enfrentados e resultados alcançados.

Esses relatórios costumam incluir informações sobre o escopo do projeto, prazos, orçamentos, objetivos e metas alcançados.

Os relatórios conclusivos, além de uma análise abrangente, podem destacar também as lições aprendidas ao longo do projeto, as quais podem incluir:

- Boas práticas identificadas e utilizadas;
- Dificuldades e soluções adotadas;
- Sugestões para otimizar recursos materiais ou humanos;
- Aprimoramento da comunicação interna ou externa;
- Fortalecimento nas Análises de Riscos.





# 05 MINERAÇÃO: PROCESSOS – MAIORES CONSUMOS

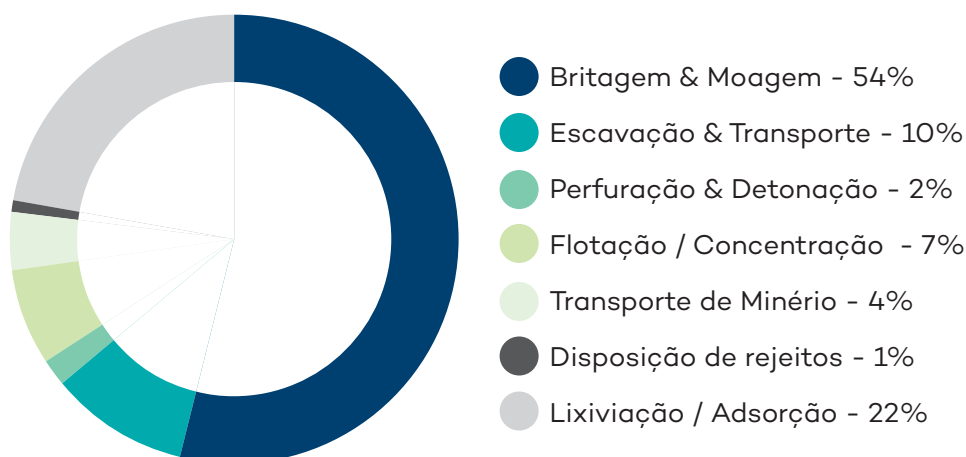
<b>5.1</b>	<b>Cominuição</b>	<b>78</b>
5.1.1	Motores Elétricos	79
5.1.2	Acoplamento Motor Carga	91
5.1.3	Britadores e Peneiras	93
5.1.4	Correias Transportadoras	97
5.1.5	Moinhos	98
5.1.6	Ventiladores	102
5.1.7	Bombas	107
5.1.8	Compressores	108
<b>5.2</b>	<b>Transporte</b>	<b>123</b>
5.2.1	Objetivos estratégicos na área de transporte	124
5.2.2	Oportunidades na área de transporte	124
5.2.3	Motores diesel	127
5.2.4	Eletrificação de caminhões	130
5.2.5	Cases na área de transporte	131

## 5.1 Cominuição

**Cominuição é a etapa do processamento mineral em que o objetivo principal é a redução do tamanho de fragmentos e das partículas minerais.**

As etapas iniciais de fragmentação, quando ainda são gerados tamanhos de fragmentos de rochas relativamente grandes, constituem as etapas de britagem. Para alcançar a obtenção de tamanhos menores, a cominuição é realizada pelas etapas de moagem. Em todo o processamento mineral, a cominuição é responsável pelo maior consumo de energia.

**Gráfico 5 - Média do consumo energético na mineração**



Fonte: [www.mining.com](http://www.mining.com) - adaptado pelos autores

O consumo de energia por unidade de massa é função da diminuição do tamanho do produto fragmentado gerado. A separação das partículas fragmentadas tem importância, uma vez que não basta fragmentar as partículas, mas também separar e selecionar de forma a evitar fragmentações desnecessárias. Caracterizar o consumo de energia em função da granulometria do produto é, portanto, a base para projetar, dimensionar e selecionar equipamentos para circuitos industriais de cominuição.

Circuitos de cominuição são configurados em etapas sucessivas em que partículas fragmentadas dentro das especificações seguem o fluxo para as etapas seguintes. As partículas fragmentadas que não atendem aos limites e especificações definidas retornam para novamente serem fragmentadas e avaliadas se estão, ou não, dentro das condições para atender aos requisitos das etapas seguintes. Esta sequência inicia no próprio desmonte do minério seguidos pela britagem e pela moagem.





A eficiência de processos de beneficiamento de minérios é função da correta combinação entre etapas de cominuição e classificação, entre métodos, técnicas e processos que envolvam a fragmentação e separação de partículas. Somados a um processo eficiente de cominuição estão os equipamentos e componentes que realizam o trabalho da fragmentação. Estes equipamentos são os britadores, correias transportadoras, moinhos, bombas e outros que se tornam necessários para a realização do trabalho.



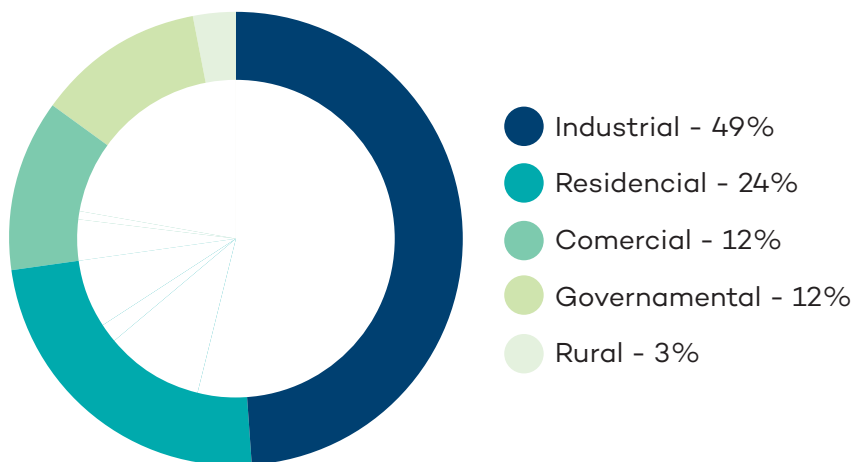
### 5.11 Motores Elétricos

Os motores elétricos podem ser confeccionados nas mais variadas formas e configurações, de acordo com as características de funcionamento e aplicação desejadas. De acordo com a fonte de alimentação, os motores podem ser projetados para trabalho em corrente contínua (CC) ou corrente alternada (CA). Os motores que trabalham em CA são classificados como monofásicos e trifásicos.

A característica básica dos motores de indução é processar a conversão eletromecânica de energia, convertendo energia da forma elétrica para mecânica. Os motores de indução trifásicos são os maiores consumidores de energia elétrica nas indústrias, portanto se destacam nos estudos de conservação e eficiência energética.

O gráfico abaixo representa o consumo de energia por setor.

**Gráfico 6 - Consumo por setor**

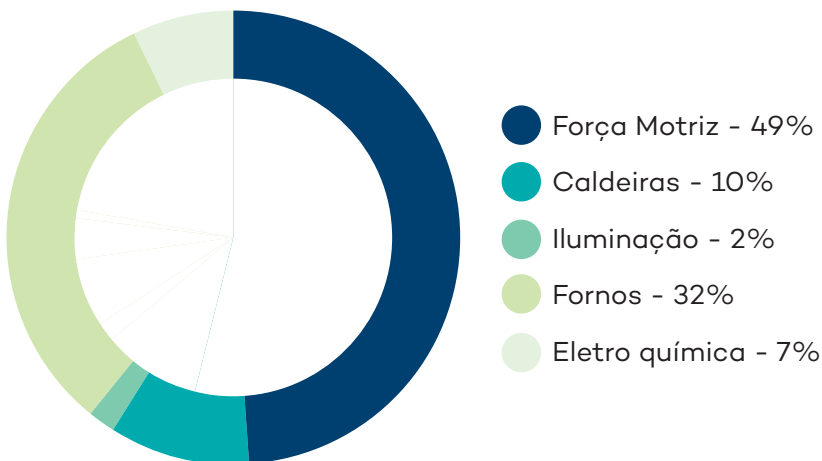


Fonte: PROCEL - adaptado pelos autores



O gráfico a seguir representa os principais consumidores industriais.

**Gráfico 7 - Consumidores Industriais**



Fonte: PROCEL - adaptado pelos autores

Os motores acionados em corrente alternada (CA) são classificados de acordo com sua construção em **Síncronos** ou **Assíncronos** (de indução). Os motores síncronos são eficientes, mas seu alto custo e dificuldades para partida fazem seu uso ficar restrito, por exemplo, para aplicações que requerem velocidade estritamente constante.

O **motor síncrono** apresenta como vantagens um bom rendimento, poder operar com fator de potência (FP) capacitivo ou unitário e é mais econômico para elevadas potências e baixas velocidades. O alto custo da aquisição, ser fabricado sob encomenda, a elevada inércia na partida e exigir mais manutenção são desvantagens.

O **motor assíncrono** (de indução) pode ser com rotor bobinado ou rotor formado por um pacote de lâminas ferromagnéticas curto-circuitadas chamado de rotor gaiola de esquilo. Os motores assíncronos trifásicos – indução de gaiola – são a grande maioria dos motores elétricos utilizados nas indústrias.

Desde a sua concepção no final do século 19, os principais fatores que influenciaram a sua evolução foram:

- a. Utilização de materiais que apresentam melhores propriedades magnéticas:
  - Ferro com baixo teor de carbono;



- Aços especiais de baixo carbono com adição de pequeno percentual de silício;
  - Aço silício (ligas com até 3% de Si).
- b.** Processamento térmico das lâminas para redução das perdas por histerese e por correntes parasitas
- c.** Desenvolvimento e uso de novos materiais isolantes que suportam temperaturas bem mais elevadas e altas capacidades de isolamento;
- d.** Sistemas que possibilitam maior refrigeração com a troca de calor mais eficaz.

Os fabricantes de motores em um trabalho conjunto com entidades governamentais desenvolvem esforços com objetivo de oferecer motores mais eficientes. Para comercialização no Brasil, o decreto 4508 de 11 de dezembro de 2002 ([https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2002/d4508](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4508)) regulamenta os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo, de fabricação nacional ou importados comercializados no Brasil.

A Portaria Interministerial nº 1 estabelece os níveis mínimos de eficiência energética a serem atendidos pelos Motores Elétricos Trifásicos de Indução Rotor Gaiola de Esquilo em IR3, válido para todos os motores comercializados, sejam novos, sejam usados. Implica a obrigatoriedade do atendimento dos novos níveis de rendimentos estabelecidos para motores elétricos trifásicos, incluindo a faixa de potência de 0,16 a 500 cv, de 2 a 8 polos, conforme tabela abaixo.

**Tabela 6 - Rendimentos nominais mínimos**

Potência Nominal		Velocidade Síncrona (rpm)			
kW	CV	3600	1800	1200	900
		(2 Polos)	(4 Polos)	(6 Polos)	(8 Polos)
Rendimento Nominal					
0,12	0,16	62,0	66,0	64,0	59,5
0,18	0,25	65,6	69,5	67,5	64,0
0,25	0,33	69,5	73,4	69,0	68,0
0,37	0,50	73,4	78,2	75,3	72,0
0,55	0,75	76,8	79,0	79,5	74,0



Potência Nominal		Velocidade Síncrona (rpm)			
kW	CV	3600	1800	1200	900
		(2 Polos)	(4 Polos)	(6 Polos)	(8 Polos)
Rendimento Nominal					
0,75	1	80,5	83,5 <sup>a</sup>	82,5	75,5
1,1	1,5	84,0	86,5 <sup>b</sup>	87,5 <sup>c</sup>	78,5
1,5	2	85,5	86,5	88,5 <sup>d</sup>	84,0
2,2	3	86,5	89,5 <sup>e</sup>	89,5 <sup>f</sup>	85,5
3	4	88,5	89,5	89,5	86,5
3,7	5	88,5	89,5	89,5	86,5
4,4	6	88,5	89,5	89,5	86,5
5,5	7,5	89,5	91,7 <sup>g</sup>	91,0	86,5
7,5	10	90,2	91,7	91,0	89,5
9,2	12,5	91,0	92,4	91,7	89,5
11	15	91,0	92,4	91,7	89,5
15	20	91,0	93,0	91,7	90,2
18,5	25	91,7	93,6	93,0	90,2
22	30	91,7	93,6	93,0	91,7
30	40	92,4	94,1	94,1	91,7
37	50	93,0	94,5	94,1	92,4
45	60	93,6	95,0	94,5	92,4
55	75	93,6	95,4	94,5	93,6
75	100	94,1	95,4	95,0	93,6
90	125	95,0	95,4	95,0	94,1
110	150	95,0	95,8	95,8	94,1
132	175	95,4	96,2	95,8	94,5
150	200	95,4	96,2	95,8	94,5
185	250	95,8	96,2	95,8	95,0
220	300	95,8	96,2	95,8	95,0
260	350	95,8	96,2	95,8	95,0
300	400	95,8	96,2	95,8	95,0
330	450	95,8	96,2	95,8	95,0
370	500	95,8	96,2	95,8	95,0



Potência Nominal		Velocidade Síncrona (rpm)			
kW	CV	3600	1800	1200	900
		(2 Polos)	(4 Polos)	(6 Polos)	(8 Polos)
Rendimento Nominal					
ª Para motores na carcaça 80, o valor mínimo de rendimento é 83%					
º Para motores na carcaça 80, o valor mínimo de rendimento é 84%					
º Para motores na carcaça 90, o valor mínimo de rendimento é 85,5%					
º Para motores na carcaça 100, o valor mínimo de rendimento é 86,5%					
º Para motores na carcaça 90, o valor mínimo de rendimento é 87,5%					
º Para motores na carcaça 100, o valor mínimo de rendimento é 87%					
º Para motores na carcaça 112, o valor mínimo de rendimento é 91%					

Fonte: ABNT NBR 17.094-1/2013 citada na Portaria Interministerial nº 1, de 29 de junho de 2017

## ■ REDUÇÃO DAS PERDAS NO MOTOR

A tabela a seguir mostra a distribuição típica de perdas de motores standard e de alto rendimento, considerando motor 50 HP, 4 polos.

**Tabela 7** - Comparação entre perdas de motor standard X alto rendimento

Perdas	Motor Standard		Motor de Alto Rendimento		Redução de Perda (kW)
	kW	%	kW	%	
Nos núcleos	0,725	18,5	0,180	7,7	0,545
Mecânicas	0,373	9,5	0,281	12	0,092
Efeito Joule no estator	1,319	33,7	0,911	38,9	0,408
Efeito Joule no rotor	0,646	16,5	0,668	28,6	<b>-0,022</b>
Suplementares	0,852	21,8	0,299	12,8	0,553
<b>TOTAL</b>	<b>3,915</b>	<b>100</b>	<b>2,339</b>	<b>100</b>	<b>1,576</b>

Fonte: Caderno Motores Programa Eficientização Industrial da ELETROBRÁS/PROCEL



Estas perdas verificadas são relativas ao projeto e à fabricação do motor, e demonstram a oportunidade de ganhos energéticos ao definir e especificar a utilização de motores de **Alto Rendimento**. As perdas internas, de acordo a tabela acima, são:

### ■ **PERDAS NO NÚCLEO**

São perdas por correntes parasitas ou histerese e podem ser reduzidas pela diminuição da densidade de fluxo por meio do aumento do comprimento do pacote magnético (lembrando que aumenta também peso e volume). Outro procedimento para redução destas perdas é a utilização de material magnético com melhor qualidade.

### ■ **PERDAS MECÂNICAS**

São as perdas por atritos e podem ser reduzidas utilizando rolamentos de baixas perdas e melhor lubrificação (plano de lubrificação e qualidade do lubrificante). É uma parcela pequena, mas é um trabalho simples e pode trazer benefícios.

### ■ **PERDAS POR EFEITO JOULE NO ESTATOR**

Estas perdas são proporcionais à resistência do enrolamento e ao quadrado da corrente elétrica da alimentação.

### ■ **PERDAS POR EFEITO JOULE NO ROTOR**

A redução destas perdas é feita pelo aumento do material condutor da gaiola.

### ■ **PERDAS SUPLEMENTARES**

As perdas nos motores não são independentes. Por exemplo, quando aumenta o pacote de lâminas, isso provoca aumento no comprimento dos condutores e conseqüentemente aumentam as perdas por Efeito Joule no estator. O projeto final dos motores deve considerar um balanço das perdas, de modo a ter um Alto Rendimento mantendo os conjugados de partida, capacidade de sobrecarga, corrente de partida e fator de potência.



### **OS MOTORES DE ALTO RENDIMENTO APRESENTAM MUITAS VANTAGENS QUANDO COMPARADOS AOS MOTORES STANDARD:**



- Economia no consumo de energia elétrica;
- Operam com menores temperaturas (devido redução das perdas);
- Suportam melhor as condições anormais de alimentação;
- Apresentam rendimento maior e mais constante em cargas abaixo da nominal.

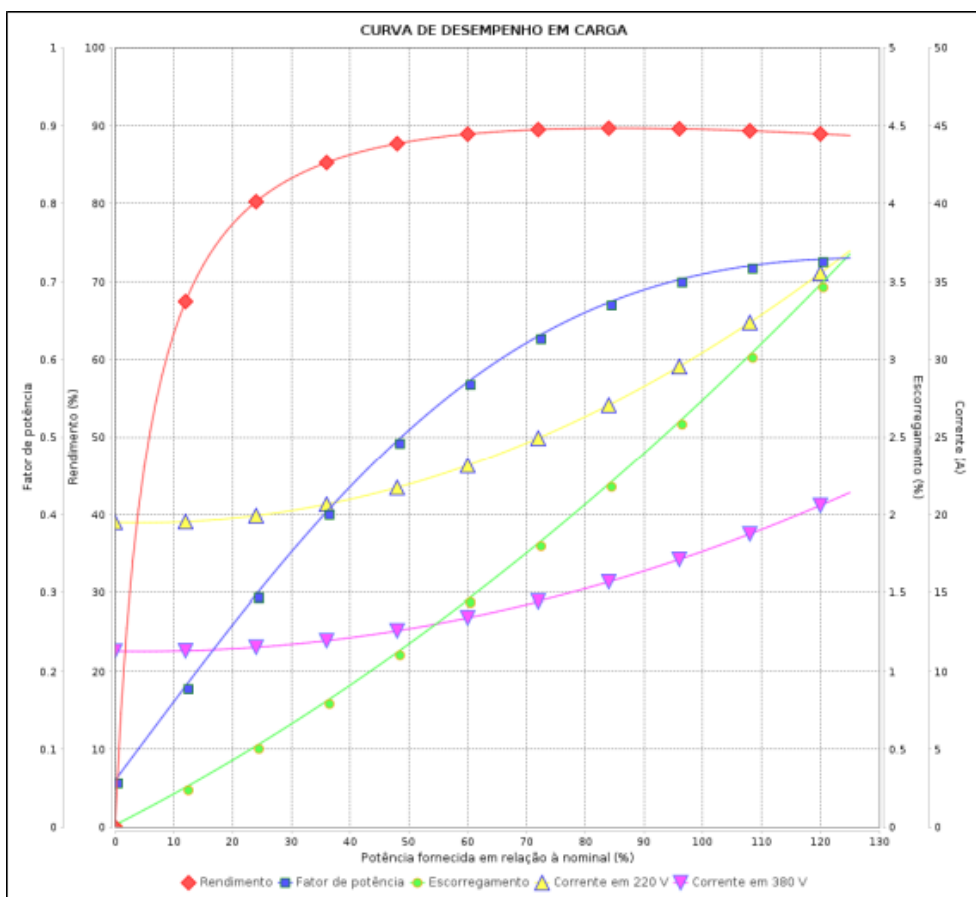
Na utilização dos motores de Alto Rendimento, torna-se necessário atenção especial para as reformas e reparos destes motores. A recuperação de um motor de Alto Rendimento pode introduzir fatores que irão aumentar consideravelmente as perdas em relação ao motor original.

É importante que as empresas mantenham, sob o ponto de vista do controle da manutenção, o registro dos dados originais de corrente e consumo a vazio de cada motor. Estes dados devem ser comparados após cada reparo. Se a corrente a vazio for maior que os valores de corrente dos registros originais, isso indica que a substituição deste motor por um motor novo pode se tornar bem vantajosa em aspectos de eficiência energética.

O gráfico abaixo mostra a curva característica de desempenho em carga de um motor fabricação WEG, modelo W22 WELL IR3 Premium Trifásico, 7,5 kW (10CV), 220/380 V, 60 Hz, 8P. Na curva observamos que a corrente nominal, para tensão de 380 V é 17,9 A. A corrente a vazio está em torno de 12,5 A para 380 V. Caso este motor, após rebobinado, apresentar uma corrente em vazio superior aos 12,5 A, significa que ocorreu uma deterioração na bobinagem e elevará as perdas. A substituição deste motor reformado por um motor novo deve ser avaliada sob o ponto de vista da eficiência energética.



**Gráfico 8** - Curva característica de desempenho sob variação de carga



Fonte: WEG modelo W22 WELL IR3 Premium Trifásico

Ainda em consideração à manutenção outros aspectos devem ser avaliados, como a rotina da limpeza e remoção de materiais que possam obstruir o sistema de refrigeração, permitindo eficiente circulação de ar e a consequente remoção do calor interno. Sujeiras como pó de minério, fibras e outros interrompem e reduzem a passagem de ar. Motores que ficam parados por algum tempo em ambientes úmidos deterioram a isolação e podem fornecer caminhos para **fugas de corrente**.

Cuidados com os rolamentos e mancais devem ser observados. Lubrificação constante respeitando os intervalos de tempo, o tipo e a quantidade de graxa. Ao trocar rolamentos, utilizar ferramentas corretas evitando as pancadas, porque as esferas podem marcar a pista de rolagem causando consumo de energia. As polias devem ser adaptadas evitando esforço sobre o rolamento. Esta é uma das principais causas de danos em rolamentos.



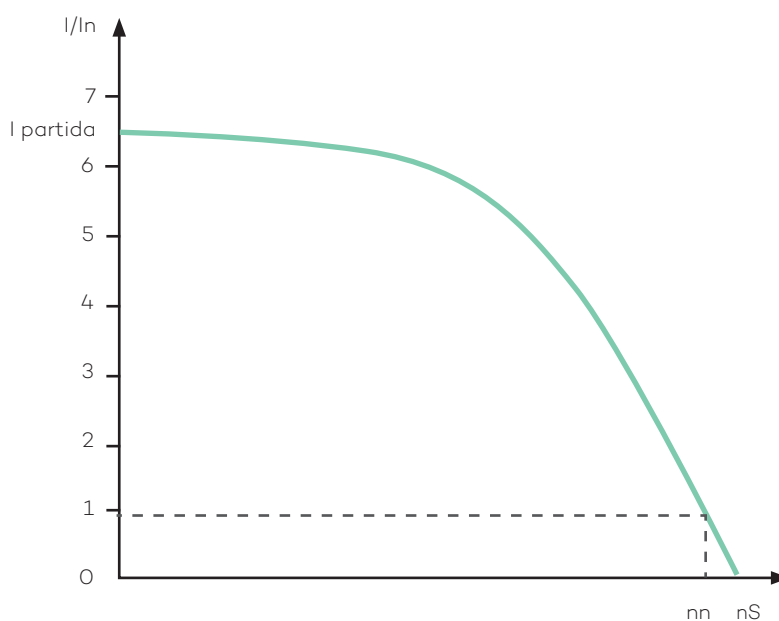


O mau contato elétrico também é um problema. A inspeção e manutenção periódicas nos terminais do motor, nos contatos dos dispositivos de partida, nos elementos de comando podem evitar esses problemas de mau contato. Conexões frouxas, resistência de contatos, oxidação produzem perdas e desperdícios e, além disso, podem causar sérios riscos na instalação.

As cargas em sistemas de transmissão mecânica, axiais ou radiais, não devem exceder o que o motor suporta. Transmissões inadequadas e acoplamentos desalinhados produzem esforços excessivos e causam perdas de energia, além de desgaste nos mancais, deformações e até ruptura por fadiga. Verificar detalhes no item 3.1.2 – Acoplamento Motor Carga.

O gráfico seguinte mostra o comportamento da corrente na condição de partida em comparação com a corrente nominal.

**Gráfico 9** - Curva de corrente X velocidade de um motor de indução trifásico



A carga não tem influência na corrente de partida, ou seja, se ele parte em carga ou em vazio, a corrente de partida é a mesma em cada velocidade durante a aceleração. A influência está relacionada ao tempo da partida. Quanto maior a carga ou quanto mais “pesada” for a partida, maior tempo com corrente elevada, propiciando aumentos de temperatura e consequentemente perdas energéticas. Sempre que possível, o motor deve partir vazio e a carga inserida após atingir a velocidade de trabalho.



Os motores devem ser preparados para o trabalho que estarão sujeitos a realizar. O modo como se comporta a carga é chamado **Regime de Serviço**. As cargas nem sempre são constantes, os motores podem sofrer partidas consecutivas, reversões ou frenagens. Estas irregularidades podem provocar elevação de temperatura, produzir esforços danosos e conseqüentemente perdas energéticas. A tabela abaixo mostra as principais características dos Regimes de Serviço.

**Tabela 8 - Regime característico de funcionamento do motor de indução trifásico**

<b>Regime Tipo</b>	<b>Características</b>
S1	Regime contínuo
S2	Regime de tempo limitado
S3	Regime intermitente periódico
S4	Regime intermitente periódico com partida
S5	Regime intermitente periódico com frenagem elétrica
S6	Regime contínuo e periódico com carga intermitente
S7	Regime contínuo e periódico com frenagem elétrica
S8	Regime contínuo e periódico com mudanças correspondentes de carga e de velocidade
S9	Regime com variações não periódicas de carga e velocidade
S10	Regime com cargas constantes distintas

Outro fator que deve ser verificado é o equilíbrio das tensões de fase. O desequilíbrio entre as fases de alimentação gera correntes excessivas circulando no motor e provocando perdas, elevação de temperatura e conseqüentemente não é bom para a eficiência energética. Os problemas do desequilíbrio podem ser sistema trifásico em que são desproporcionais as instalações monofásicas, tais como iluminação e motores monofásicos. A utilização de cabos com bitolas diferentes é outro fator que pode causar o desequilíbrio.

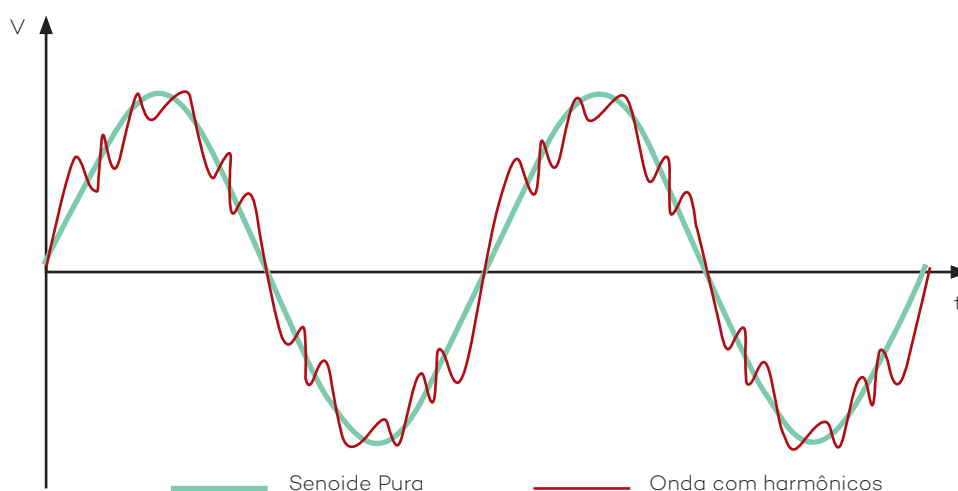


Desequilíbrio das tensões de alimentação é um vilão prejudicial e silencioso nas instalações. Desequilíbrios de 3,5% na tensão podem aumentar as perdas do motor em 20%. Pequenos desequilíbrios da ordem de 1% a 2% são prejudiciais e ocasionam aumentos significativos no consumo de energia por muito tempo, sem serem detectados, principalmente se o motor está superdimensionado. A tensão da rede deve ser regularmente monitorada e um desequilíbrio maior do que 1% deve ser corrigido.

Os motores elétricos de indução trifásicos devem ser alimentados por tensões com comportamento senoidal, mas com o emprego dos inversores de frequência, a forma de onda senoidal deixa de ser pura e passa a ter um comportamento diferente com uma série de harmônicos. Os harmônicos aumentam as perdas do motor, reduzem o conjugado disponível para a carga e provocam a existência de conjugados pulsantes, produzindo elevação da temperatura e, com isso, uma perda de eficiência energética. O gráfico seguinte mostra uma onda senoidal pura em comparação com onda com harmônicos.

Segundo a ABNT NBR 17094-1: 2013, os motores de indução trifásicos devem poder funcionar sob uma tensão de alimentação cujo Fator de Harmônicos de Tensão (FHV) seja igual ou inferior a 0,02. Os motores de categoria N devem poder funcionar sob uma tensão de alimentação cujo FHV seja igual ou inferior a 0,03.

**Gráfico 10 - Onda Senoidal e onda contendo Harmônicos**



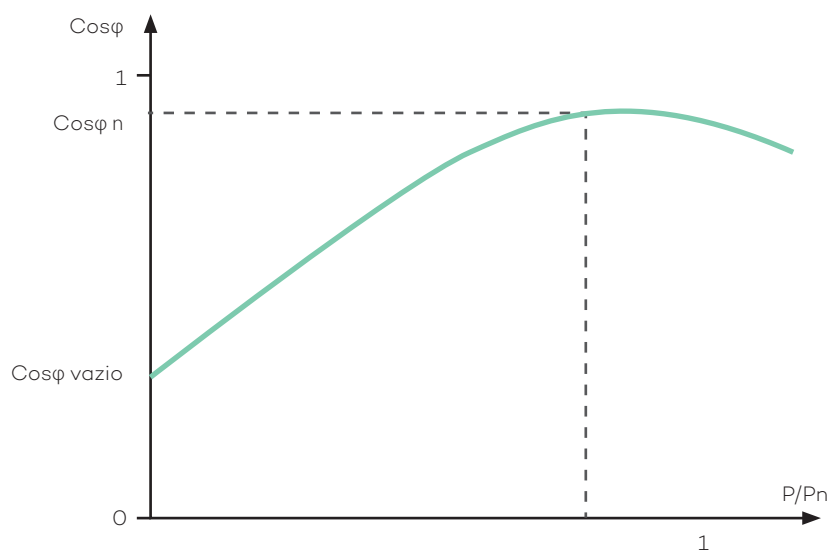
O maior motivo de desperdício de energia elétrica nas indústrias é o motor superdimensionado.



**AS RAZÕES MAIS FREQUENTES PARA O SUPERDIMENSIONAMENTO SÃO:**

- Aplicação de fatores de segurança nas etapas de projeto;
- Expectativa de aumento de carga futura;
- Substituição pela manutenção do motor por um motor de maior potência (por não ter no estoque no momento ou por buscar garantias de o processo não parar);
- Desconhecimento da carga e dos métodos de dimensionamento.

Além das perdas de eficiência energética, os motores superdimensionados causam uma piora no fator de potência, que além da perda energética ainda causa problemas com potência ativa e reativa. O gráfico abaixo mostra que em vazio o fator de potência é muito baixo (potência ativa entregue ao motor é praticamente a necessária para suprir somente as perdas, sem realizar trabalho). O fator de potência cresce com o carregamento do motor, atingindo valores mais próximos da unidade quando o motor está operando a partir de 75% de sua potência nominal.

**Gráfico 11** - Curva típica do Fator de Potência em função da carga



## 5.1.2 Acoplamento Motor Carga

Na grande parte das instalações industriais, o motor deve ser conectado com a carga. Esta conexão é feita pelo Acoplamento. Além de ser o elemento de conexão, transmite a potência mecânica, ajusta a rotação do motor à rotação da carga e suaviza a partida (em alguns casos). As medidas de eficiência energética dos acoplamentos apresentam resultados rápidos e geralmente são fáceis de serem implementadas. Os acoplamentos podem ser:

### ■ RÍGIDOS

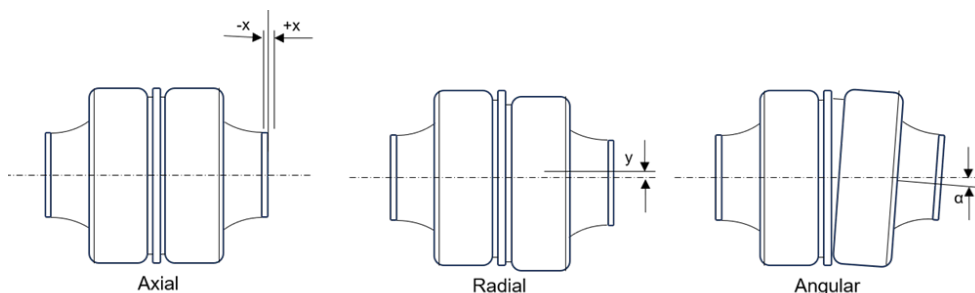
Usados em casos particulares em que o alinhamento entre os eixos deve ser feito com perfeição absoluta ou então quando não existem mancais intermediários entre as máquinas. Como medida para eficiência energética, deve-se verificar o alinhamento perfeito entre os eixos, evitando assim a sobrecarga dos mancais e conseqüente consumo excessivo.

### ■ ELÁSTICOS

É o tipo mais usado para unir motores a outros equipamentos. Possibilitam a compensação de folgas axiais. São de diversos tamanhos e formas construtivas e têm como ponto comum o uso de elementos flexíveis. Mesmo que os acoplamentos elásticos compensem pequenos desalinhamentos entre os eixos, deve-se fazer com que os eixos fiquem alinhados da melhor maneira possível. A figura 8 mostra três tipos de desalinhamento.

Quanto à eficiência energética, não apresenta grandes problemas, mas devem ser mantidos limpos. Quando recomendado pelo fabricante, devem ser mantidos lubrificados para não haver sobrecargas e conseqüente consumo indevido.

**Figura 8** - Alinhamento e desalinhamento de acoplamentos elásticos



## **HIDRÁULICOS**

Usado quando necessita aceleração suave da carga. O princípio de funcionamento é a circulação de óleo entre dois rotores. O eixo primário está fixado a um rotor que funciona como bomba e no eixo secundário está o rotor que funciona como turbina. O óleo é bombeado do primário para o secundário.

## **CORREIAS PARA TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA**

Podem ser correias planas ou correias em “V” (trapezoidais), que são as mais usadas. As vantagens das correias em “V” em relação às correias planas são menor tamanho das transmissões, padronização dos perfis utilizados e menor custo por kW transmitido (pode ser explicado pelo efeito de cunha).

Como medidas para eficiência, deve-se observar se a correia está com coloração pastosa deteriorando, se há desgaste excessivo nas laterais ou na base das correias. São sintomas de contaminação de óleo que pode provocar deslizamento ou correia frouxa. Nestes casos, o deslizamento, a correia frouxa provoca a diminuição do rendimento e conseqüentemente a perdas energéticas.

## **CORRENTES DE TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA**

Transmissão é feita pelo engrenamento, portanto não há deslizamento e nem estiramento e permite torques mais elevados. Podem ser fileiras de correntes simples, duplas e até mais fileiras. Os pinos dos roletes são contra pinados, rebitados ou presos por meio de arruelas trava.

Por não haver deslizamentos, são elementos de alto rendimento, mas deve-se observar superaquecimento das correntes, o que pode indicar subdimensionamento ou velocidades elevadas. Todos os cuidados com lubrificação devem ser tomados.

## **REDUTORES DE VELOCIDADE**

Constituem um dos melhores métodos de acoplamento entre os vários disponíveis. Permitem transmissão sem deslizamento, com relação de transmissão fixa e, na maioria dos casos, com elevado rendimento e pouca geração de calor. Um redutor bem instalado é silencioso, tem grande



durabilidade e não apresenta superaquecimento. Os principais problemas relativos às medidas para eficiência são:

- **Superaquecimento:** causado por sobrecarga, excesso de velocidade, falhas na refrigeração ou lubrificação;
- **Ruído excessivo ou vibração:** causado por folgas exageradas, material estranho entre os dentes.



### 5.1.3 Britadores e Peneiras

Britagem é definida como conjunto de operações para fragmentação dos blocos de minério vindos da mina. É etapa do processo que objetiva levar o minério à granulometrias compatíveis com as próximas etapas do processo. Diferentes tamanhos e tipos de minérios são aplicados nos britadores e a fragmentação é feita em estágios.

A britagem pode ter várias etapas:

#### 5.1.3.1 Britagem Primária

Operam em circuito aberto e realizada a seco. Os britadores empregados na britagem primária são os britadores de mandíbulas, giratórios, impactos e rolos dentados.

- **Britador de mandíbula:** simples e robustos. Funcionam por compressão em que uma mandíbula fixa e outra móvel comprimem o material contra uma superfície rígida.
- **Britador giratório:** são os maiores e mais robustos. Funcionam por compressão entre um manto cônico e uma superfície de revestimento fixa.
- **Britador de impacto:** são bons para materiais de dureza média. Funcionam por impacto entre o material alimentado e barras de impacto ou martelos giratórios.
- **Britador de rolos:** muito usados para materiais friáveis como carvão e calcário. Funcionam comprimindo o material entre dois rolos giratórios que se movem em direções opostas.



### 5.1.3.2 Britagem Secundária

Como o próprio nome indica, é a britagem que dá sequência à britagem primária. O objetivo é a redução granulométrica para a próxima etapa que pode ser a moagem. É comum nas britagens secundárias o “escalpe”, que é seleção e descarte de fração fina na alimentação, objetivando aumento da capacidade de produção.

Os britadores utilizados podem ser os mesmos da britagem primária (com tamanhos menores) e os britadores cônicos.

- **Britador cônico:** mesmo princípio do giratório, porém o manto e o cone apresentam longas superfícies paralelas para garantir um tempo maior das partículas nessa área.

### 5.1.3.3 Britagem terciária

Em geral, é o último estágio de britagem, porém existem usinas com mais de três estágios. São importantes a granulometria e o produto final, portanto exigem maior controle operacional. Operam em circuitos fechados.

### 5.1.3.4 Aspectos energéticos

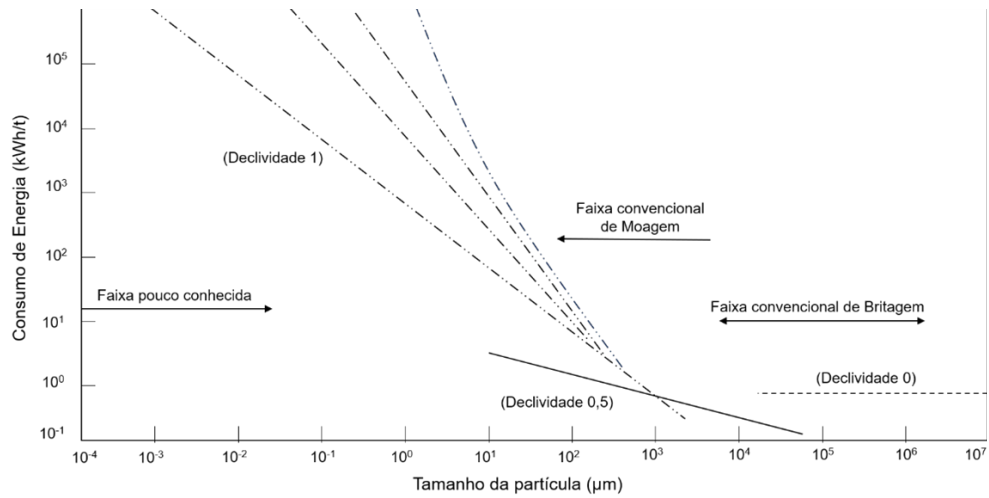
A maior parte da energia aplicada nos britadores e moinhos é perdida em decorrência da deformação e atrito. A eficiência inicia-se no projeto, na definição dos britadores. A teoria mais antiga é a de Rittinger (1867), na qual a energia consumida na redução é proporcional à área da nova superfície produzida.

Outras teorias foram sendo elaboradas ao longo dos anos. Em 1961, Hukki verificou que cada uma das equações propostas nas teorias tinha aplicação em certas faixas granulométricas conforme gráfico 12.





**Gráfico 12 - Relação entre energia fornecida e tamanho da partícula**



Fonte: CETEM: Tratamento de Minérios 5ª. Edição (p.159)

Utilizar motores de alto rendimento, sistemas de automação para monitorar e otimizar o consumo de energia elétrica é extremamente importante e isso deve ser considerado, mas a eficiência energética dos britadores está relacionada ao seu desempenho na redução do tamanho do material. Britadores que conseguem reduzir o tamanho do material de forma mais eficiente consome menos energia por tonelada de material processado.

A eficiência na britagem começa na detonação da rocha, pois essa detonação deve gerar material que seja compatível com o tamanho da boca do britador primário. O processo iniciado com a retirada de rochas na mina ganha eficiência quando o material chega para ser cominuído.

A “quebra” ideal da rocha facilita a britagem primária, reduzindo o consumo de energia, o desgaste dos britadores e facilitando o fluxo do material. Uma boa detonação gera menos “matacos” e reduz a necessidade de executar outras operações para adequar a rocha ao tamanho da boca de admissão do britador primário.

Conhecer os números de redução em cada estágio do processo e respeitá-los é o primeiro passo da eficiência nas britagens primárias, secundárias, terciárias ou outras seguintes se houver. Os britadores e peneiras devem trabalhar na maior carga possível, não estando vazios e nem “afogados”.



**EM RESUMO, ALGUMAS MANEIRAS DE MELHORAR A EFICIÊNCIA NOS BRITADORES E PENEIRAS SÃO:**

- Limitar o tamanho da rocha a no máximo 80% da largura da boca (evitar o engaiolamento e travar a produção);
- Controlar a carga alimentada no britador. Evitar sobrecarregar o britador pode reduzir o consumo de energia e mantém a produção estável;
- Limitar o tamanho por meio da seleção e classificação nas peneiras para as britagens secundárias, terciárias e outras seguintes se houver (evitar rochas engaioladas e transbordos);
- A Abertura da Posição Fechada (APF) deve ser acompanhada e ajustada frequentemente. Dependendo do material, pode ser feito diversas vezes por semana;
- Alimentar os britadores e peneiras de maneira adequada, de forma centralizada, sem segregação para um dos lados. O material bem centralizado será distribuído de forma mais eficiente;
- Para o peneiramento, o ideal é alcançar de 80 a 95% de eficiência em cada “malha”. Se passar disso, pode ser que nem precise da peneira e, se tiver abaixo de 80%, deve ter alguma falha no processo;
- Manutenção planejada e programada adequadamente é fundamental para garantir o bom funcionamento e a eficiência energética (lubrificação, desgastes, atritos, etc...)

Em resumo, a eficiência energética dos britadores e peneiras é influenciada por uma combinação de fatores, incluindo o desempenho do britador, tipo de britador, configuração de operação, manutenção adequada e adoção de tecnologias para controle. Ao considerar esses aspectos e implementar práticas de operação e manutenção eficientes, o consumo de energia e os custos operacionais associados à britagem serão reduzidos.





## 5.1.4 Correias Transportadoras

Correias transportadoras predominam no transporte de materiais granulados. Possuem vantagens como baixo custo operacional, segurança, longa vida útil e pode ser adotada para uma ilimitada capacidade de carga. São utilizadas em diversos processos garantindo fluxo contínuo de materiais entre duas operações sucessivas.

O tamanho do material a ser transportado fica limitado pela largura da correia, podendo transportar desde materiais delicados e frágeis até grandes fragmentos de minério. As correias transportadoras podem vencer desníveis de 35% comparados aos 12% para os caminhões. Podem passar por cima de estradas, transpor rios, áreas congestionadas e manter contínuo o fluxo do minério transportado.

A resistência total contra o movimento da correia é o somatório das resistências que são impostas pelos componentes do transportador, inclusive calhas de alimentação e descarga. A tabela abaixo mostra as resistências envolvidas contrárias ao movimento.

**Tabela 9 - Resistência contra o movimento das correias transportadoras**

### Resistências ao movimento

TRC	Resistência dos roletes no lado da carga
TRL	Resistência dos roletes no lado livre
TC	Resistências distribuídas em trechos curvos
TE	Resistências distribuídas em trechos inclinados
TP	Resistência concentrada em polias e tambores
TD	Resistência concentrada nos pontos de descarga
TA	Resistência concentrada para a aceleração da carga
TL	Resistência concentrada nos dispositivos de limpeza
TS	Resistência concentrada nas abas laterais

A resistência total ao movimento é dada pela equação abaixo:

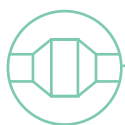
$$RTOTAL = TRC + TRL + TC + TE + TP + TD + TA + TL + TS$$



Os trabalhos que envolvem eficiência energética, conservação de energia ou redução do consumo devem ser analisados com uma visão global do sistema e não somente de um pequeno módulo. Os motores (força eletromotriz) grandes consumidores, mas o sistema deve ser visto como um todo e executado em blocos.

A equação mostra que, ao atacar as resistências ao movimento, o conjunto será mais eficiente:

- Melhorar os sistemas de limpeza (reduzir TL). São valores pequenos, mas as correias transportadoras de um sistema de britagem podem ter vários dispositivos de limpeza;
- O estado dos roletes é um ponto crucial. Roletes limpos, lubrificados permitem passar de uma condição considerada “difícil” para uma condição considerada “média” e com isso reduzindo os coeficientes de resistência de 0,035 para 0,025 no lado carregado e 0,030 para 0,022 no lado livre;
- A calha de carregamento terá ganho se o material já entrar com certa velocidade na correia. Como exemplo, uma carga que cai verticalmente sobre a correia terá maior resistência que uma carga que já cai com alguma velocidade usando uma chapa de desvio;
- Sempre que possível, evitar desviadores no descarregamento, optando pelo descarregamento por cima da polia motora;
- Trabalhar a área da correia carregada. Roletes em linha com ângulo de 45° não permitem ocupar toda seção da correia. Ocupando maior seção da correia, pode ser reduzida a velocidade para a mesma vazão.



### 5.15 Moinhos

O processo de moagem é fundamental para reduzir a granulometria das partículas no tratamento de minérios. Na cominuição a moagem é a segunda etapa da fragmentação, sendo a britagem a primeira. Na britagem a fragmentação é mais grosseira, enquanto na moagem o objetivo são materiais fragmentados mais finos.

Na moagem as partículas são reduzidas pela combinação de impacto, compressão, abrasão e atrito a um tamanho ideal para as etapas seguintes. É um processo com alto consumo de energia, portanto deve ser estudado,

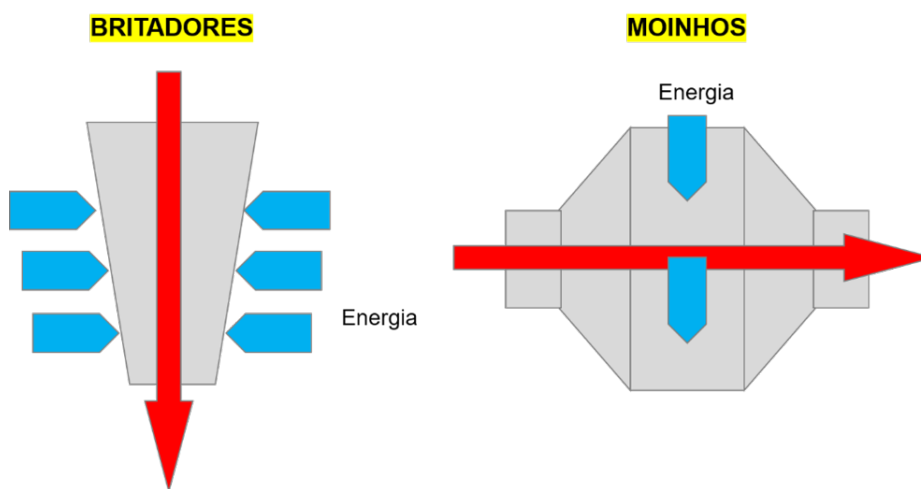


monitorado, controlado e gerenciado para se obter a melhor eficiência energética de acordo com o minério que entra no moinho.

A eficiência energética dos equipamentos da cominuição está diretamente relacionada à forma como a energia é utilizada para quebrar as partículas e ao tamanho das partículas do produto final. Um sistema de moagem eficiente é aquele que as partículas saem do campo de moagem assim que atingem o tamanho desejado, minimizando o consumo da energia necessária para a fragmentação.

Nos britadores, o transporte de material dentro do equipamento é vertical, enquanto nos moinhos o transporte do material acontece horizontalmente, o que requer um arranjo adequado para remover o material. Importante para a eficiência é o equipamento correto de acordo com as características e granulometrias desejadas dos materiais. A figura abaixo mostra basicamente o sentido do movimento nos britadores e nos moinhos.

**Figura 9 - Transporte de material em britadores e moinhos**



O processo de moagem pode ser:

- **Moagem a seco:** material é reduzido a seco, sem adição de água. Utilizado para casos específicos em que moagem úmida não é possível ou algum mineral que pode sofrer alterações com a água;
- **Moagem a úmido:** é o método mais utilizado por ser mais econômico com menor consumo de energia, maior capacidade dentro do moinho, eliminação de problemas com poeira. O material forma uma polpa com a água, facilitando o transporte.



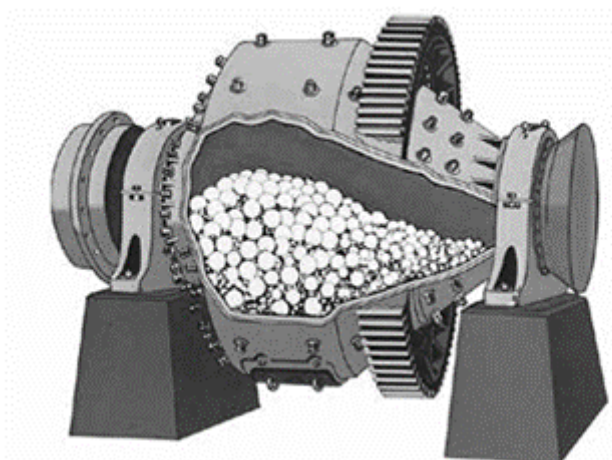
Os circuitos de moagem podem ser:

- **Abertos:** o material que alimenta o moinho passa por ele uma única vez, independentemente do tamanho que ele saia. Não é muito utilizado por não permitir controle eficaz no tamanho da partícula;
- **Fechados:** o material que sai pela descarga do moinho passa por equipamentos de classificação e as partículas de diâmetro superior ao de corte retornam até obter o tamanho desejado.

Os moinhos podem ser:

- **Moinhos de barras:** são moinhos tubulares que utilizam barras cilíndricas como corpos moedores. São usados em circuito aberto para obtenção de produto grosseiro preparando materiais para moinhos de bolas. Raramente são usados em circuito fechado, tipicamente com hidro ciclones ou com peneiras.
- **Moinhos de bolas:** usados como um único estágio para granulometrias de 10 a 15 mm. Podem ser usados no segundo estágio quando precedidos por moinhos de barras, autógenos, semiautógenos ou até mesmo como moinho primário, o que não é muito comum. As bolas (corpos moedores) podem ser de aço, fundidas ou forjadas, ou ferro fundido. Geralmente, elas têm um grau de enchimento próximo a 35% de bolas. É importante ter cuidado, porque nem sempre a bola mais “barata” apresenta a melhor eficiência.

**Figura 10** - Representação de um moinho de bolas



Fonte: Metso:Outotec – Basics in Minerals Processing Edition 12 (p 56)



- **Moinho de Seixos (pebbles):** são moinhos que utilizam seixos em lugar de bolas. Utilizados para moagem de materiais que não podem ser contaminados por corpos moedores metálicos.
- **Moinhos Semiautógenos:** moinhos que utilizam o próprio minério e também bolas de aço como corpos moedores. Podem tratar uma grande variedade de material e são ideais para moagem grossa de minérios úmidos como preparação para uma moagem final.
- **Moinhos Autógenos:** tipo de moinho que utiliza o próprio minério como corpo moedor. O minério para este tipo de moinho deve ter quantidade suficiente de pedaços competentes para atuarem como corpos moedores.

Concluindo, a eficiência energética dos moinhos depende de alguns fatores. Abaixo estão listados os principais fatores:

1. **Tipo do moinho:** equipamentos podem ter eficiências diferentes, por exemplo, a eficiência do moinho de bola é diferente do moinho de martelos;
2. **Características do material:** dureza, umidade ou outras propriedades podem afetar a eficiência energética;
3. **Configuração do equipamento:** velocidade, tipo de revestimento, número e tamanho das bolas, fator de carregamento influenciam o consumo da energia;
4. **Tamanho da alimentação e produto final:** como vimos, quanto menor for o tamanho do produto final desejado, mais energia será necessária;
5. **Minimização da sobremoagem:** evitar que as partículas sejam reduzidas a tamanhos menores do que o necessário, ajustando tempos de moagem ou sistemas de classificação eficazes;
6. **Monitoramento e controle do processo:** utilizar sistemas de controle capazes de otimizar a operação garantindo que as partículas sejam quebradas com mínimo de energia. Sistemas de monitoramento antecipatórios ou em tempo real são mais eficientes;
7. **Tecnologia e Inovações:** avanços tecnológicos podem gerar instrumentos controles mais eficientes. Por exemplo, tecnologias de automação podem otimizar o consumo;
8. **Manutenção e operação:** a eficiência energética é influenciada pela manutenção adequada e pela operação correta dos equipamentos.



Equipamentos mal mantidos ou operados de forma inadequada consomem mais energia do que o necessário.



### 5.1.6 Ventiladores

Os ventiladores, nos ambientes industriais, comerciais ou residenciais, são utilizados para renovação de ar por insuflamento ou por exaustão. O objetivo é manter o ar compatível com as exigências de saúde e bem-estar humano. Em ambientes industriais, os objetivos são eliminar agentes contaminantes (poeiras, gases, outros), manter temperatura, umidade e garantir ambiente de trabalho saudável.

Os ventiladores possuem seus níveis de classificação. De acordo com as pressões de trabalho, podem ser de baixa, média, alta e muito alta pressão. Segundo a forma construtiva, são radiais, axiais ou mistos. Em relação ao projeto de suas pás, podem ser pás radiais para trás, planas ou curvas, pás inclinadas para frente e pás curvas de saída radial. O material das pás ainda pode ser de chapa lisa ou com perfil de asa. E ainda podem ser classificados como simples estágio ou de duplo estágio. Os de simples estágio são os mais comuns, e os de duplo estágio usados para altas pressões.

Cargas centrífugas, como ventiladores, exaustores, compressores e bombas são as melhores oportunidades para a aplicação dos controladores de velocidade (inversores de frequência), porque, de acordo com a Lei das Afinidades, a potência necessária é diretamente proporcional ao cubo da velocidade. A equação abaixo mostra a **Lei das Afinidades** para os ventiladores e bombas.

**Equação 1** - Equações da “Lei das Afinidades” para ventiladores e bombas

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{RPM_2}{RPM_1} \quad \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \left( \frac{RPM_2}{RPM_1} \right)^2 \quad \frac{P_{M2}}{P_{M1}} = \left( \frac{RPM_2}{RPM_1} \right)^3$$

Q: Vazão volumétrica – m<sup>3</sup>/h para ventiladores ou l/h para bombas  
 RPM: Rotações por minuto – velocidade  
 P: Diferencial de Pressão ou de carga  
 P<sub>M</sub>: Potência em kW ou CV





Um exemplo utilizando a Lei das Afinidades. Supor um motor com os seguintes dados de placa: 100 CV (75 kW), alimentado em 380 Volts, com uma corrente elétrica da ordem de 138 Amperes. Considerar o motor de 4 polos com uma rotação nominal de 1.779 RPM. Propondo uma redução de 10% na rotação, ou seja, uma rotação de 1.601 RPM.

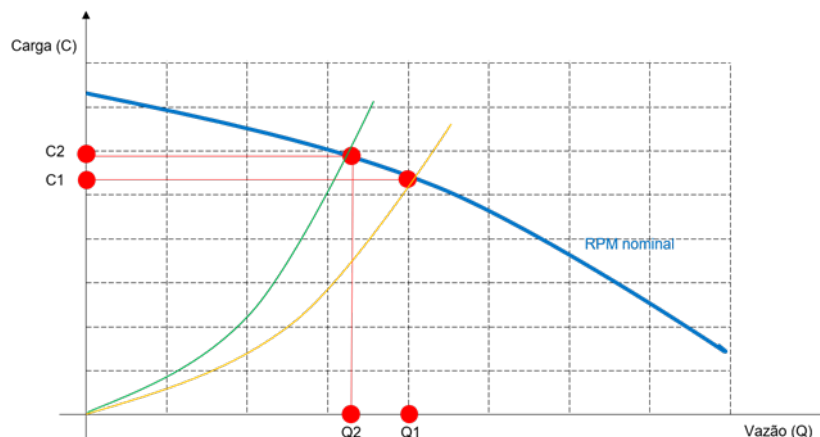
$$\frac{P_{M2}}{P_{M1}} = \left( \frac{RPM_2}{RPM_1} \right)^3 \Rightarrow \frac{P_{M2}}{75} = \left( \frac{1601}{1779} \right)^3 \Rightarrow P_{M2} = 54,67 \text{ kW}$$

$$\Delta E\% = \frac{75 - 54,67}{75} \times 100 \Rightarrow \Delta E\% = 27\%$$

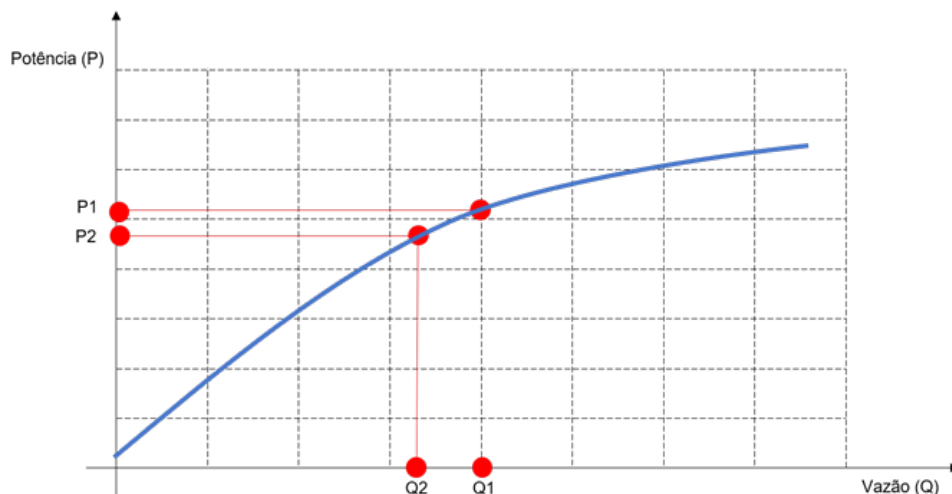
Observa-se uma redução na potência instantânea próximo a 27% para uma redução de 10% da rotação nominal do motor. Os gráficos abaixo mostram como se comportam carga, potência e rendimento em relação à vazão.

Os gráficos 13,14 e 15 representam o processo utilizando válvulas ou *dampers* para controle da vazão partindo de uma condição inicial (Q1, H1) para (Q2, H2). Para esta prática, há redução da vazão e da potência do ventilador (gráfico 14). O problema é que aumenta a pressão (gráfico 13) e reduz o rendimento (gráfico 15).

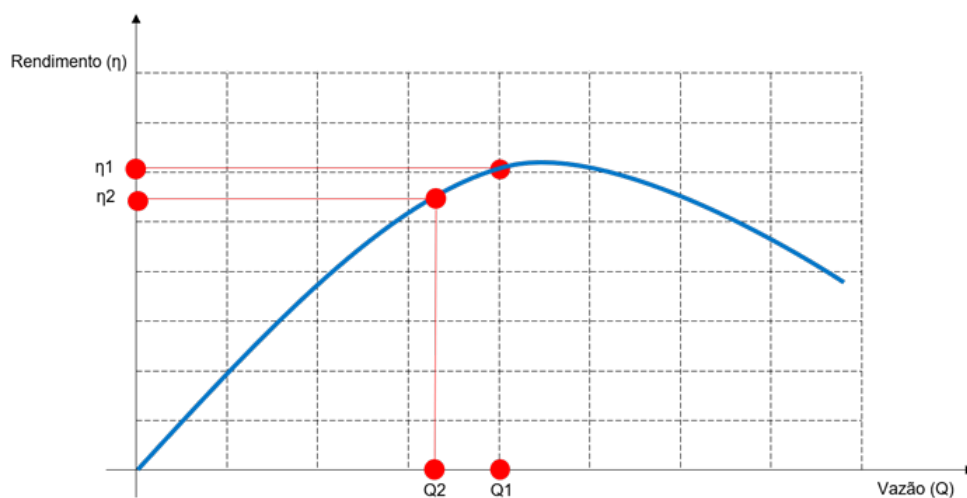
**Gráfico 13 - Curva Carga X Vazão - Utilização com “Damper”**



**Gráfico 14** - Curva Potência X Vazão - Utilização com “Damper”



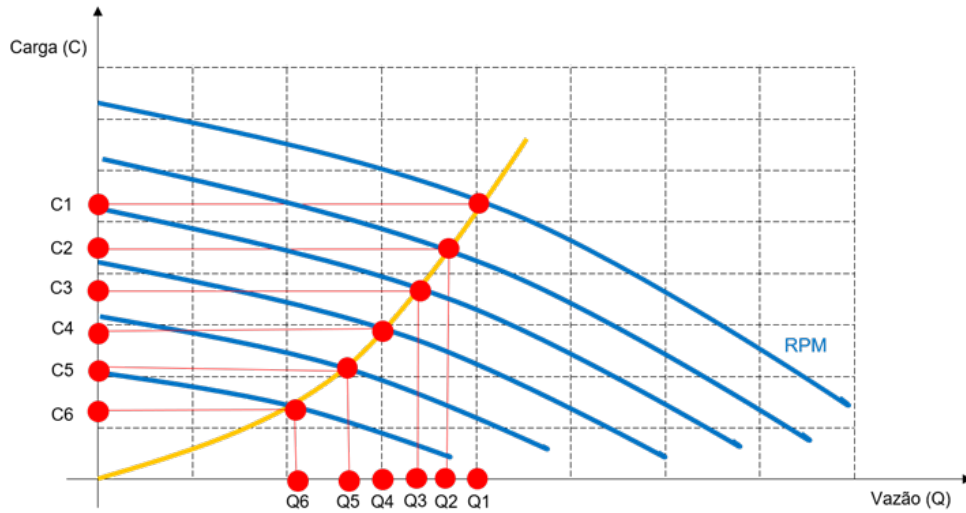
**Gráfico 15** - Curva Rendimento X Vazão - Utilização com “ Damper”



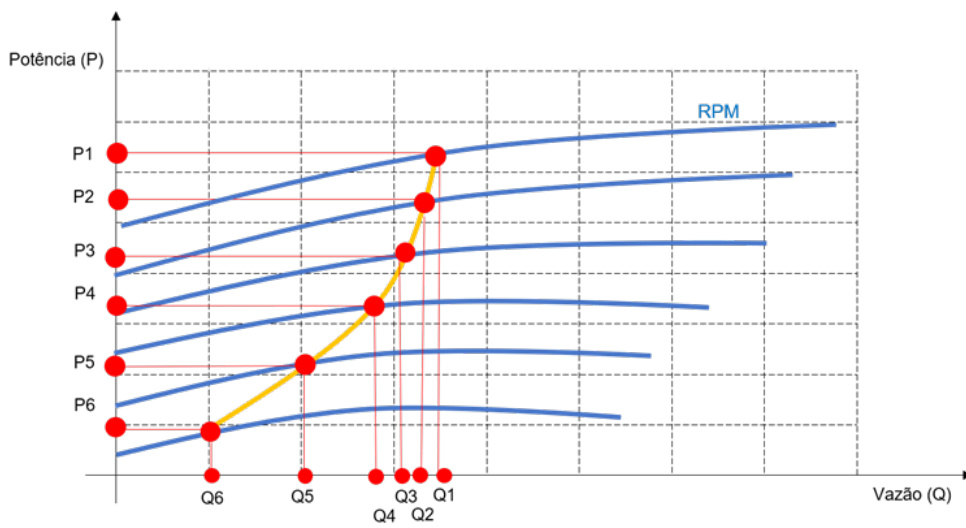
Os gráficos 16, 17 e 18 representam o processo utilizando inversor de frequência para controle da velocidade do motor. Inicialmente parte de condição inicial (Q1, H1), podendo alcançar a condição (Q7, H7). Observa-se que, por meio do ajuste de velocidade, ajusta-se a vazão desejada. A potência é reduzida e o gráfico 18 mostra que o rendimento é mantido constante para as variações de velocidade e potência.

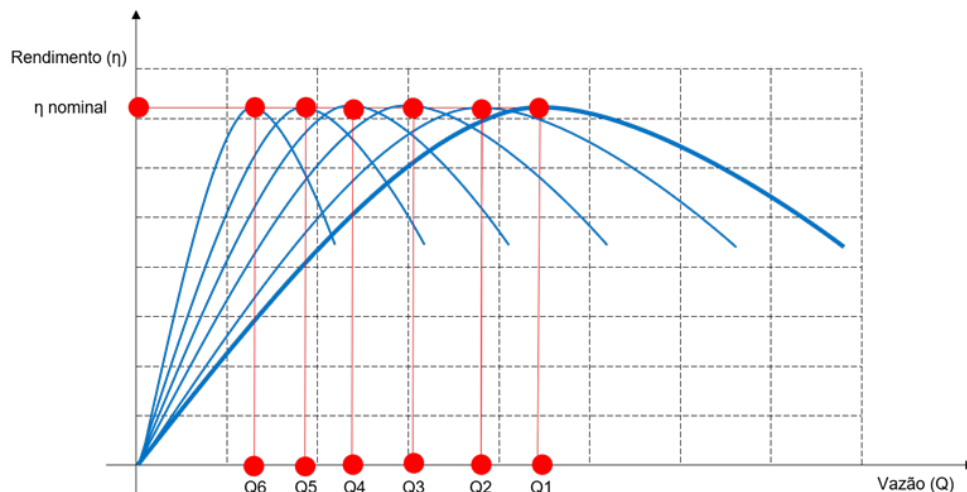


**Gráfico 16** - Curva Carga X Vazão - Utilização de variação de velocidade



**Gráfico 17** - Curva Potência X Vazão - Utilização de variação de velocidade



**Gráfico 18** - Curva Rendimento X Vazão - Utilização de variação de velocidade

Nos ambientes industriais, na busca pela eficiência energética dos processos, é importante sempre verificar a possibilidade do uso dos inversores de frequência, porque apresentam excelentes resultados, principalmente com cargas centrífugas. Além dos ganhos em relação ao consumo de energia, considerar também os ganhos no controle do processo, na qualidade dos produtos e na flexibilização dos controles.

Cuidados ao usar os inversores devem ser tomados. O uso inadequado da automação, por negligência ou imperícia, pode levar a alto custo de investimento ao optar pelo uso de inversores para trabalhar fixos em 60 Hz. Isso demonstra falta de gestão de energia e não economiza nada.

O uso dos inversores modifica a forma de onda de tensão e corrente, porque introduz harmônicos no sistema elétrico. Esses harmônicos podem provocar: maiores perdas por aquecimento nos equipamentos, torques oscilatórios, ressonâncias elétricas com consequentes sobretensões ou sobre correntes, interferências eletromagnéticas, além de picos, corte ou flutuações de tensão na rede elétrica

Sempre deve ser avaliado o uso dos inversores em frequências muito baixas, porque a economia com energia pode se transformar em custo devido à redução da vida útil do motor por aquecimento e perdas internas, necessidade de substituição, reparos, mão de obra de manutenção e paradas de processo. É necessário que se verifique a faixa ideal de operação de cada motor conforme o manual do seu fabricante. Se um motor opera muito abaixo de sua capacidade, ele pode estar superdimensionado.





## 5.17 Bombas

As bombas centrífugas são as mais utilizadas no mundo, por terem um custo-benefício adequado e serem bem eficazes em seu desempenho. A performance, assim como os ventiladores, está relacionada entre sua velocidade de rotação, aumento de pressão alcançada e potência absorvida.

Os sistemas de bombeamento movimentam líquidos, por exemplo, abastecimento de água bruta ou água limpa, desaguamento e outros. Na mineração as bombas podem mover polpas, que são misturas de sólidos e líquidos. As bombas devem ser especificadas para o produto ou material que vão transferir de um local para outro.

A eficiência energética dos sistemas de bombeamento segue as mesmas regras dos sistemas de ventilação ou exaustão, e outras características para melhorar a eficiência dos sistemas de bombeamento seguem abaixo:

### EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS SISTEMAS DE BOMBEAMENTO



- Utilizar bombas de alta eficiência;
- Dimensionar o sistema adequadamente – o sistema deve operar na faixa ideal;
- Conhecer as características do fluido que será transportado;
- Conhecer as distâncias que serão percorridas pelo bombeado – buscar caminhos com menor perda de carga, limpeza de peneiras e filtros;
- Utilizar os inversores de frequência, otimizando os controles e respeitando as características do sistema elétrico – harmônicas, aquecimento;
- Manutenções preditivas e preventivas regulares na bomba, no acoplamento, no motor, na tubulação e onde for necessário.

Um exemplo utilizando bomba centrífuga de água abastecendo um tanque de 30.000 litros. O bombeamento é composto, basicamente por motor de



75 CV (55,2 kW), 3500 RPM, conectado a uma bomba de 1000 L/h. Análise para uma redução de 10% da rotação do motor:

Redução de 10% na rotação

$$RPM_2 = 0,9 \times 3.500 \Rightarrow \mathbf{RMP_2 = 3150 RPM}$$

Vazão com redução de 10% na rotação

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{RPM_2}{RPM_1} \Rightarrow \frac{Q_2}{1.000} = \frac{3150}{3500} \Rightarrow \mathbf{Q_2 = 900 L/h}$$

Potência com redução de 10% na rotação

$$\frac{P_{M2}}{P_{M1}} = \left( \frac{RPM_2}{RPM_1} \right)^3 \Rightarrow \frac{P_{M2}}{55,20} = \left( \frac{3150}{3500} \right)^3 \Rightarrow \mathbf{P_{M2} = 40,24 kW}$$

Energia para 1.000L/h = 55,20 x 30 = 1.656 kWh

Energia para 900 L/h = 40,24 x 33,3 = 1.340 kWh

$$\Delta Energia\% = \frac{(1.656 - 1340)}{1656} \times 100 \Rightarrow \mathbf{\Delta E\% = 19,08\%}$$

Observa-se um ganho em energia, mas o processo deve ser verificado como um todo. Reduzindo a rotação decrementa a vazão da bomba e conseqüentemente o tempo para abastecer o tanque. Para o processo, é possível trabalhar assim? Seria melhor utilizar a bomba durante as 30 horas e depois mantê-la desligada? É importante lembrar que a eficiência energética é necessária, mas deve ser avaliada de acordo com cada processo.



## 5.18 Compressores

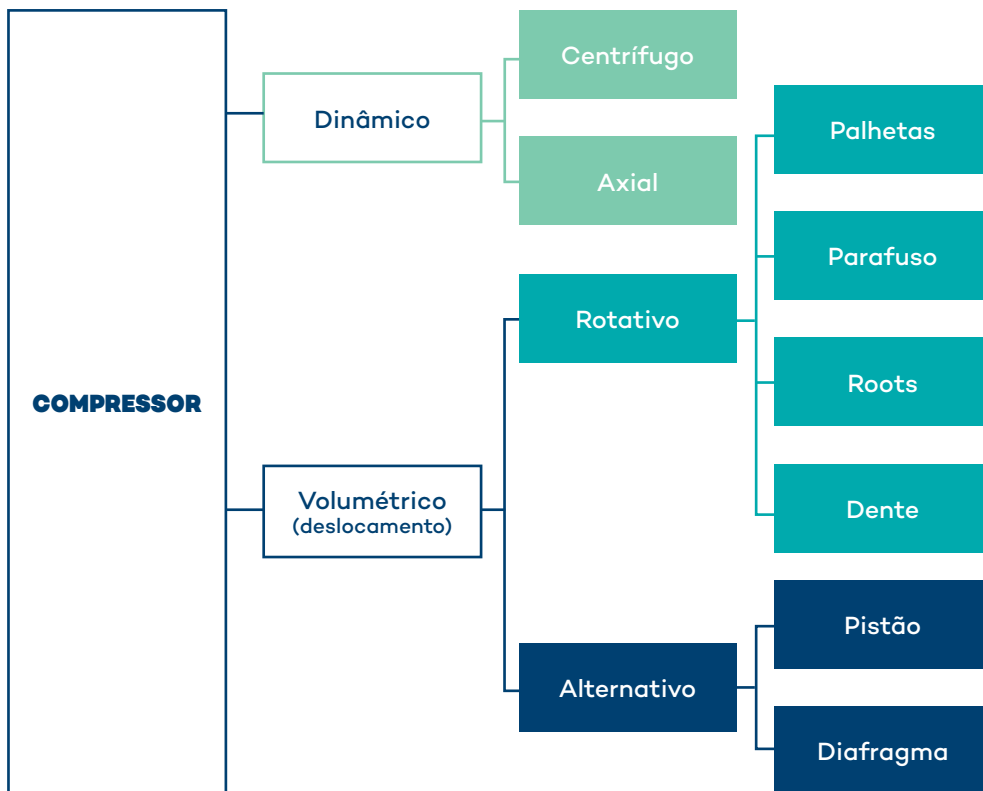
Os compressores de ar não são equipamentos diretamente relacionados ao processo de cominuição, mas possuem uma função especial de suporte nas operações. Eles fornecem a energia pneumática necessária para



várias etapas do processo. O ar comprimido aciona equipamentos como martelos pneumáticos, perfuratrizes e outros dispositivos que quebram e trituram os minérios. São utilizados em limpezas, resfriamentos e controle de poeiras entre outros usos.

Os compressores dividem-se em dois grupos principais: os compressores volumétricos e os compressores dinâmicos. É extremamente importante para a eficiência energética a escolha adequada do compressor em relação à sua instalação, utilização e manutenção. A figura abaixo apresenta os tipos de compressores mais comuns.

**Figura 11 - Tipos de Compressores**



Nos compressores volumétricos, a compressão é obtida por meio da redução de volume do gás a comprimir. O gás é admitido em uma ou mais câmaras de compressão, nas quais será reduzido o seu volume e assim originando um aumento da pressão do gás.

E nos compressores dinâmicos, a compressão é obtida por meio da conversão da energia cinética em pressão. A massa é acelerada a alta velocidade



em um impulsor e forçada a desacelerar ao ser expandida no difusor. Essa expansão converte a energia cinética em pressão.

Os compressores são os equipamentos principais dos sistemas de ar comprimido, mas existem outros equipamentos auxiliares e componentes que devem ser verificados em uma análise de eficiência energética do sistema.

**DEVEM SER VERIFICADOS:**

- Sistemas de captação do ar (resfriadores, filtros, telas, mantas, outros);
- Sistemas de distribuição (controle, válvulas de pressão, medição);
- Separadores água/óleo;
- Secadores de ar;
- Reservatórios de ar
- Elementos consumidores (ferramentas dos usuários, filtros, lubrificadores, reguladores).

Os sistemas de ar comprimido podem ser centralizados e descentralizados. Os dois sistemas possuem suas vantagens e desvantagens, mas as considerações de instalação, temperatura e manutenções devem ser consideradas em ambos os sistemas.

O **Manual Prático sobre Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido** (Eletrobrás PROCEL) sugere utilizar três categorias para analisar e buscar oportunidades de eficiência energética com os sistemas de ar comprimido. As categorias ou subsistemas são a geração, a distribuição e o uso final.

É fundamental conhecer características dos subsistemas, da geração ao uso final, e, se necessário, dividir em outros subsistemas menores até mesmo chegar a níveis de componentes. A tabela abaixo mostra oportunidades de melhoria da eficiência energética nas instalações.





**Tabela 10** - Oportunidades de melhoria da eficiência

<b>Medidas de economia de energia</b>	<b>Aplicabilidade (1)</b>	<b>Ganhos (2)</b>	<b>Potencial de contribuição (3)</b>
<b>Instalação ou renovação do sistema</b>			
Melhoria dos acionamentos (motores de alta eficiência)	25%	2%	0,5%
Melhoria dos acionamentos (reguladores de velocidade)	25%	15%	3,8%
Troca de compressores por versões mais modernas (aperfeiçoamento)	30%	7%	2,1%
Uso de sistema de controle sofisticado	20%	12%	2,4%
Recuperação de calor rejeitado para uso em outras funções	20%	20%	4%
Melhorias no resfriamento, secagem e filtragem do ar	10%	5%	0,5%
Projeto global do sistema, incluindo sistema de multipressões	50%	9%	4,5%
Redução na perda por queda de pressão	50%	9%	1,5%
Otimização de dispositivos (equipamentos) de uso final	5%	40%	2,0%
<b>Manutenção e operação do sistema</b>			
Redução de vazamentos de ar	80%	20%	16%
Substituição de filtros mais frequente	40%	2%	0,8%
<b>TOTAL</b>			<b>32,9%</b>
Percentual de situações em que esta medida é aplicável			
Percentual de redução no consumo anual de energia			
Potencial de contribuição = aplicabilidade x ganho			

Fonte: Manual Prático - Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido (Contrato ELETROBRÁS/PROCEL e consórcio EFFICIENTIA/FUPAI)



Passos para conhecer o sistema de ar comprimido da sua empresa:

- a.** Listar todos os pontos onde há geração, distribuição e utilização de ar comprimido;
- b.** Elaborar diagrama de blocos com os consumidores principais;
- c.** Elaborar *layout* da planta e da instalação com a localização dos componentes do sistema de ar comprimido – captação, geração, caminhos da distribuição com suas válvulas, reguladores, controles e os usuários finais;
- d.** Entender e reconhecer onde estão os pontos de medição para definição dos parâmetros operacionais;
- e.** Criar perfil de geração/consumo. Demanda, produção e consumo do ar comprimido, consumo de energia, consumo de água, outros. Este perfil deve ser feito ao longo do tempo (dia, semana, mês e ano);
- f.** Entender e reconhecer o funcionamento do sistema com ocorrências de sazonalidades;
- g.** Estabelecer indicadores que permitam estudar e analisar o regime de funcionamento, picos de carga e outras comparações sobre a eficiência. Exemplo: custo de produção por ar comprimido - R\$/m<sup>3</sup>, eficiência do compressor - kWh/m<sup>3</sup> ou necessidade de ar comprimido pelo produto final - m<sup>3</sup>/t).

Esta abordagem permite analisar a relação do fornecimento até o consumo e mostra como está o desempenho global do sistema de ar comprimido. Os consumos repentinos e as demandas imediatas dos equipamentos, obrigatoriamente, devem ser considerados e analisados quando demonstradas pelos sistemas de controle, mas sem perder de vista a análise sistêmica e global dos consumos.

A abordagem em três subsistemas permite análise no sistema da origem ao consumo final, onde diferentes equipes estão incluídas na produção do ar comprimido. Operação e manutenção em seus diversos níveis hierárquicos devem estar envolvidas, cada um dentro de sua área de atuação.



### 5.1.8.1 Oportunidades nos Sistemas de Geração

#### ■ TEMPERATURA DA ASPIRAÇÃO DO AR PELO COMPRESSOR

- Quanto mais baixa for a temperatura de aspiração, menor será a energia necessária. Segundo o **Manual Prático Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido** (Eletrobrás PROCEL), para cada 4 °C de aumento na temperatura do ar aspirado, o consumo de energia aumenta 1%;
- Utilizar a tomada de ar do lado de fora das salas de compressores ou outro ponto onde a temperatura deverá estar mais baixa.

#### ■ DISTÂNCIA ENTRE TOMADA DE AR E COMPRESSOR DEVE SER CURTA

- A tomada de aspiração de ar deve ser curta, reta, de grande diâmetro. A perda de carga pode causar perdas na aspiração (25 mbar de queda de pressão podem reduzir o rendimento global do compressor em 2%);
- Cuidados devem ser tomadas para não haver outros equipamentos que possam gerar calor próximo às tomadas de aspiração;
- Compressores que precisam ser refrigerados não podem lançar o ar quente próximo à tomada de ar.

#### ■ MANUTENÇÕES PLANEJADAS E PROGRAMADAS

- Os filtros de ar de admissão podem parecer limpos, mas existem impurezas invisíveis a olho nu que podem causar alguma obstrução parcial ou total;
- Manter a programação de manutenção atualizada nos filtros de ar de admissão.

#### ■ MELHORIA NOS SISTEMAS DE CONTROLE

- Podem acontecer variações nos sistemas de ar comprimido de acordo com as demandas solicitadas pelos usuários finais;
- Devem-se adequar os sistemas de controle, sistemas de gerenciamento e armazenagem (reservatórios) de modo a atender aos picos de demanda e à operação normal com máxima eficiência;



- Os sistemas de controle podem ser:
  - » **Carga/Vazio:** quando atinge a pressão máxima calibrada, o compressor entra no modo “Alívio”. Não realiza a compressão do ar, mas o motor permanece ligado, consumindo energia sem produzir ar comprimido;
  - » **Controle Cascata:** cada compressor de um sistema pode ser ajustado para um ponto mínimo e um ponto máximo de operação diferenciados, permitindo que sejam acionados em sequência conforme a demanda.
  - » **Inversores de Frequência:** somente se justifica para atender a cargas variáveis. Nos casos de cargas básicas, não devem ser utilizados.
  - » **Controle Centralizado:** sistemas eletrônicos que coordenam o funcionamento de um conjunto de compressores. Devem permitir comunicação entre os compressores e consumo capazes de gerenciar a coordenação da utilização dos compressores.
  - » **Outros:** outros sistemas, normalmente derivados dos sistemas acima citados, podem ser utilizados.

## ■ TRATAMENTO DO AR COMPRIMIDO

- As impurezas e água no ar admitido nos sistemas de compressão causam problemas em todo os sistemas de distribuição e uso final; por este motivo, o ar deve ser tratado e retirado o máximo possível de particulados, óleo e água;
- Os tratamentos são a secagem do ar por meio dos secadores, o resfriamento por meio dos *aftercoolers* e filtragem por meio de filtros pra retirar partículas sólidas e óleo presentes no ar comprimido.

## ■ DRENAGEM DO CONDENSADO

- A compressão produz umidade e estas gotas de água são transportadas junto com o ar comprimido, causando inúmeros desgastes e consequente redução na eficiência;
- A drenagem pode ser feita por válvulas manuais ou sistemas automáticos, sendo estes mais eficientes que os sistemas manuais.



### 5.1.8.2 Oportunidades nos Sistemas de Distribuição

As principais perdas de eficiência energética em um sistema de distribuição de ar comprimido são:

1. Queda de pressão entre o compressor e os pontos de consumo de ar;
2. Vazamentos de ar.

Linha de distribuição deve ser projetada para que a queda de pressão entre o ponto de geração e o ponto de consumo não ultrapasse o limite recomendável de 0,3 bar ou 5 % da pressão de geração. Pontos de uso são inseridos e incorporados ao sistema e estes limites de pressão podem estar alterados e medidas de correção devem ser adotadas. Oportunidades com foco no consumo elétrico podem ser:

#### **■ PERDAS POR QUEDA DE PRESSÃO (PERDAS DE CARGAS, CONSUMOS, “PUXADINHOS”)**

- Se a queda de pressão ou a perda de carga é tão alta que a pressão de trabalho é menor que a pressão determinada, a perda de potência é proporcionalmente muito maior do que a queda de pressão;
- Cuidado com a compensação da queda de pressão por ajustes da pressão de trabalho do compressor. Nos casos de diminuição de pressão do consumo, a pressão ficará acima do desejado, aumentando as perdas por vazamentos e prejudicando ferramentas, que muitas vezes não suportam tais aumentos;
- As linhas de distribuição não devem possuir excesso de curvas com mudanças de direção exageradas, porque estes fatores levam a um ajuste de pressão “carga/alívio” muito alta, levando o compressor a um maior consumo de energia elétrica. A tabela abaixo define, na prática, valores típicos para perdas de pressão.



**Tabela 11 - Perdas de pressão admissíveis e velocidades permitidas**

<p><b>PERDAS DE PRESSÕES ADMISSÍVEIS</b></p> <p>(valores adotados na prática para não comprometer a eficiência do sistema)</p>	<p>a. Perda máxima de pressão para o ponto mais afastado do compressor: 0,03 bar;</p> <p>b. Tubulações principais: 0,02 bar para cada 100 m de tubo;</p> <p>c. Tubulações secundárias: 0,08 bar para cada 100 m de tubo;</p> <p>d. Mangueiras de alimentação de martelletes, perfuratrizes, outros: 0,4 bar para cada 100 m de mangueira.</p>
<p><b>VELOCIDADES PERMITIDAS PARA O AR NAS TUBULAÇÕES</b></p>	<p>a. Tubulações principais: 6 a 8 m/s;</p> <p>b. Tubulações secundárias: 8 a 10 m/s;</p> <p>c. Mangueiras: 15 a 30 m/s.</p>

Fonte: Manual Prático - Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido (Contrato ELE-TROBRÁS/PROCEL e consórcio EFFICIENTIA/FUPAI (adaptada pelos Autores)

- A queda de pressão pode ser determinada pela instalação de manômetro ou transmissor de pressão no reservatório e instalação de manômetro ou transmissor no ponto de consumo, próximo ao usuário final. A diferença entre as leituras será a queda de pressão naquele ponto específico. Cada ponto de uso final poderá ter uma queda de pressão diferente, dependendo das distâncias e do trajeto (perdas de carga), mas sempre respeitando os limites para a eficiência.

## PERDAS POR VAZAMENTOS NA DISTRIBUIÇÃO

- O desgaste de equipamentos e acessórios, a perda gradual de vedação das conexões roscadas ou flangeadas, corrosão, acoplamentos finais e o mau uso do ar comprimido são os principais causadores dos vazamentos de ar comprimido. A tabela mostra a potência desperdiçada com vazamentos.



**Tabela 12** - Vazão de ar perdida e potência desperdiçada com vazamentos

Diâmetro do furo de vazamento (mm)	Escape de ar a pressão de 6 bar (m <sup>3</sup> /min)	Potência para suprir a compressão perdida (kW)
1	0,006	0,3
3	0,6	3,1
5	1,6	8,3
10	6,3	33
15	25,2	132

Fonte: Manual Prático - Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido (Contrato ELE-TROBRÁS/PROCEL e consórcio EFFICIENTIA/FUPAI)

- Para identificação de vazamentos, pode ser utilizada uma técnica bem comum, borrifar espuma com sabão. Se houver vazamentos, acontecerá a formação de bolhas pelo ar que vaza. Existem técnicas de detecção com equipamentos específicos por meio dos princípios do ultrassom. Esta técnica é importante, porque define vazamentos na distribuição, na geração e no uso final, permitindo classificar de acordo com as prioridades definidas. É sugerida uma rotina de manutenção em que os vazamentos são identificados e instaladas etiquetas até que sejam corrigidos;
- A seguinte tabela mostra como os manuais dos fabricantes comparam a idade das linhas de distribuição ao percentual de vazamentos.

**Tabela 13** - Estimativa de vazamentos pela idade e conservação da distribuição

Idade / condição das instalações	Estimativa de vazamento
Até 7 anos / bom estado de conservação	Não superior a 5%
Até 7 anos / estado precário	Entre 5 e 10%
Entre 7 e 15 anos / estado regular	Entre 10 e 15%
Entre 7 e 15 anos / estado precário	Entre 15 e 20%
Superior a 15 anos / estado precário	Superior a 20%

Fonte: Manual Prático - Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido (Contrato ELE-TROBRÁS/PROCEL e consórcio EFFICIENTIA/FUPAI (adaptada pelos Autores)



- Os vazamentos representam de 10 a 40% da demanda máxima de ar comprimido de um sistema. Esta variação depende da configuração de cada sistema e dos cuidados de manutenção. A tabela a seguir mostra alguns dos principais pontos de atenção para evitar vazamentos;

**Tabela 14 - Perdas devido a vazamentos na distribuição**

<b>Acoplamento na tubulação do sistema</b>	A maioria das perdas encontram-se nestes acoplamentos (conexões, juntas de vedação, mangueiras, outros).
<b>Corrosão</b>	Recomenda-se identificar e substituir os tubos corroídos. Observação: tubos corroídos, além dos aspectos relacionados à eficiência energética, também estão relacionados à segurança.
<b>Conexões roscadas ou flangeadas</b>	Vazamentos ocorrem por perdas graduais de vedação (desgastes pelo tempo, temperatura, outros). Devem ser substituídas e conferido se vazamento foi corrigido.
<b>Mangueiras e materiais de montagem</b>	Quando inadequados, geram vazamentos, portanto devem-se utilizar mangueiras e acessórios de montagem adequados. Mangueiras podem trincar ou furar devido ao envelhecimento e ressecamento.
<b>Conjuntos Filtro-regulador-lubrificador</b>	Os conjuntos conhecidos como “Lubfil” ou “Lubrifi” e os separadores de líquido apresentam vazamentos nos acoplamentos rosqueados da entrada e saída, no manômetro, no dreno e, até mesmo, no “copo”, que pode estar rachado ou mal fechado.
<b>Engates rápidos</b>	Quanto mais frequente o uso, mais frequente deve ser a verificação de vazamentos nos engates rápidos. As perdas podem estar tanto no “macho” quanto na “fêmea” do engate.
<b>Válvulas de dreno</b>	As válvulas de dreno e purgadores de condensado apresentam vazamentos nas conexões de acoplamento. Presença de sujeira nas sedes das válvulas de fechamento não vedam e causam vazamentos ocultos.
<b>Cilindros pneumáticos</b>	Os vazamentos estão principalmente nas juntas de vedação. Os planos de manutenção devem considerar as conexões, juntas e kits de reparo internos dos cilindros.





## **MÉTODO PRÁTICO SUGERIDO PELO MANUAL PRÁTICO (PROCEL/ELETOBRÁS) PARA QUANTIFICAR OS VAZAMENTOS DE UMA INSTALAÇÃO:**

- Pré-requisitos
  - » A instalação consumidora de ar comprimido deverá estar fora de operação (os equipamentos consumidores devem estar ligados normalmente à rede, porém inoperantes);
  - » Caso na instalação exista mais de um compressor para alimentar a rede, dá-se preferência ao de menor porte. Todas as características do compressor devem ser conhecidas, principalmente a vazão que pode produzir;
  - » Os manômetros instalados na rede ou no reservatório deverão estar funcionando perfeitamente calibrado;
  - » São necessários dois cronômetros;
  - » Utilizar os mesmos níveis de pressão que estiverem ajustados no pressostato de controle e certificar-se de que esteja funcionando perfeitamente.
- Procedimento de teste
  - » Ligar manualmente o compressor que será usado no teste, colocando-o em carga até que a pressão da rede atinja o valor de desarme;
  - » Quando ocorrer o desarme (alívio), acionar o primeiro cronômetro, deixando-o funcionar durante todo o teste;
  - » Assim que a pressão da linha cair e o compressor religar e entrar em regime de compressão, acionar o outro cronômetro, o qual deverá ser parado logo que novamente for atingida a pressão de desligamento;
  - » Esta rotina deve ser repetida pelo menos 5 vezes, para se obter maior precisão dos resultados;
  - » Ao final da última repetição do teste, ambos os cronômetros devem ser desligados.

Durante os testes, o tempo do compressor em carga, basicamente, alimenta os vazamentos. Assim, o volume de ar que vazou multiplicado pela soma



do tempo de alívio mais o tempo de compressão deve ser igual ao volume de ar comprimido durante os tempos de compressão.

$$Q_{\text{vaz}} \times T = Q_{\text{comp}} \times t$$
$$Q_{\text{vaz}} = (Q_{\text{comp}} \times t) / T$$

Onde:

- $Q_{\text{vaz}}$  = vazão atribuída aos vazamentos ( $\text{m}^3/\text{min}$ );
- $T$  = tempo total (alívio + compressão) registrado no primeiro cronômetro (min);
- $Q_{\text{comp}}$  = capacidade nominal de produção do compressor usado no teste ( $\text{m}^3/\text{min}$ );
- $t$  = tempos do compressor em carga (compressão) registrado pelo segundo cronômetro.

O valor  $Q_{\text{vaz}}$  é a vazão dos vazamentos. Esta vazão dos vazamentos pode ser comparada com a capacidade de todos os compressores que alimentam a mesma rede.

$$\%_{\text{Perdas}} = (Q_{\text{vaz}} / Q_{\text{global}}) \times 100$$

Onde:

- $Q_{\text{global}}$  = vazão produzida por todos os compressores que funcionam com simultaneidade no sistema.

Exemplo:

#### **Dados da instalação:**

- Sistema de ar comprimido com dois compressores tipo parafuso atendendo, em paralelo, à mesma rede de ar comprimido;
- Dados dos compressores:
- 125 cv,  $13,4 \text{ m}^3/\text{min}$ , pressão de desarme 7,1 bar, pressão de religamento 6,3 bar;
- 75 cv,  $7,5 \text{ m}^3/\text{min}$ , pressão de desarme 7,1 bar, pressão de religamento 6,3 bar;



- Vazão máxima requerida pela instalação nos momentos de pico: 16 m<sup>3</sup>/min;
- Idade da instalação: 8 anos;
- Estado de conservação: regular com alguns vazamentos audíveis.

**Teste realizado:**

- Equipamentos consumidores: desligados;
- Compressor utilizado para o teste: 75 cv. 7,5m<sup>3</sup>/min;
- Tempo de compressão para 6 ciclos: t = 148 s (2,46 min);
- Tempo total de alívio + compressão: T = 594 s (9,90 min).

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{vaz}} &= (Q_{\text{comp}}) \times t / T \\
 Q_{\text{vaz}} &= (7,5 \times 2,46) / 9,90 \\
 Q_{\text{vaz}} &= 1,86 \text{ m}^3/\text{min}
 \end{aligned}$$

Cálculo das perdas em percentagem:

$$\begin{aligned}
 \% \text{Perdas} &= (Q_{\text{vaz}} / Q_{\text{global}}) \times 100 \\
 \% \text{Perdas} &= 1,86 / (13,4 + 7,5) \\
 \% \text{Perdas} &= 8,9 \%
 \end{aligned}$$

Considerando que esses compressores trabalham 24 horas por dia, de segunda a sexta-feira (22 dias no mês), temos 528 horas a uma potência de 147 kW, que representa um total mês de 77.616 kWh. Concluímos que, sanando vazamentos, temos um percentual de 8,9% de economia, portanto 6.907,82 kWh de economia no mês, o que representa uma economia anual de 82.893,89 kWh. A economia anual é maior do que o consumo dos dois compressores em um mês.

É importante ressaltar que este não é um trabalho que deve ser feito uma única vez. Ele deve ser realizado e avaliado de acordo com programação definida e ajustada. Reavalie sempre o sistema de ar comprimido e se necessário trabalhe com especialistas para ajustar os controles.



**5.1.8.3 Oportunidades no uso final**

Identificar os equipamentos e o uso deles é o primeiro evento a ser executado quando se inicia o processo de melhoria da eficiência energética quando se tratar de ar comprimido. Conhecer os equipamentos usuários finais do ar é uma tarefa importante. Faz parte do inventário dos equipamentos conhecer as pressões, vazões e outras características relativas ao uso.

Os equipamentos, controles, válvulas e outros componentes operados por ar comprimido demandam quantidade de ar com critérios de qualidade do ar. O ar comprimido deve ter nível de secagem adequado e nível de contaminantes toleráveis. Estes fatores definem a manutenção preventiva e corretiva tanto das redes quanto outros acessórios da linha.

A geração de ar comprimido é uma das operações mais caras de uma instalação industrial, portanto devem ser utilizadas de forma eficiente. A tabela abaixo mostra casos de uso inadequado do ar comprimido.

**Tabela 15 - Usos inadequados de ar comprimido**

<b>USOS POTENCIALMENTE INAPROPRIADOS</b>	<b>SUGESTÕES DE ALTERNATIVAS E AÇÕES</b>
Limpeza, secagem, processo de resfriamento	Sopradores de baixa pressão, ventiladores elétricos, vassouras/escovas, bocais
Espalhamento/polvilhamento	Sopradores de baixa pressão e misturadores
Aspiração, atomização	Sopradores de baixa pressão
Deslocamento	Sopradores de baixa para média pressão
Geração de vácuo	Bomba de vácuo dedicada ou sistema central de vácuo
Climatização pessoa	Ventiladores elétricos
Tubos abertos, resfriamento por vórtex operado por ar comprimido sem termostato	Trocador de calor ar/ar ou ar condicionado com termostato para resfriamento
Misturador acionado por ar	Misturador acionado por motor elétrico
Bombas de diafragma operadas a ar	Regulador com controlador de velocidade adequado, bomba elétrica



USOS POTENCIALMENTE INAPROPRIADOS	SUGESTÕES DE ALTERNATIVAS E AÇÕES
Equipamentos ociosos *	Instalar válvula na entrada de ar e que seja controlada automaticamente
Equipamentos abandonados **	Desconectar o suprimento de ar do equipamento e mantê-lo fechado
(*) Equipamentos que temporariamente não estão sendo usados durante o ciclo produtivo.	
(**) Equipamentos que não estão mais em uso ou devido a alterações de processo ou porque estão defeituosos.	

Fonte: Manual Prático - Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido (Contrato ELE-TROBRÁS/PROCEL e consórcio EFFICIENTIA/FUPAI (adaptada pelos Autores)

## 5.2 Transporte

Os equipamentos que desempenham um importante papel no transporte do minério ROM (*run of mine*) são consumidores de significativa energia por meio dos motores diesel. Não só no transporte do minério, o diesel também é usado em escavadeiras, perfuratrizes, geradores, veículos leves (para transporte de pessoas) e outros.

Em 1867, na Alemanha, Nikolaus August Otto (1832-1891) e Eugen Langen (1833-1895) desenvolveram o motor a combustão que atingia uma eficiência térmica de 11% baseado na queima de uma mistura de ar e combustível. Dez anos mais tarde, em 1876, visando a maior eficiência, Otto desenvolveu o motor baseado nos 4 tempos – admissão, compressão, expansão e descarga. Esta solução foi o início da indústria dos motores a combustão movidos a gasolina, álcool e gás natural veicular.

Rudolf Diesel, em 1892, desenvolveu um motor que o combustível era injetado próximo ao final da fase de compressão, quando então era queimado pelo ar comprimido altamente aquecido. Desta forma, o motor tinha maior eficiência com alta taxa de compressão e relações de expansão. O motor diesel atual é projetado nos mesmos princípios de funcionamento em quatro e em dois tempos.

A invenção de Diesel foi tão importante e desafiadora que impressionou a comunidade científica da época. Batizaram o combustível com seu nome. Ele utilizou óleo de amendoim e colocou seu motor em operação pela primeira vez em 10 de agosto de 1893. Esta é a data do Dia Internacional do Biodiesel.



A história mostra a busca pela eficiência e hoje não basta soluções para eficiência energética, mas também soluções que permitam maior efetividade relacionadas ao meio ambiente. As preocupações ambientais aliadas à necessidade de redução das emissões de gases de efeito estufa e à busca por fontes de energia renováveis têm se intensificado, impulsionando a busca pela eficiência energética.

O diesel é combustível com alta densidade energética. A sua versatilidade e adaptabilidade às condições do terreno fazem-no ser, atualmente, o principal combustível utilizado nos transportes nas minas. Os caminhões utilizam os motores diesel devido à sua capacidade de fornecer energia e torque suficientes para transportar cargas pesadas em terrenos acidentados.



### 5.2.1 **Objetivos estratégicos na área de transporte**

Podemos citar aqui objetivos que norteiam as ações na busca de aumento da eficiência energética e redução das emissões de GEE na área de transporte:

- Melhorias não só em equipamentos, mas principalmente em processos;
- Melhoria da qualidade do ar;
- Eletrificação e busca de energia alternativa não poluente;
- Obtenção de dados e informações em tempo real;
- Operações integradas.



### 5.2.2 **Oportunidades na área de transporte**

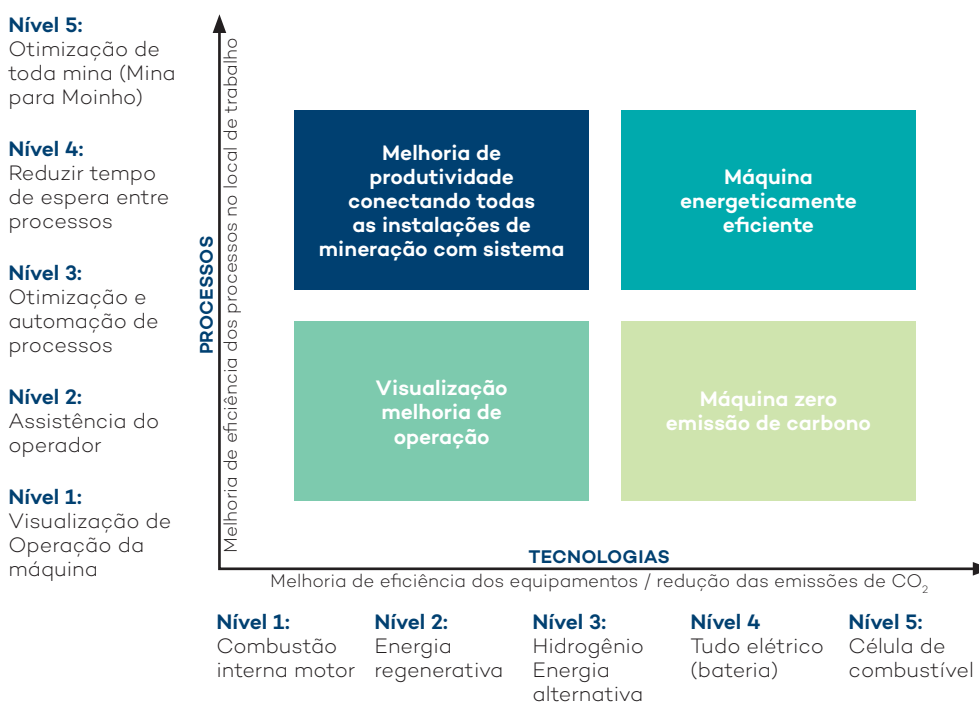
A transição energética para fontes de energia mais limpas e eficientes carrega consigo tecnologias emergentes preocupadas com as mudanças climáticas e redução dos gases efeito estufa. São novos produtos (equipamentos) e processos de trabalho e gestão. Não se troca uma frota de uma hora para outra, é necessário planejamento e muito investimento.



A eficiência energética constitui o primeiro passo para minimizar os impactos gerados pelo alto consumo de diesel no setor mineral. Reduzir o desperdício, usar de forma racional e promover a queima completa na combustão são fatores que sempre devem ser verificados na busca da eficiência, independente do combustível que se estiver utilizando.

A eficiência no consumo do combustível não pode e não deve ser considerada somente no equipamento. Ela depende de planejamento e investimento. A figura seguinte mostra relação entre processos e produtos na busca pela eficiência.

**Figura 12 - Níveis de eficiência: Processos X Produtos**



Fonte: Komatsu (adaptado pelos autores)

Abaixo, elencamos alguns aspectos relacionadas aos **PROCESSOS**, que com frequência são potenciais oportunidades de melhoria de performance:

**a. Proficiência do operador:**

- Treinar com materiais direcionados;
- Treinamentos teóricos, práticos, *in loco*, a partir de informações coletadas;
- Reconhecer desempenho e melhores práticas entre os operadores;
- Trabalhar o *benchmark* entre os operadores.



**b. Otimização de carga útil:**

- Garantir que cada caminhão transporte a carga útil correta para que os tempos de ciclo do caminhão sejam otimizados.

**c. Otimização do ciclo do caminhão:**

- Garantir que a frota esteja continuamente em movimento, com tempos de ciclo eficientes;
- Eliminar e reduzir atrasos – tempo de operação X tempo parado;
- Gerenciar trajeto, carregamento, descarregamento e filas.

**d. Gestão de ativos:**

- Avaliar continuamente o desempenho e a eficiência dos sistemas e componentes do ativo;
- Identificar áreas de melhoria e não tomar decisões baseadas em “sentimento”. Utilizar dados, análises e aqueles que estão mais próximos do equipamento (da manutenção ou da operação);

**e. Viagem fora do circuito:**

- Controlar as viagens de apoio – reabastecimento, lubrificação, refeições, descansos, banheiros e outros.

**f. Atraso operacional e redução de mudança de turno:**

- Analisar tempos de troca de turno;
- Reconhecer tempos em que o operador está fora da máquina;
- Administrar o tempo de paradas necessárias para inspeções operacionais de início, meio ou fim de turnos.

**g. Atrasos de manutenção:**

- Analisar tempos de parada para manutenção e tempo de retorno à operação;
- Trabalhar o provisionamento para que o equipamento não fique parado ou trabalhando com redução da sua capacidade;
- Trabalhar com a disponibilidade física e a confiabilidade dos equipamentos (projetos de confiabilidade).

**h. Otimização do carregamento:**

- Analisar tempos ( de escavação, de giro, de despejo, de retorno e de práticas de limpeza/gerenciamento de face).

Da mesma forma, abaixo elencamos alguns aspectos relacionadas aos **EQUIPAMENTOS**, que, com frequência, são potenciais fontes de melhoria de performance:





**a. Eficiência nos motores a combustão (ciclo diesel) – item 5.2.3;****b. Equipamentos com energia regenerativa:**

- Analisar equipamentos que podem utilizar energias renováveis durante os períodos de baixa demanda ou condições favoráveis;
- Analisar a utilização de equipamentos híbridos;
- Estabelecer parcerias com fornecedores na busca por novas tecnologias (tecnologias emergentes);

**c. Equipamentos com energia alternativa:**

- Analisar e estar atento à futura utilização do hidrogênio;
- Analisar o uso de equipamento totalmente elétrico;

**d. Conexão das instalações do site:**

- Analisar pacote de hardware e software para controle da frota;
- Coletar dados e trabalhar informações – dados devem ser confiáveis. Lembre-se “*Garbage in garbage out*” (Lixo entra lixo sai);

**e. Melhoria da matriz energética com redução de energias não renováveis (Diesel, GN);****f. Armazenamento de energia:**

- Bancos de baterias estão cada vez mais acessíveis e podem colaborar com o controle e limitação da demanda de energia.

**5.2.3 Motores diesel**

Desempenham um importantíssimo papel na movimentação de materiais, na produção e operação das minas, mas são consumidores vorazes de significativas quantidades de energia e emissores diretos dos gases do efeito estufa.

O transporte de minério corresponde a aproximadamente 50% do consumo de energia de uma mineração típica. Apesar dos avanços tecnológicos por alternativas menos poluentes e até mesmo reconhecendo que o petróleo não deverá ser o combustível do futuro, sua utilização é grande e necessária para o processo produtivo das mineradoras.

A eficiência dos motores diesel está intimamente relacionada à manutenção do equipamento. Manutenção adequada garante a “vida” e a eficiência dos motores diesel. Seguem abaixo importantes itens para eficiência dos motores:



## **1. FILTROS DE AR E FILTROS DE COMBUSTÍVEIS**

São componentes que devem ser muito bem controlados pelas equipes de manutenção e operação. São responsáveis pela remoção de partículas prejudiciais que podem entrar no motor. As partículas podem acumular e obstruir o fluxo de ar e combustível, afetando a eficiência da combustão, portanto esses filtros devem ser substituídos regularmente conforme determinado pelo fabricante ou pela engenharia de manutenção.

## **2. LIMPEZA E LUBRIFICAÇÃO**

Os óleos (combustíveis ou lubrificantes) devem ser limpos e com qualidade recomendada pelo fabricante ou definido pela engenharia de manutenção. A falta de lubrificação adequada pode causar atrito excessivo e desgaste prematuro das peças do motor, reduzindo sua eficiência.

## **3. ARREFECIMENTO E TROCA DE CALOR NO MOTOR**

A temperatura do motor precisa ser mantida dentro de limites seguros para garantir um funcionamento eficiente. Falhas no sistema de arrefecimento, como vazamentos ou obstruções no radiador, podem levar a superaquecimento e danos ao motor.

## **4. SISTEMA DE INJEÇÃO**

Injetores sujos ou danificados podem resultar em uma pulverização inadequada de combustível, levando a uma queima incompleta e, conseqüentemente, a uma diminuição na eficiência do combustível, portanto o sistema de injeção deve ser mantido limpo, regulado para quantidades corretas de combustível para queima eficiente do combustível.

## **5. MANUTENÇÕES (PREDITIVA E PREVENTIVA)**

As manutenções preditivas e preventivas identificam potenciais problemas antes que se tornem sérios. A detecção antecipada, por meio de inspeções, da coleta de dados em tempo real ou por outro meio, evita danos mais graves que possam afetar a eficiência e até mesmo o motor.

A antecipação também permite planejamento, programação e provisão do componente que necessita ser restaurado ou substituído.



Manter um programa de manutenção regular e seguir as recomendações do fabricante ou da engenharia de manutenção é essencial para garantir a eficiência e a longevidade dos motores diesel

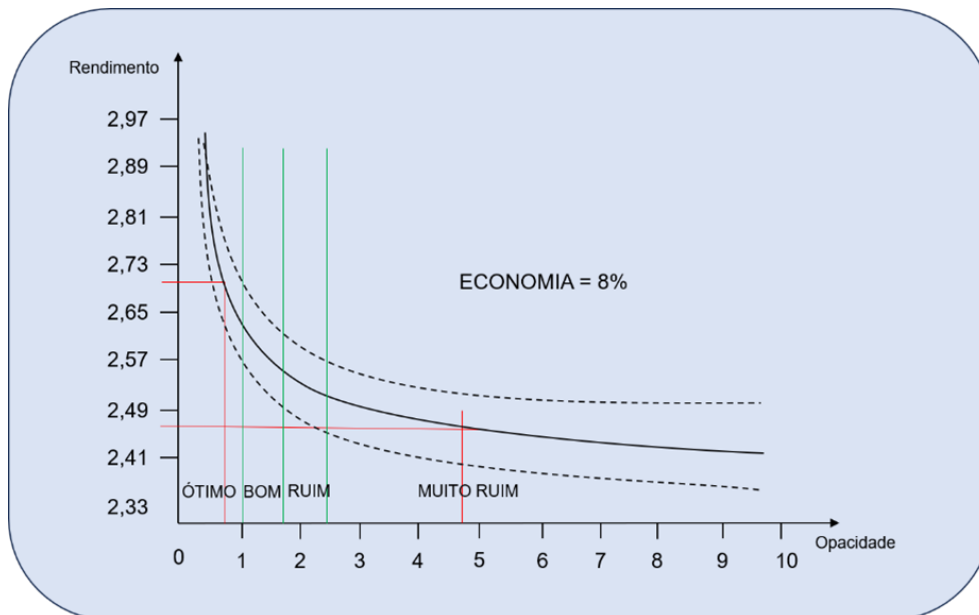
## 6. OPACIDADE

Um instrumento eficaz para controle e verificação da “saúde” do motor diesel é o monitoramento dos níveis de emissão de gases no escapamento. O escurecimento da fumaça revela queima incompleta do combustível relacionada à falta de condições mecânicas adequadas e consequente aumento no consumo.

A medição da opacidade pode ser feita por um equipamento denominado opacímetro e é um indicador do estado de conservação e manutenção dos motores do ciclo diesel.

Um estudo do Conpet/Petrobrás em parceria com a Fetranspor realizado em 2005 relacionou opacidade e rendimento energético de veículos de ciclo diesel e os resultados apontaram um potencial de ganho de eficiência energética da ordem de 8%, conforme apresentado no gráfico abaixo.

**Gráfico 19 - Relação Opacidade e Rendimento Energético**



Fonte: XXIX ANPET (2015) – adaptado pelos autores



A eficiência dos motores ciclo diesel está intimamente relacionada à manutenção regular. Conclui-se que seguir as recomendações dos fabricantes e um programa de manutenção adequado são essenciais para a longevidade do motor e principalmente para eficiência energética. Não basta ter bons planos de manutenção, tem de colocar em prática e segui-los.



## 5.2.4 Eletrificação de caminhões

As tecnologias para eletrificação de caminhões estão em plena evolução e podemos citar aqui alguns níveis desta caminhada: (fonte KOMATSU)

**Tabela 16** - Evolução do transporte no caminho da descarbonização

NÍVEL	CARACTERÍSTICAS	TEMPO	CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	EMISSIONES GEE
Pré- eletrificação	Situação atual da frota	N.A.	100%	100%
Eletrificação Estágio 1	Migração de diversos sistemas auxiliares para elétricos	Tecnologias disponíveis	98%	-1,90%
Eletrificação + Trolley Estágio 2	Plataforma suportando múltiplos sistemas de propulsão	Intermediário (5 anos)	48 a 68%	-17 a -46%
Eletrificação + Baterias + Híbrido + Hidrogênio Estágio 3	Diesel Troller  Elétrica/ Hidrogênio	Futuro (10 anos)	0%	0%

Fonte: Komatsu – adaptada pelos autores





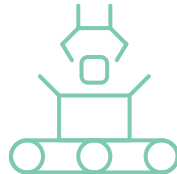
5.2.5 **Cases na área de transporte**

Podemos citar aqui alguns exemplos de ganhos reais obtidos em instalações no Brasil que exemplificam as possibilidades de otimização nesta área (Fonte: Komatsu).



**REDUÇÃO** de tempo de espera de caminhão para carregamento

**-10,36%**



**REDUÇÃO** de tempo de carregadeira:

**- 4,68%**



**AUMENTO** da produtividade do carregamento:

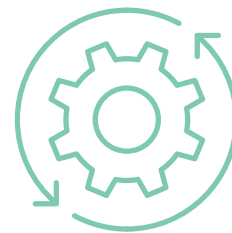
**+1,64%**

Estima-se que novas tecnologias e técnicas de produtividade já disponíveis no mercado voltadas para a redução de emissão de CO<sub>2</sub> podem trazer: (fonte Komatsu)



**75%** de redução de filas de caminhões

**30%** de redução nos retrabalhos de escavadeiras



**11%** de Aumento de produtividade





# 06 FONTES DE PESQUISA



10 Livros de Gestão de Energia e Eficiência Energética na indústria para para você baixar sem custo

---

<https://www.linkedin.com/pulse/10-livros-de-gest%C3%A3o-energia-e-efici%C3%A2ncia-energ%C3%A9tica-na-branco-msc-/?trackingId=ojVHr2bLZuqWP-2Qt350xLA%3D%3D>



PROCEL

---

<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/procel>



EPE – Eficiência Energética

---

<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-e-energetica>



Eletrobras

---

[www.eletrobras.com](http://www.eletrobras.com)



CEMIG

---

[www.cemig.com.br](http://www.cemig.com.br)



SEBRAE

---

<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/eficiencia-energetica>



## Ministério de Minas e Energia

---

[www.gov.br/mme/pt-br](http://www.gov.br/mme/pt-br)



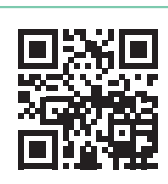
<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/programa-de-eficiencia-energetica>



## GHG Protocol

---

[www.ghgprotocol.org](http://www.ghgprotocol.org)



<https://ghgprotocol.org/programs-and-registries/brazil-program>



<https://www.wribrasil.org.br/noticias/entenda-ghg-protocol-tres-escopos-inventarios-corporativos>



<https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol>



## Outros

---

<https://www.programa-potencializee.com.br/noticias/eficiencia-energetica/>



<https://www.inee.org.br>





<https://www.portaldaeficiencia.com.br/>



<https://www.energyefficiencymovement.com/solutions/>



<https://www.iea.org/energy-system/energy-efficiency-and-demand/energy-efficiency>



<https://www.eesi.org/topics/energy-efficiency/description>



<https://www.energyglobal.com/>



<https://www.irena.org/>

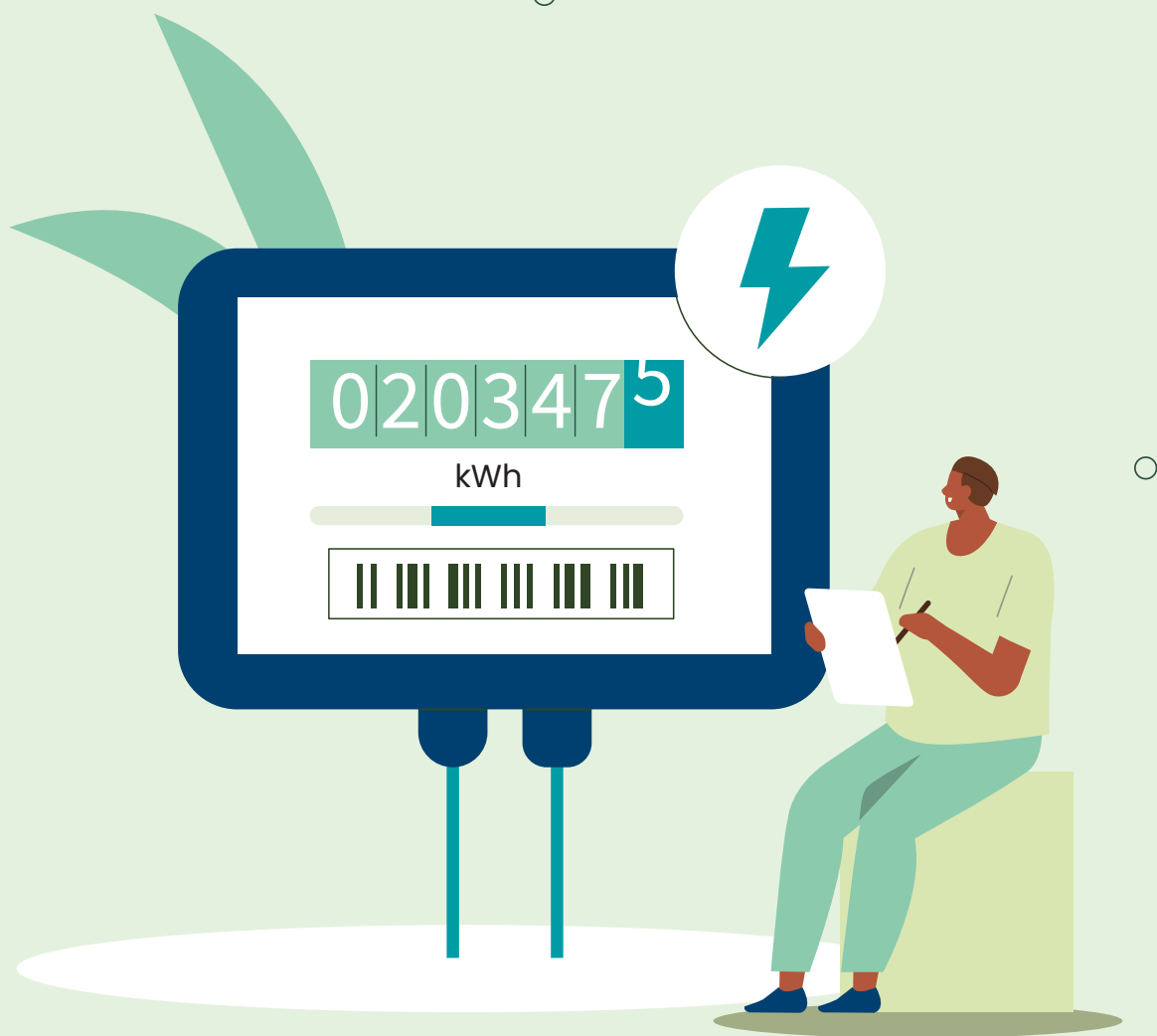


<https://www.energy.gov/eere/iedo/articles/us-mining-industry-energy-bandwidth-study> (este é um artigo com benchmarking na mineração)



<https://www.conexaoambiental.pr.gov.br>





# 07

## ANEXOS

7.1	TIR Verde na prática	137
7.2	“Case 1” – O papel da cultura das empresas no sucesso dos programas de Eficiência Energética	141
7.3	“Case 2” – Otimização de correias transportadoras: estudo de caso de redução da velocidade de motores operando a vazio	150
7.4	“Case 3” – Impactos Positivos no Consumo de Diesel e Manutenção da Frota Obtidos por meio da Melhoria de Vias Nível 1 de RAC	158

## 7.1 TIR Verde na prática

Para a aplicação do conceito de TIR Verde, é necessário lançar mão de conceitos anteriores.

### O QUE É TIR?

É a sigla para Taxa Interna de Retorno, sempre apresentada por % por período. Podemos dizer que o investimento em um projeto de eficiência energética tem uma TIR de 12% ao ano. Isso quer dizer que o investimento deu um retorno de 12% ao ano para a empresa que investiu. Essa informação permite comparar o investimento em eficiência energética com o investimento, por exemplo, em modernização do laboratório químico da planta.

Se, por exemplo, o projeto de eficiência energética que tem uma TIR de 12% ao ano e o investimento em modernização do laboratório tem uma TIR de 9%, o projeto de eficiência energética é melhor, analisando apenas pela TIR. Contudo, atenção, pois outros aspectos podem influenciar na decisão. No caso do projeto do laboratório, ele pode ser obrigatório para atender a normas ambientais ou comerciais da empresa.

### O QUE É FLUXO DE CAIXA?

É uma linha de tempo que projeta o momento atual, ou data zero, e os períodos seguintes, representando os gastos e investimentos do projeto e os ganhos resultantes da eficiência gerada pelo projeto. O fluxo de caixa é soma de custos, despesas e ganhos em cada período.

Um exemplo matemático do fluxo de caixa é mostrado na tabela abaixo para um projeto de eficiência que terá duração de 10 anos:

Reais por ano	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Investimento	-100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Economia	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Fluxo de Caixa ( Investimento + Economia)	-100	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

Cálculo da TIR (%/ano)  
usando Excel **21%**



Notas explicativas:

- 1.** O Ano 0 (ano zero) é o momento atual.
- 2.** O período do Ano 1 ao Ano 10 é determinado pela vida útil dos equipamentos e da mina. Pode variar para cada caso.
- 3.** O Fluxo de Caixa é o resultado dos investimentos, representados como números negativos por serem gastos, e da economia gerada pelo investimento em eficiência energética, que é representado por números positivos, pois são ganhos para a empresa.
- 4.** O cálculo da TIR é feito por meio de um modelo matemático que utiliza sucessivas interações para chegar ao retorno econômico (TIR) do projeto de investimento.
- 5.** Fórmula do Excel para cálculo da TIR é assim escrita: =TIR(Fluxo de Caixa Ano 0 até Fluxo de Caixa Ano 10).

### **MAS O QUE É A TIR VERDE?**

O conceito de TIR Verde está sendo proposto neste Guia para estimular as equipes de desenvolvimento de projetos de eficiência energética a buscar todos os ganhos resultantes.

Por exemplo: um projeto de eficiência energética estimou, por meio de cálculos diretos e de análises dos processos atuais, que a economia de energia seria de 10%, o que resultaria em uma economia anual de R\$ 2 milhões. Com esses parâmetros, a TIR encontrada foi de 9% ao ano. Entretanto, a empresa exige que os projetos de investimento (CAPEX) tenham TIR maior que 12% ao ano.

A equipe passou a buscar outros ganhos que seriam proporcionados pelo projeto. Como a empresa tem um forte compromisso em reduzir o impacto ambiental de suas operações, a equipe centrou seus esforços na área ambiental e descobriu ganhos tangíveis adicionais de R\$ 400 mil por ano. Dessa forma, o projeto trouxe ganhos anuais totais de R\$ 2,4 milhões por ano, o que aumentou a TIR para 14% ao ano e tornou o projeto aceitável pela empresa.



### Um exemplo completo

Uma empresa decide fazer um programa de troca dos motores de grande porte: britagem, moagem e compressores da planta. O investimento total, considerando os impostos, é **R\$ 10 milhões** e o programa pode ser executado em 10 meses. Os gastos são assim discriminados:

Descrição	Milhões de Reais
Compra dos motores	-4,00
Compra dos painéis	-2,00
Adequação local e cabos	-0,50
Engenharia e Planejamento	-0,20
Serviços de Instalação	-2,30
Impostos	-1,00

A Equipe fez uma análise detalhada e estimou que o projeto resultaria na redução de 6% do consumo de energia da planta. Com esse estudo, a equipe calculou que essa redução de consumo, considerando o preço da energia contratado no mercado livre, resultaria em uma economia R\$ 1,51 milhão por ano, para uma vida útil de 10 anos.

Veja a tabela com o Fluxo de Caixa e a TIR comum.

Milhões de Reais por ano	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Compra dos motores	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Compra dos painéis	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Adequação local e cabos	-0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Engenharia e Planejamento	-0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Serviços de Instalação	-2,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Impostos	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total de Gastos	-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ganhos com economia de energia	0	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51
<b>Fluxo de Caixa</b>	<b>-10</b>	<b>1,51</b>	<b>1,51</b>	<b>1,51</b>	<b>1,51</b>	<b>1,51</b>	<b>1,51</b>	<b>1,51</b>	<b>1,51</b>	<b>1,51</b>	<b>1,51</b>

<b>Cálculo da TIR comum</b>	8,29%
-----------------------------	-------

A equipe foi avisada que projetos com **TIR abaixo de 10%** não seriam aprovados, mesmo sendo para aumento de eficiência. É necessário, então, nova análise dos ganhos indiretos do projeto, especialmente na área ambiental.

Os ganhos na área ambiental são principalmente a **redução da emissão de gases do efeito estufa**. Nesse caso a empresa consome energia convencional, sem o certificado de energia renovável. A equipe concluiu que a redução do consumo de energia elétrica traria um ganho com créditos de carbono que seriam monetizados a R\$ 2,00 por MWh não consumidos e uma economia de R\$ 350 mil por ano. O novo Fluxo de Caixa, agora chamado de Fluxo de Caixa Verde, é mostrado abaixo já incluindo o cálculo da TIR Verde:



Ganhos ambientais	0	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
<b>Fluxo de Caixa Verde</b>	<b>-10</b>	<b>1,86</b>	<b>1,86</b>	<b>1,86</b>	<b>1,86</b>	<b>1,86</b>	<b>1,86</b>	<b>1,86</b>	<b>1,86</b>	<b>1,86</b>	<b>1,86</b>

<b>Cálculo da TIR Verde</b>	13,23%
-----------------------------	--------

A TIR Verde passou para 13,23% ao ano, atendendo aos requisitos dos acionistas de que todo projeto deveria ter uma **TIR maior que 10% ao ano**.

## RECOMENDAÇÕES FINAIS

Sobre a montagem do Fluxo de Caixa, recomendamos que se busquem livros-texto sobre análise econômica de investimento e orçamento de capital. O Fluxo de Caixa permite o cálculo não só da TIR, mas também do Valor Presente Líquido (VPL) e do Período do Retorno do Capital, também chamado de *Pay Back*.

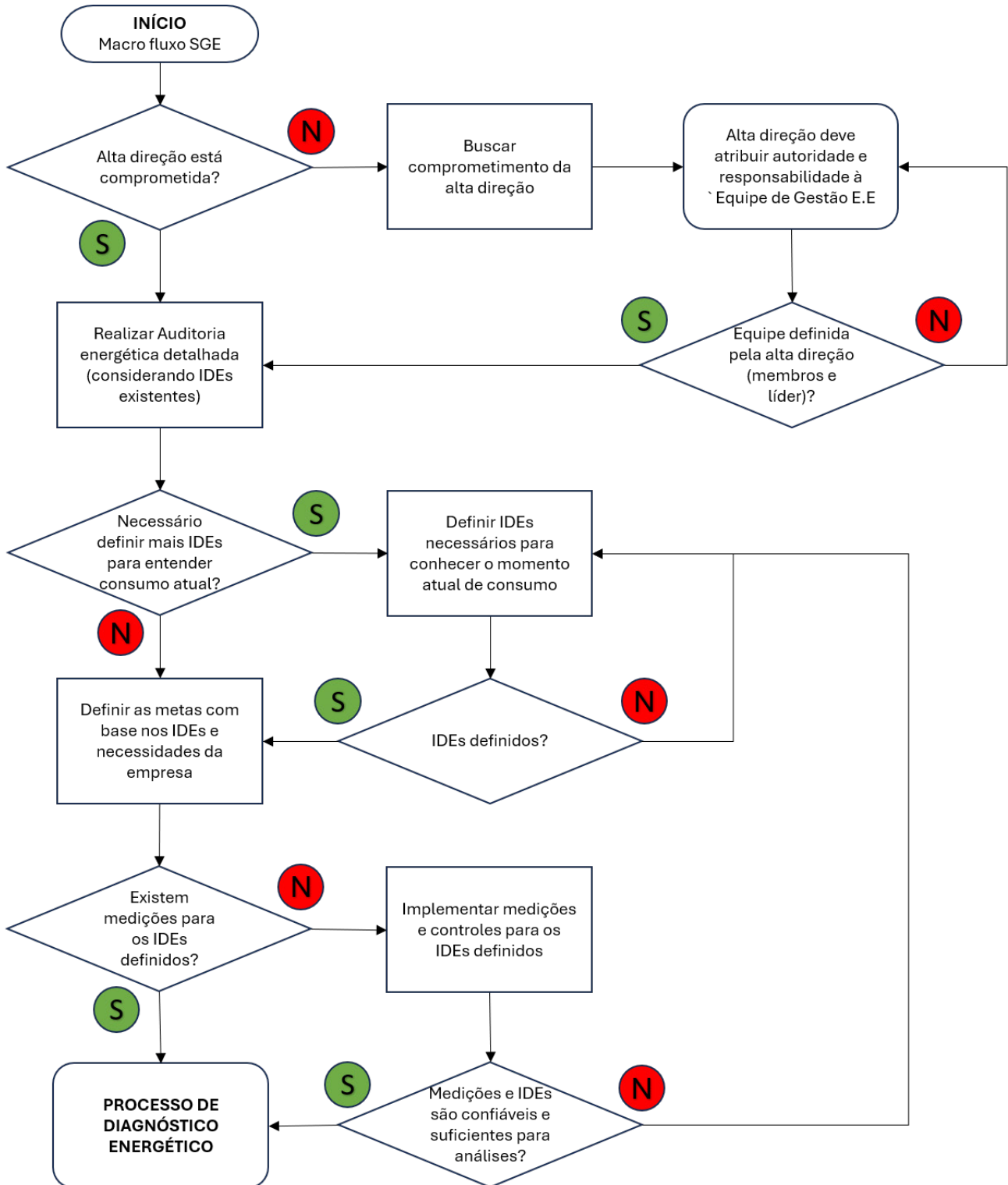
É importante trabalhar com os modelos de Fluxo de Caixa já adotados pela empresa e sempre adotar o modelo de trabalho em equipes multi-disciplinares. Os exemplos citados acima buscam capturar o que chamamos de **ganhos tangíveis**, ou seja, ganhos que podem ser medidos e posteriormente comprovados.

Sugerimos não limitar os estudos aos ganhos tangíveis. Quando se está defendendo um projeto de eficiência energética, devem-se também incluir os **ganhos intangíveis**. Alguns exemplos:

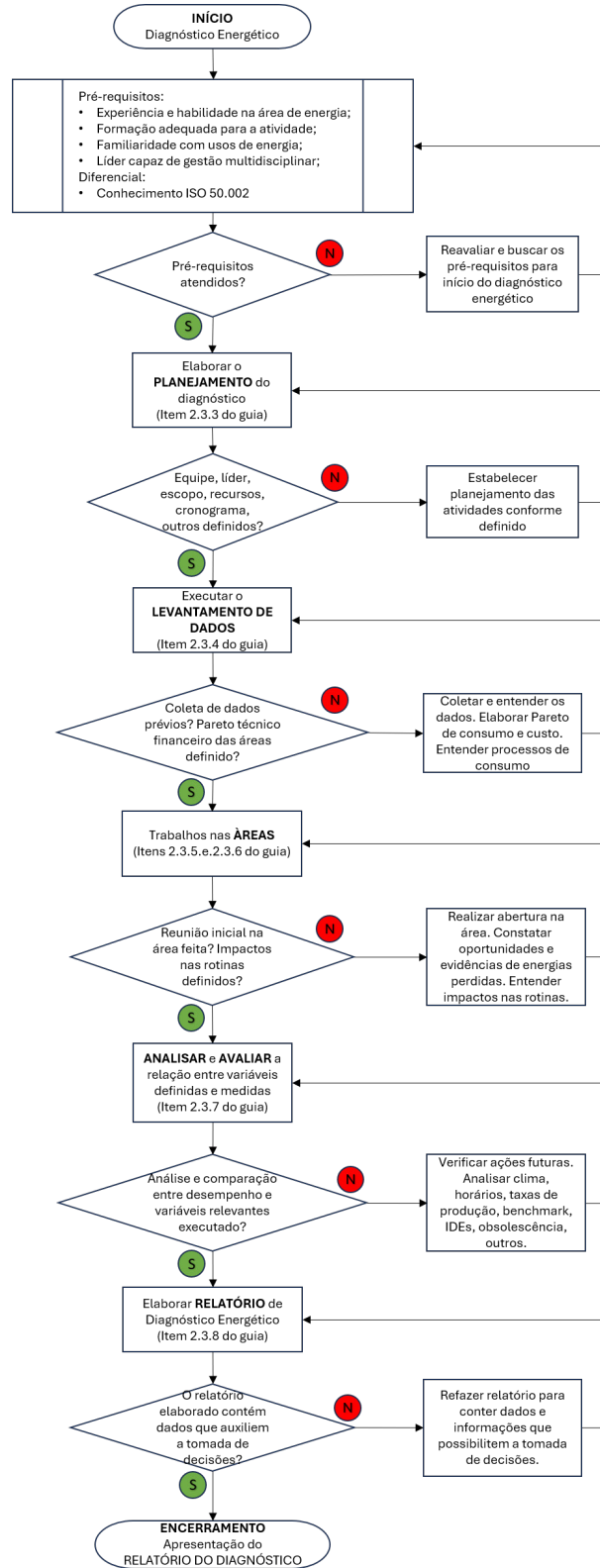
- **Visibilidade no mercado:** a marca da empresa será associada à eficiência que, por sua vez, promove ganhos para a motivação e engajamento do time;
- **Contribuição para as metas de redução das emissões na Mineração:** o IBRAM é a liderança do setor no esforço para a redução do impacto ambiental. Ganhos de eficiência energética estão associados a esse esforço;
- **Escala global:** é possível estabelecer uma associação entre os ganhos de eficiência energética e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU). É importante observar os ODS número 7, que tratam do acesso à energia de forma confiável, sustentável e moderno para a população, e 13, que tratam do combate a mudança climática e seus impactos.



## FLUXOGRAMA IMPLANTAÇÃO S.G.E



## FLUXOGRAMA PARA RELATÓRIO DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO





## 7.2 “Case 1” – O papel da cultura das empresas no sucesso dos programas de Eficiência Energética

Este “case” foi desenvolvido por:

- **Mário Souza Alvarenga (MA)**

Engenheiro Eletricista graduado pela PUCMinas. MBA em Gestão Industrial pela FGV/Ohio University, pós-graduação em *Manager Development Program* pela *University of Cape Town*. Representando a AngloGold Ashanti, atua como Presidente do Conselho Deliberativo do Consórcio da UHE Igarapava. Atuou como Coordenador do GT - Energia do IBRAM e atua como membro efetivo da Câmara de Energia, óleo e gás da FIEMG

- **Matheus Chaves Faria Carvalho (MC)**

Engenheiro Eletricista graduado pela UFMG, Mestre em Ciências em Tecnologia e Política de Energia (*Stony Brook University, New York*), Membro da *Energy Efficiency & Sustainability Experts (AEE)*. Atualmente ocupa posição de especialista na AGA, com foco nos processos de Eficiência Energética e Descarbonização.

Mudar cultura é um processo complexo e desafiador. Cultura desempenha um papel importante na formação da identidade individual e coletiva, influenciando as relações sociais, econômicas e políticas dentro da sociedade. E a cultura organizacional não é diferente. Perguntas como “**o que vou ganhar com isso?**” sempre estão presentes quando se trata algum tipo de mudança.

A cultura de uma organização é a materialização de seus valores no dia a dia da empresa e serve como referencial de padrão de desempenho e comportamento entre os funcionários, influenciando as atividades de cada colaborador. Ela é responsável por criar um elo entre as pessoas e, também, com a empresa. (FNQ, 2018, pag. 4).

A cultura organizacional é influenciada por diversos fatores:

- “Donos” e fundadores (empresas familiares, capital aberto, limitadas, outras);
- Origem (nacionalidade);



- História e histórico dentro das comunidades;
- Mudanças sociais e demográficas;
- Liderança atual;
- Estrutura física do ambiente de trabalho;
- Relações entre funcionários, pares e hierarquia;
- Globalização.

As práticas do dia a dia formam a essência da organização e o maior desafio é tirar do papel o que se espera do comportamento das pessoas e colocar em prática. Normas internas, cartas de intenção ou planos de mudança da cultura organizacional nem sempre se incorporam ao dia a dia, **portanto desejo e intenção não bastam. Uma mudança cultural deve ser tratada como um projeto com seus indicadores, objetivos e metas.**

Eficiência energética pode utilizar tecnologias simples ou avançadas no incremento de resultados, mas implementar requer uma mudança cultural que começa com a educação e a conscientização de todos os membros da organização. Muitas das ações necessárias para reduzir o consumo de energia são comportamentais. Por exemplo: um simples “apagar a luz” ou um sofisticado sistema de controle ambiental.

A conscientização sobre eficiência energética ajuda a construir um **senso de responsabilidade coletiva**. Quando os funcionários entendem como suas ações diárias contribuem para os objetivos mais amplos da empresa em sustentabilidade, eles se sentem parte de uma missão maior e são mais propensos a adotar e promover práticas sustentáveis.

A AngloGold Ashanti (AGA) é a indústria mais longeva do Brasil, completando em 2024 seus 190 anos de atuação. É uma das maiores produtoras de ouro do Brasil, com 338 mil onças produzidas em 2023. O grupo AGA tem sede na Inglaterra, atua em 9 países e no Brasil atua nos estados de Minas Gerais e Goiás. Um desafio cultural!

A AGA desenvolve, ao longo dos anos, mudanças culturais importantes para EE. A empresa, apesar de possuir geração própria e ter, entre seus negócios, participação no segmento de energia, trabalha eficiência energética como um pilar de sua estrutura.

A empresa possui como política no Brasil a gestão eficaz dos recursos naturais e energéticos. Desenvolve a participação de todos, por meio das Comissões Internas de Racionalização de Energia (CIRE), que definem



objetivos e metas nas várias unidades da empresa, estaduais, regionais e internas.

A empresa utiliza como objetivos e metas:

- **Globais:**
  - » Neutralidade das Emissões de GHG até 2050;
  - » Redução de 30% nas emissões até 2030 (linha de base de 2021).
- **Setoriais – IBRAM – ESG Mineração:**
  - » Eficiência – Redução de 5% do consumo específico do setor mineral até 2030 – GJ/ton;
  - » Matriz Energética - Aumento 15% da participação de energia renováveis na matriz energética até 2030.
- **CIRE (internas)**
  - » Redução 5% da intensidade das emissões de GEE em comparação com os valores orçados para 2024.

O programa de eficiência energética tem propósito de contribuir com a sustentabilidade da empresa, aumentando a eficiência energética dos processos, gerando redução de custos e redução das emissões de gases efeito estufa de acordo com pirâmide abaixo.

**Figura:** Pirâmide Eficiência Energética - Desenvolvida pelos autores do “case” (AGA)



Os objetivos da CIRE são:

- Melhoria contínua da eficiência energética dos processos produtivos;
- Redução de custos;
- Sustentabilidade/Redução de emissões de CO<sub>2</sub> e.

**Figura - Participação da CIRE Central e Operacional – Desenvolvida pelos autores do “case” (AGA)**

<b>CIRE Central</b>	<b>CIRE Operacional</b>	<b>Workshop de eficiência energética</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordenadores das CIREs operacionais</li> <li>• Energia</li> <li>• Suprimentos</li> <li>• Sustentabilidade</li> <li>• Comunicação</li> <li>• Projetos</li> <li>• Melhoria Contínua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordenador de CIRE</li> <li>• Representante de cada área da empresa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compartilhamento de iniciativas e resultados</li> </ul>

As ações que suportam estes objetivos estão listadas abaixo:

- Desenvolvimento e implementação de projetos e iniciativas de engenharia, reengenharia de processos e equipamentos – Foco nos processos relevantes de consumo de energéticos;
- Implementação de iniciativas de eliminação de desperdícios;
- Gestão dos IDE/KPI - Monitoramento eficiente de consumo;
- Auditorias Energéticas;
- Conscientização, treinamento e desenvolvimento das pessoas da organização.



As diretrizes definidas para o Sistema de Gestão são definidas conforme listado a seguir:

- Os trabalhos da CIRE serão desenvolvidos por um comitê corporativo e pelos comitês das Unidades operacionais;
- O SGE será desenvolvido observando os requisitos da Norma ABNT NBR ISO 50001;
- Os trabalhos da CIRE devem ser baseados no manual interno MN-0021 - Sistema de Gestão Energética;
- Os projetos e manutenção dos consumidores relevantes devem seguir o PN-0668 (procedimento internos) - Projetos, Manutenções e Aquisições com Impacto Significativo no Desempenho Energético.

São definidas responsabilidades dentro das diretrizes do Sistema de Gestão. O representante da direção (RD) deve:

- Garantir que o SGE seja estabelecido, implementado e mantido. Deve ser continuamente melhorado de acordo com os requisitos da Norma ABNT NBR ISO 50001;
- Identificar pessoas autorizadas por nível gerencial apropriado para trabalhar com o RD nas atividades de gestão de energia;
- Reportar à Alta Direção o desempenho energético;
- Relatar para a Alta Direção o desempenho do SGE;
- Garantir que o planejamento das atividades de gestão de energia seja destinado a apoiar a política energética da organização;
- Definir e comunicar responsabilidades e autoridades para facilitar efetiva gestão de energia;
- Determinar critérios e métodos necessários para garantir que tanto a operação quanto o controle do SGE sejam efetivos;
- Promover a conscientização da política e objetivos energéticos em todos os níveis da organização.



A CIRE central tem as seguintes responsabilidades:

- Estabelecer diretrizes para os trabalhos da CIRE, com base nos Objetivos e Metas da empresa;
- Fazer Gestão dos projetos estruturantes de ESG – Energias;
- Suportar as operações no desenvolvimento e implementação de iniciativas;
- Realizar auditorias energéticas de processos e propor melhorias;
- Promover a cultura de eficiência energética na empresa;
- Suportar a direção nos relatórios de sustentabilidade, informações corporativas e representatividade com stakeholders externos;
- Reportar à diretoria o desempenho energético da empresa e planos de implementação.

E também são definidas dentro das diretrizes o papel das CIREs operacionais:

- Trabalhar em consonância com as orientações do Comitê ESG-Eficiência Energética e do SGE;
- Promover a implementação das iniciativas de eficiência aprovadas;
- Manutenção das informações do TM1 Módulo energia;
- Gestão dos IDEs/KPIs dos processos relevantes de consumo de energéticos da operação (monitoramento e ações de melhorias);
- Desenvolver e propor, no âmbito da operação, novas iniciativas de eficiência;
- Reportar à diretoria da unidade e Comitê ESG-Eficiência energética o desempenho energético da unidade e planos de implementação.



A empresa mantém ativa importantes ações e iniciativas que promovem a preservação, o enriquecimento e o desenvolvimento de diferentes aspectos culturais:

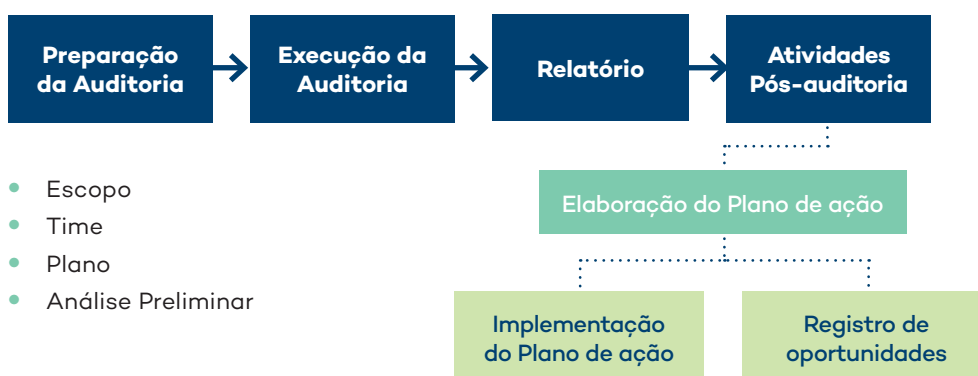
- Diálogo Segurança Semanal Especial;
- Matéria Intranet/News da hora;
- Banner intranet;
- TV Corporativa;
- Outdoors;
- Quiz de eficiência.

As auditorias energéticas são planejadas dentro de um escopo definido. A equipe de auditoria (time) preparada e qualificada executa uma análise preliminar de um planejamento definido com objetivo principal de identificar rapidamente os desperdícios de energia. Os resultados esperados são:

- Redução do consumo de energéticos nas unidades;
- Contribuição para uma mudança de cultura frente aos desperdícios.

A figura abaixo mostra a sequência das auditorias.

**Figura – Preparação Auditorias Energéticas - Desenvolvida pelos autores do “case” (AGA)**



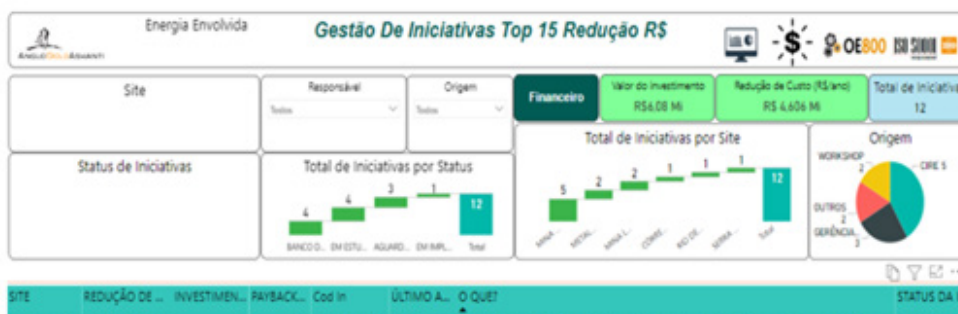
Os treinamentos em diversos níveis são importantes ferramentas para a mudança. Treinar uma equipe transmite conhecimentos técnicos e esta-



belece comportamentos e atitudes que são fundamentais para a cultura e os valores de uma organização. Isso torna o treinamento um elemento crucial na condução e na sustentação da mudança cultural.

Cada oportunidade levantada deve ser avaliada e não pode ser perdida. Neste sentido, utiliza-se o Banco de Oportunidades, onde ficam registradas as oportunidades e iniciativas relacionadas à eficiência energética. Desta forma, podem-se acompanhar e monitorar as ações nas diversas unidades, ou melhor, fazer gestão das ações. A figura abaixo mostra o Banco de Oportunidades.

**Figura – Banco de Oportunidades - Desenvolvida pelos autores do “case” (AGA)**



Nada melhor do que receber informações diretamente dos mentores da mudança de cultura por meio de uma conversa. Abaixo, pontos importantes avaliados durante o bate-papo.

Considerando uma mudança cultural, perguntas relacionadas às dificuldades encontradas na implantação, tempo gasto, investimento e como medir esses ganhos formaram a base da conversa.

**MC** comentou sobre estratégia entre mina e planta e que o comprometimento da Alta Direção é extremamente importante e pré-requisito para a mudança. As questões ambientais, como exemplo a descarbonização, colaboram positivamente no comprometimento de todos, inclusive mudando o nome para Programa de Eficiência Energética e Descarbonização.

**MA** confirmou a necessidade e a importância da participação da Alta Direção e das Lideranças nas diversas áreas da empresa. Enfatizou que o programa deve ter estrutura forte e bem definida. Deve estar integrada na política de recursos energéticos da empresa. “Se não fizer, o programa fica solto. O sistema tem que ser puxado e não empurrado”, afirmou **MA**.





**MA** afirma que o programa deve mapear as oportunidades de eficiência energética. Também mapear as pessoas nas áreas, que não necessitam ser engenheiros ou técnicos. Todas as iniciativas devem ser cadastradas, mesmo que não tenha recursos imediatos para um projeto, mas devem permanecer cadastradas e todas as ações devem ser auditadas.

**MC** fortaleceu os comentários sobre auditorias dos programas EE principalmente, citando sobre Turn Over. “Ganhos relativos ao passado são perdidos no tempo, pelo Turn Over, e podem ser mantidos pelas Auditorias Internas ou Externas”, afirma MC.

Quanto ao tempo, **MA** e **MC** pensam entre 18 a 24 meses para instalar o programa e de 2 a 5 anos para começar a perceber a cultura se alterando. Segundo **MA**, deve-se tomar cuidado, porque “ambiente não forma cultura”.

**MA** informa que os ganhos não são claros, com números exatamente definidos, e ainda permanece uma dificuldade para demonstrá-los. Mudanças no processo (minério, pessoas, produtos) são causas das dificuldades.

O sucesso dos resultados depende das atualizações das bases dos KPIs, que devem ser feitas sempre que houver mudanças significativas no processo. **MC** informou que é necessário observar tendências em que se percebe qual seria o resultado se nada fosse feito.



## 7.3 “Case 2” – Otimização de correias transportadoras: estudo de caso de redução da velocidade de motores operando a vazio

Este “case” foi desenvolvido por:

- **Isabelle V. M. Santos**  
Gerência Eficiência Energética e Riscos – Vale S.A.
- **Mara S. Lopes**  
Gerência de Manutenção Elétrica do Complexo Mariana – Vale S.A.
- **Eduardo F. P. Maciel**  
Gerência de Serviços de Automação Mina e Usina Sudeste – Vale S.A.

### 7.3.1 RESUMO

Na indústria de mineração, o uso de correias transportadoras para movimentar grandes volumes de material por longas distâncias é uma prática comum que facilita o fluxo produtivo. No entanto, devido a características operacionais, esses sistemas podem frequentemente operar de forma ociosa. Este trabalho discute a redução da velocidade dos motores de acionamento das correias transportadoras quando estão operando a vazio, como uma estratégia eficaz para otimizar a operação no setor mineral. Essa abordagem visa melhorar a performance, aumentar a eficiência e a rentabilidade operacional, além de minimizar os impactos ambientais. A análise da ociosidade do circuito apresentado, considerando uma operação otimizada, demonstrou um alto potencial para evitar perdas.

### 7.3.2 JUSTIFICATIVA

As correias transportadoras são equipamentos cruciais na indústria de mineração, utilizadas para a movimentação de materiais desde a área de



extração até as etapas de beneficiamento e armazenamento. Dentre as principais vantagens de utilização deste tipo de sistema estão a capacidade de transporte contínuo de grandes volumes de material, a redução da utilização de caminhões e outros equipamentos móveis, por consequência, da necessidade de movimentação manual de materiais, diminuindo o risco de acidentes e impactando em menor consumo com combustíveis (geralmente de origem fóssil), reduzindo as emissões de carbono (RIBEIRO *et al.*, 2016; SOUSA *et al.*, 2022).

Apesar desses pontos, as correias transportadoras enfrentam desafios que podem afetar a eficiência do sistema: desgastes e manutenção de componentes como roletes, tambores e a própria correia, além do consumo de energia elétrica, que pode ser elevado, especialmente em sistemas longos e complexos.

Para superar esses desafios e otimizar o desempenho das correias transportadoras, diversas estratégias podem ser implementadas:

- **Manutenção Preditiva e Preventiva:** Utilizar sensores e sistemas de monitoramento para prever falhas, detectando vibrações, temperatura e outros parâmetros críticos e garantindo que as correias operem dentro de seus limites de capacidade, além de realizar manutenções preventivas visando o prolongamento da vida útil dos componentes, redução de paradas não programadas e perdas de material (KARDEC e NASCIF, 2009);
- **Design e Engenharia:** Projetar sistemas de correias transportadoras com base em simulações e análises detalhadas pode garantir que o sistema atenda às necessidades operacionais específicas, minimizando pontos de falha e melhorando a eficiência, bem como utilizando materiais adequados para a correia, como borrachas resistentes ao desgaste (FARIA, 2014);
- **Automação, Controle e Eficiência Energética:** Sistemas automatizados de controle de velocidade, integração com sistemas de gerenciamento de mina otimizando o fluxo de material, implementação de motores de alta eficiência e sistemas regenerativos (ZHANG e XIA, 2011).

O ponto de partida para a otimização reside na escolha correta dos componentes da correia transportadora. Fatores como capacidade de carga, tipo de material transportado, distância e inclinação do trajeto, entre outros, devem ser cuidadosamente considerados para garantir o dimensionamento ideal dos equipamentos (FARIA, 2014). A seleção de componentes e a



confiabilidade do circuito também são essências para minimizar falhas e paradas indesejadas.

A otimização de correias transportadoras também contribui para a redução de custos operacionais e a promoção da sustentabilidade. O consumo de energia otimizado, a diminuição do desgaste de componentes e a minimização de perdas de material resultam em uma operação mais eficiente e ecologicamente correta (ZHANG e XIA, 2011), por isso a importância da abordagem.

### 7.3.3 CONTEXTO PRINCIPAL

Os sistemas de acionamento das correias utilizam motores elétricos, geralmente de baixa ou média tensão, e a redução da velocidade de operação de motores, fundamentada em princípios físicos e de engenharia, demonstra ser uma estratégia eficaz para otimizar o consumo de energia, uma vez que é natural que esses sistemas operem ociosos, isto é, com motores em pleno funcionamento mesmo que sem massa a ser transportada (YOUSSEF *et al.*, 2015; LAUHOFF, 2005).

Embora a redução da velocidade do motor seja focada na economia de energia, outros benefícios podem ser observados, tais como menor desgaste dos componentes do sistema, minimizando riscos potenciais. Aliando essa prática a outras medidas de eficiência, as empresas do setor podem alcançar um futuro mais sustentável e economicamente viável (LAUHOFF, 2005; HE *et al.*, 2016).

A potência consumida por um motor é diretamente proporcional ao torque (T) e sua velocidade de rotação (W), conforme apresentado na Equação 1. Com isto, fica evidente que reduzir a velocidade do motor leva a uma diminuição da potência, mesmo que o torque permaneça constante, ou seja, mesmo que a carga seja constante (ALMEIDA *et al.*, 2003).

$$P = W \cdot T \text{ (1)}$$

Os inversores de frequência, por sua vez, são equipamentos que permitem uma partida suave de motores e possibilitam o controle preciso de sua velocidade, convertendo a frequência de alimentação fixa (60 Hz) em uma saída de frequência e tensão variáveis. Muitos inversores de frequência



ainda têm o potencial de devolver energia à rede elétrica por meio de sua capacidade regenerativa (ZHANG e XIA, 2011).

Desta maneira, o estudo baseia-se na consideração de redução da velocidade de motores que possuem inversores de frequência para diminuição do consumo energético em períodos ociosos de operação, por meio da alteração de lógicas de automação.

O estudo realizado abordou o circuito do Transportador de Correia de Longa Distância (TCLD), apresentado na Figura 1, existente no Complexo Mariana, interligando as unidades de Fábrica Nova e Timbopeba da Vale S.A. em Minas Gerais, com aproximadamente 10 km de comprimento.

**Figura - Circuito TCLD Fábrica Nova-Timbopeba, Complexo Mariana**



Fonte: BATISTA (2019).

No modo de operação atual, as correias do circuito permanecem operando 24 h/dia, com velocidade fixa, sendo desligadas somente em casos de manutenções, operando mesmo em períodos a vazio.

Para atuar nas perdas energéticas, a proposta de intervenção tem como premissa reduzir o consumo de energia do TCLD nos períodos de ociosidade na produção, consistindo em reduzir a velocidade dos motores possuidores de inversor de frequência do TCLD para 30% do valor nominal quando a vazio, avaliado como adequado à operação. O estudo não prevê desligamentos dos motores em períodos ociosos. Trata-se de uma replicação de projeto iniciado no Complexo Carajás da Vale S.A., implementado em junho de 2023.



Para a construção do business case do projeto, foi realizado o levantamento da taxa de alimentação (t/h) e corrente dos motores (A) do circuito no período de 01/janeiro/2022 a 31/dezembro/2023, minuto a minuto. Na análise, os seguintes pontos foram considerados:

- Examinar quatro das correias que compõem o circuito TCLD, representadas neste trabalho como TC's 1, 2, 3 e 4, possuindo 10 motores de acionamento no total;
- Compilar os dados considerando que, caso não houvesse taxa e a correia estivesse operando, este seria determinado como período ocioso. Para os casos com taxa e correia operando ou sem taxa e com correia parada, a operação estaria dentro do esperado, sendo classificada como "normal";
- Retirar das análises os erros nas leituras de taxa de alimentação negativa;
- Utilizar os dados de placa dos motores, tais como rotação nominal, tensão, potência, conjugado, rendimento e fator de potência;
- Relacionar a redução de custo com a redução de consumo de energia elétrica, desconsiderando os custos com redução de manutenção. Para fins de cálculo, utilizar o custo com eletricidade como sendo 254,38 R\$/MWh, referência do custo unitário de energia para o Complexo Mariana em 2023, dado fornecido pela área de gestão de energia da companhia. Prêmio Boas Práticas na Mineração do Brasil 20

#### 7.3.4 **RESULTADOS OBTIDOS**

Os dados foram compilados de maneira que fossem apresentados os dias completos de operação ociosa do circuito em intervalos específicos, como apresenta a Tabela 1.

Por exemplo, em 2022, a correia transportadora 1 (representada como TC 1) apresentou diversos momentos em que operou a vazio por até 5 minutos consecutivos, totalizando 4 dias correntes de operação sem material sendo transportado. Avaliando todos os intervalos em que essa correia operou sem transportar massa, podem ser contabilizados 41 dias completos ociosos em 2022 e 39 dias ociosos em 2023.



No geral, em média, as correias do circuito avaliado trabalharam a vazio por aproximadamente 17% do ano em 2022 e 22% em 2023, números considerados como significativos.

Simulando a operação do sistema com redução da velocidade dos motores para 30% do valor nominal em períodos a vazio, foi possível obter os potenciais de redução do consumo com eletricidade e consequente redução de custos. A Tabela 2 apresenta o estudo considerando os dados de operação em 2023.

Conforme explicitado, se a aplicação considerar a redução de velocidade em todos os intervalos em que a correia opera ociosa, há um potencial total de redução de custos com o consumo de eletricidade de aproximadamente R\$ 826.480 por ano.

É importante destacar que é possível que atuar em momentos ociosos de até 15 minutos sequenciais não seja a melhor estratégia por características operacionais. Além disso, cerca de 75% dos momentos ociosos possuem intervalos maiores que essa duração. Para o caso de somente os intervalos de ociosidade que ultrapassem 15 minutos consecutivos serem tratados, a economia estimada anual é de R\$ 581.777.

**Tabela 1 - Dias ociosos por correia nos anos de 2022 e 2023 por intervalo**

Intervalos	2022				2023			
	TC 1	TC 2	TC 3	TC 4	TC 1	TC 2	TC 3	TC 4
até 5 min	4	3	9	5	5	4	11	9
5 - 10 min	2	3	10	5	4	7	12	10
10 - 15 min	2	2	10	6	3	4	12	10
15 - 20 min	2	2	9	5	3	3	10	9
20 - 25 min	2	2	8	5	3	3	10	9
25 - 30 min	2	2	7	4	3	3	9	8
30 - 35 min	1	2	5	3	2	2	7	7
35 - 40 min	1	1	5	3	2	2	5	6
40 - 45 min	1	1	3	2	2	2	5	5
45 - 50 min	1	1	3	2	1	1	4	4
50 - 55 min	1	1	3	2	1	1	3	4
55 - 60 min	1	1	3	2	1	1	3	4
1 - 2 horas	8	9	13	13	7	8	16	22
2 - 3 horas	3	3	4	5	2	3	4	6
3 - 4 horas	3	2	3	3	1	2	1	2
4 - 5 horas	2	1	1	1	0	0	1	1
> 5 horas	7	4	3	3	0	0	1	1
<b>Total</b>	<b>41</b>	<b>41</b>	<b>98</b>	<b>70</b>	<b>39</b>	<b>48</b>	<b>114</b>	<b>117</b>

Fonte: Autoria Própria



**Tabela 2 - Potenciais de redução por intervalo de atuação de ociosidade considerando os dados de 2023**

<b>Intervalos</b>	<b>Redução de Energia (kWh)</b>	<b>Redução de Custo (R\$)</b>
0 - 15 min	961.960	244.703
15 - 60 min	1.516.110	385.668
1 - 2 horas	523.719	133.224
2 - 3 horas	148.891	37.875
3 - 4 horas	63.170	16.069
4 - 5 horas	16.693	4.246
> 5 horas	18.455	4.695
<b>Total &gt; 15 min</b>	<b>2.287.039</b>	<b>581.777</b>
<b>Total &gt; 1 hora</b>	<b>770.928</b>	<b>196.109</b>
<b>Total</b>	<b>3.248.999</b>	<b>826.480</b>

Fonte: Autoria Própria

Analisando o gasto evitado de energia total apontado no resultado, entende-se que há um potencial de redução de aproximadamente 16% do que foi consumido com eletricidade no circuito durante todo o ano de 2023.

Considerando ainda o consumo de eletricidade per capita da região Sudeste apresentado no anuário estatístico de energia elétrica (EPE, 2023), o potencial total de redução de 3,25 GWh/ano é o equivalente a alimentar a cidade de Piranga/MG por aproximadamente um mês, baseando-se na quantidade de habitantes apresentada no Censo 2022 (IBGE, 2023), números expressivos para a avaliação.

A otimização das correias transportadoras na mineração por meio de ajustes na automação do circuito utilizando inversores de frequência se apresenta como técnica viável. O estudo exemplifica que a implementação de um sistema de redução de velocidade para motores de correias transportadoras, quando operando a vazio, pode trazer benefícios significativos em termos de economia de energia.

Este potencial somado a redução no número de manutenções, por menor desgaste dos rolos, tambores, revestimentos e raspadores, aponta a viabilidade da iniciativa que apresenta ainda baixo custo de implementação por se tratar de alteração em lógicas de automação. Para o caso do TCLD de Mariana, é estimado um tempo de retorno de investimento de aproximadamente 3 meses.

Com essa viabilidade apresentada, foi dado início ao processo de gestão de mudança e riscos junto aos pontos focais de operação, manutenção e engenharia do Complexo Mariana. Para isto, foi escrita a especificação





técnica da iniciativa em setembro de 2023 e construído o cronograma com os passos para a implementação, considerando os testes de plataforma, startup e operação assistida, previstas para ocorrer em meados de agosto de 2024.

Na preparação para testes, foi criado o mapa de stakeholders com as ações. Em junho de 2024, foi realizada a análise de riscos por meio da metodologia what-if, levantando-se as incertezas e controles/salvaguardas. Neste momento, entendeu-se que os riscos são classificados com nível baixo, apesar de se tratar de um ativo crítico.

Por fim, após a implantação das lógicas de automação, serão conduzidos os treinamentos dos envolvidos e acompanhamento sistêmico dos resultados da aplicação implementado no sistema de gerenciamento e desenvolvimento do chão de fábrica (ou FMDS, do inglês, *Floor Management Development System*) local.

### 7.3.5 **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao engenheiro Roberto Oliveira dos Santos, a quem a idealização da iniciativa é atribuída, por sua visão de melhoria contínua e primordiais contribuições ao trabalho, aos stakeholders do projeto das áreas de Engenharia, Operação, Manutenção, Automação, Gestão de Mudança, Gestão de Contratos e Gestão de Riscos da Vale S.A. e à empresa TSA pela parceria no desenvolvimento.



## 7.4 “Case 3” – Impactos Positivos no Consumo de Diesel e Manutenção da Frota Obtidos por meio da Melhoria de Vias Nível 1 de RAC

Esse “case” foi apresentado como Contribuição técnica ao 25º Seminário de Automação e TI, parte integrante da ABM Week 7ª edição, realizada de 1º a 3 de agosto de 2023, São Paulo, SP, Brasil.

Desenvolvido por:

- **Anderson Antônio de Lima**  
Técnico e Graduação em Gestão da Qualidade, Supervisor de Infraestrutura, Mineração Usiminas, Itatiaiuçu, MG, Brasil
- **Adilson César Melo de Paula**  
Engenheiro de Minas e Mineração com Especialização em Gestão de Negócios, Gerente de Operação de Mina, Mineração Usiminas, Itatiaiuçu, MG, Brasil
- **Bruna Rahd Mariano**  
Engenheira Mecânica com Especialização em Gerenciamento de Negócios, Gerente de Conta, Cascadia Scientific, Surrey, BC, Canadá
- **Ellan Rodrigo**  
Técnico em Mineração, Técnico de Operação de Mina, Mineração Usiminas, Itatiaiuçu, MG, Brasil
- **Frederico Ibrahim Horta**  
Engenheiro de Minas com MBA em Gestão Industrial, Especialista em Operação de Mina, Mineração Usiminas, Itatiaiuçu, MG, Brasil
- **Marciano Luiz**  
Engenheiro de Produção com Pós-graduação em Sistemas Minero-Metalúrgico, Engenheiro de Operação de Mina, Mineração Usiminas, Itatiaiuçu, MG, Brasil
- **Maxuel Teixeira**  
Engenheiro Mecânico com Pós graduação em Engenharia de Sistemas Autônomos, Engenheiro de Performance de Frota, Sotreq, Belo Horizonte, MG, Brasil
- **Raquel Stroher**  
Advogada com diploma em Marketing para Negócios, Especialista de Desenvolvimento de Negócios, Cascadia Scientific, Surrey, BC, Canadá



## 7.4.1 RESUMO

O texto aborda a importância da eficiência dos processos de manutenção de vias para aumentar a eficiência dos equipamentos em mineração e destaca o impacto da qualidade das vias como um fator que influencia a vida útil dos equipamentos, consumo de combustível e corte de pneus. O projeto utilizou a tecnologia RAC para monitorar a qualidade das vias e as ferramentas de mapa de calor e aprendizado de máquina da Cascadia Scientific para mensurar os ganhos obtidos. O trabalho realizado resultou em melhorias na eficiência em litros por tonelada transportada em 8,69%, e 36% no custo de pneu por tonelada transportada, ambos em comparação de 2021 e 2022. A redução do consumo representa economia de mais de 14 mil toneladas de emissão de CO<sub>2</sub> na Mineração Usiminas.

## 7.4.2 INTRODUÇÃO

A eficiência dos processos de manutenção possibilita o aumento da disponibilidade dos equipamentos, por meio do acompanhamento do uso da mão de obra, precisão na execução das PMs e utilização eficaz das janelas de oportunidades para manutenção corretiva e programada. Existem, contudo, outras vertentes que contribuem para a redução do total *cost of ownership* da frota, uma delas, de forma indireta, é a qualidade das vias de uma mineração.

A qualidade das vias influencia em vários fatores na manutenção, como vida útil de componentes do trem de força e chassi, consumo de combustível, corte de pneus, aumento da produção por diminuição do tempo de ciclo e maior disponibilidade física do equipamento. Baseado em uma necessidade inicial do cliente em reduzir o custo da frota com relação a cortes de pneus, iniciou-se um trabalho focado na qualidade das vias, utilizando algumas ferramentas de tecnologia e um time empenhado com experiência no assunto. A Figura 1 mostra um caminhão 777G em operação na Mineração Usiminas.



**Figura 1.** Caminhão 777G em Operação na Mineração Usiminas

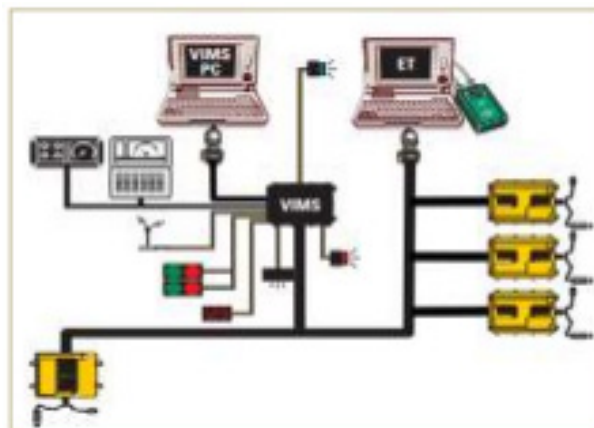


### 7.4.3 DESENVOLVIMENTO

#### 7.4.3.1 Road Analysis Control

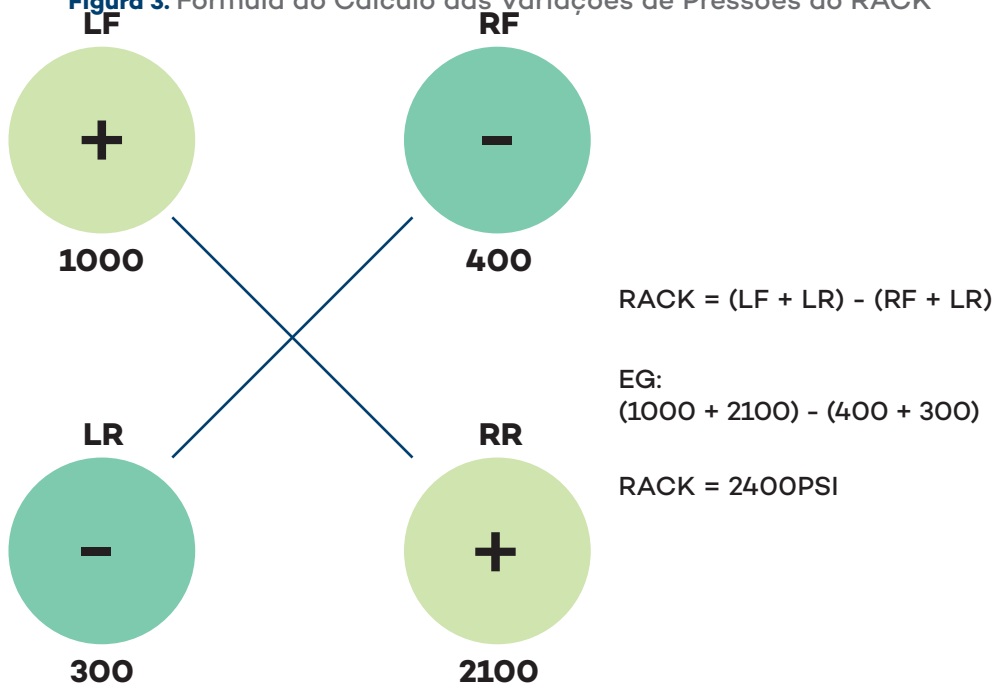
O RAC (Road Analysis Control) é uma tecnologia embarcada dos caminhões Caterpillar 777G. Por meio de variações de pressões da suspensão, o software coleta cerca de 60 variações por segundo e avalia qual o impacto que a pista tem sobre o equipamento. A arquitetura eletrônica embarcada no equipamento em questão é exibida na Figura 2.

**Figura 2.** Arquitetura Eletrônica do Caminhão 777G



Este impacto é avaliado em três formas diferentes, RACK, PITCH e BIAS. Cada um demonstra um comportamento diferente do chassi do equipamento e de demais itens, como trem de força e suspensões. Além disso, as pistas são classificadas em níveis de criticidade diferente, o nível três é o pior e o nível um é o melhor. Nesses níveis, o resultado da variação das pressões é maior para o nível três e menor para o nível um. Para iniciarmos o projeto, configuramos o sistema no nível três de criticidade e monitoramos apenas o RACK. O RACK é calculado conforme a Figura 3

**Figura 3.** Fórmula do Cálculo das Variações de Pressões do RACK



Desta forma, a cada mês de operação, toda vez que o sistema identificava uma variação de pressão que atingia o valor limite, o sistema gerava um alarme de RACK que mostrava o dia, a hora e outras informações do momento exato que aconteciam. De posse desses dados, a Cascadia Scientific foi capaz de identificar as coordenadas de GPS para identificação da localização dos alarmes e a Mineração Usiminas atuar de maneira direcionada na correção do problema. O processo é exibido no fluxo de correção mostrado na Figura 4.



**Figura 4.** (i) Identificação do Alarme de RACK Monitorado pela Sotreq; (ii) Identificação da Localização do evento pela Cascadia Scientific; (iii) Correção da Via pela MUSA



### 7.4.3.2 Metodologia para Medição de Consumo de Diesel

Utilizando dados de consumo de combustível de alta precisão, medições da inclinação da estrada, velocidade do veículo, posicionamento, movimentação e altitude, a Cascadia Scientific foi capaz de avaliar os impactos positivos em consumo de diesel em um comparativo entre 2021 e 2022 na Mineração Usiminas.

Foram utilizadas duas ferramentas para a avaliação: Aprendizado de Máquina e Mapas de Calor. A primeira é baseada em *Gradient Boosted Trees* (GBT), que são árvores de decisão que modelam o relacionamento entre variáveis de maneira dependente entre elas. É um algoritmo de Aprendizado Supervisionado amplamente utilizado em problemas de classificação. *Gradient Boosting* faz uso de modelos aditivos para gradualmente aproximar um melhor modelo, de modo a somar submodelos ao conjunto [1]. O modelo é treinado utilizando as seguintes variáveis:

- Tempo de Percurso Descarregado;
- Tempo de Percurso Carregado;



- Distância Percorrida Descarregado;
- Distância Percorrida Carregado;
- Distância Vertical Percorrida Descarregado;
- Distância Vertical Percorrida Carregado;
- Carga Útil Transportada.

O equipamento e o operador são modelados como uma variável categórica, como também o impacto da sazonalidade é incluído introduzindo o mês da amostragem. Para discernir o impacto de uma determinada variável na previsão, São necessários a análise da estrutura da árvore e um ajuste das previsões. O método mais rigoroso para alcançar isso é por meio de valores SHAP, que são derivados da teoria dos jogos e avaliam o valor preditivo dos modelos. Os valores SHAP, que descrevem a contribuição esperada de cada variável dado o valor observado, são calculados usando uma biblioteca padrão. Isso é simulado substituindo o valor da variável por outro valor válido do conjunto de dados e observando a mudança na previsão do modelo. Isso é repetido em combinação com variáveis adicionais para obter termos de interação de ordem superior.

De acordo com as variáveis contínuas listadas anteriormente, o modelo quantifica o impacto de cada uma delas gerando o coeficiente do modelo. O gráfico de radar na Figura 5 ilustra o coeficiente do modelo por variável, de mesma maneira, a Tabela 1.

**Figura 5.** Modelo Gerado pelo GBT Exibido em um Gráfico do Tipo Radar



**Tabela 1.** Identificação do Coeficiente do Modelo por Variável Contínua e Ciclo Médio

<b>Parâmetros</b>	<b>Coeficiente do Modelo</b>	<b>Ciclo Médio</b>
Distância Percorrida Carregado	0,009713 (L / Ton) /km	2,946 km
Distância Percorrida Descarregado	0,029857 (L / Ton) /km	2,951 km
Distância Vertical Percorrida Carregado	0,001121 (L / Ton) /m	26,231 m
Distância Vertical Percorrida Descarregado	0,000315 (L / Ton) /m	90,499 m
Carga Útil Transportada	-0,001881 (L / Ton) / Ton	100,178 Ton
Tempo de Percurso Carregado	0,110995 (L / Ton) /h	0,192 h
Tempo de Percurso Descarregado	0,095310 (L / Ton) /h	0,182 h

## 7.4.4 RESULTADO

### 7.4.4.1 Resultados Obtidos por Mapas de Calor

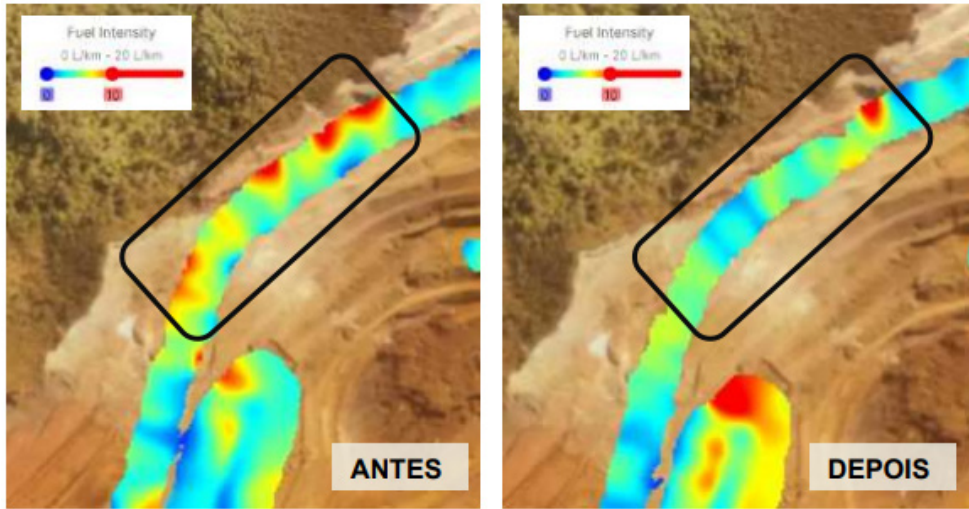
O time da Mineração Usiminas realizou uma série de mudanças importantes na mina, com destaque para o alargamento do acesso na Unidade 2, concluído em abril de 2022. Ao utilizar o mapa de calor, foi possível comparar o desempenho do segmento entre os meses de março e maio do mesmo ano, e identificar os efeitos positivos da intervenção na via em relação ao consumo de diesel (ver Figura 6) e a velocidade média (ver Figura 7).

Os mapas de calor apresentam uma forma visual clara de identificar a intensidade de uma variável, e, neste caso, foi possível visualmente perceber que o alargamento das vias resultou no aumento da velocidade média do segmento, o que consequentemente melhorou a eficiência em litro por quilômetro percorrido. Além disso, a ferramenta permite a análise de pontos específicos de acordo com um segmento desenhado. Para a avaliação dos resultados, os lados da via carregado e vazio foram considerados separadamente, e os resultados foram exibidos nas Tabelas 2 e 3. As tabelas fornecem uma forma quantitativa de medir os ganhos em produtividade, como a redução do tempo de percurso, e, em eficiência, como a redução no consumo específico do segmento.

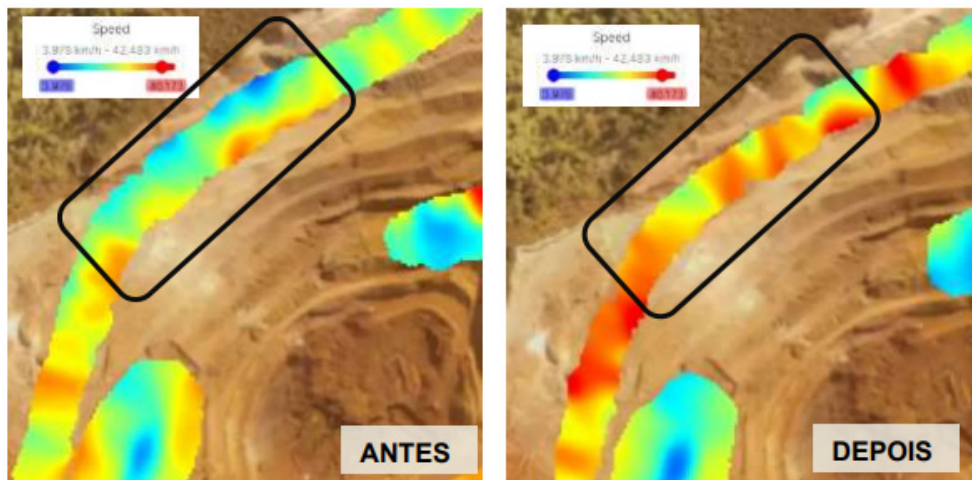




**Figura 7.** Antes e Depois da Velocidade após Alargamento da Via



**Figura 6.** Antes e Depois do Consumo de Combustível por Metro Percorrido após Alargamento da via



**Tabela 2.** Comparação de Antes e Depois do Segmento Após Alargamento da Via para Equipamentos Carregados

Variável	Carregado		
	Antes (Mar)	Depois (Maio)	Diferença
Intensidade de Consumo [L/km]	4,735	2,773	-1,962
Taxa de Consumo [L/h]	83,607	64,085	-19,522
Tempo [s]	72,7	55,5	-17,2
Velocidade Média [km/h]	17,7	23,1	5,4
Grade [%]	1,8	1,8	0
Consumo no trecho [L]	1,688	0,988	-0,7
Distância Vertical [m]	6,5	6,4	-0,1

**Tabela 3.** Comparação de Antes e Depois do segmento após alargamento da via para Equipamentos azios,

Variável	Vazio		
	Antes (Mar)	Depois (Maio)	Diferença
Intensidade de Consumo [L/km]	5,175	5,017	-0,158
Taxa de Consumo [L/h]	130,776	142,632	11,856
Tempo [s]	40,2	35,7	-4,5
Velocidade Média [km/h]	25,3	28,4	3,1
Grade [%]	4,5	4,7	0,2
Consumo no trecho [L]	1,461	1,416	-0,045
Distância Vertical [m]	12,6	13,2	0,6

#### 7.4.4.2 Resultados Calculados por Aprendizado de Máquina

Os trabalhos de melhoria e manutenção nas vias foram realizados constantemente em todo a mina pelo time de operação de mina da Mineração Usiminas. Enquanto os mapas de calor são capazes de avaliar o trecho específico, o modelamento de ciclo disponível no software da Cascadia possibilita uma avaliação completa da mina.

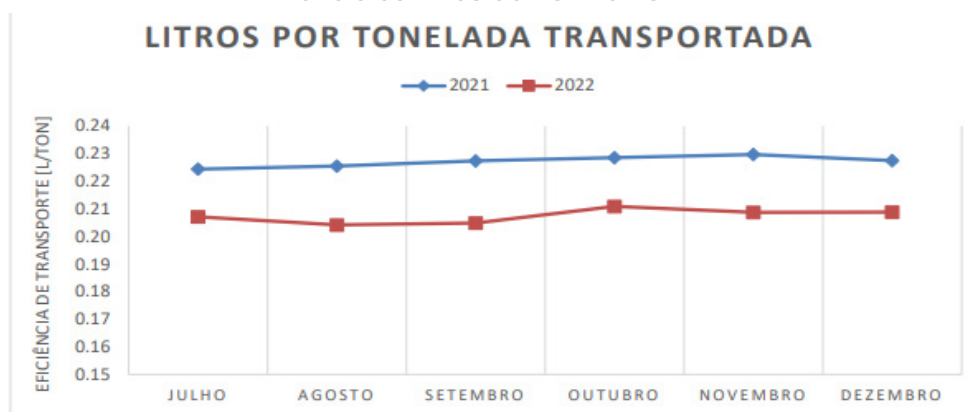
Para a avaliação, foram comparados os anos de 2021 e 2022, e devido à coleta de dados ter-se iniciado em julho/2021, o trabalho irá considerar somente os mesmos períodos de ambos os anos, devido ao fato de as intempéries variarem consideravelmente entre os meses. O ciclo médio utilizado na avaliação é informado na Tabela 1 e será o mesmo ciclo utilizado para ambos os anos avaliados.

Foi feita a predição mensal da eficiência em litros por tonelada transportada e o resultado é apresentado na Figura 4. Assim, é possível avaliar as



tendências e possíveis impactos nas mudanças realizadas na mina ao longo do tempo.

**Gráfico 1.** Comparação de Eficiência por Mês entre os Anos de 2021 e 2022



Com o modelo de análise considerando o mesmo grau de atividade e ciclos entre os anos de 2021 e 2022, variando somente o período de avaliação, foi possível identificar que os meses de julho a dezembro de 2022 apresentaram uma eficiência 8,69% superior em relação ao mesmo período de 2021, quando avaliado o consumo de diesel por tonelada transportada. Além disso, assumindo que essa melhoria também se refletiu na primeira metade do ano de 2022, houve um total de 525.545,25 litros de diesel economizados.

Essa economia é significativa quando se considera que cada litro de diesel representa 2,7 kg de CO<sub>2</sub> emitidos. Assim, é possível estimar que a redução no consumo de diesel da mina Usiminas representa uma economia de mais de 14 mil toneladas de emissão de CO<sub>2</sub>, o que contribui para um impacto positivo no meio ambiente.

#### 74.4.3 Resultados Obtidos com Pneus

Além da economia de diesel, a de pneus também é diretamente ligada a qualidade das vias. Por isso, de mesma maneira, foi comparado o custo de pneu por tonelada transportada em 2021 e 2022. Considerando a frota mista na avaliação, em 2021, o gasto com pneu foi entorno de 0,19 centavos por tonelada movimentada, enquanto em 2022 este custo caiu para 0,12. A redução de mais de 36% pode ser atribuída a melhoria da qualidade de rolagem das vias. Avaliando as falhas de pneus, a principal diferença entre os anos foi a redução de falhas do tipo corte ou penetração.



## 7.4.5 CONCLUSÕES

Em resumo, a eficiência dos processos de manutenção é fundamental para o aumento da disponibilidade dos equipamentos e a redução do total cost *of ownership* da frota. No entanto, a qualidade das vias de uma mineração é outra vertente que pode contribuir para essa redução, influenciando diversos fatores na manutenção e produção. Por meio do uso de tecnologias como o *Road Analysis Control* e as ferramentas da Cascadia Scientific, a Mineração Usiminas obteve resultados positivos na melhoria e manutenção das vias, o que se refletiu em ganhos em produtividade, eficiência e redução de emissões de CO<sub>2</sub>. O trabalho mensurou os ganhos em eficiência em cerca de 8,69% em litros/toneladas, e na redução de 36% com custo de pneu/tonelada. Esses resultados reforçam a importância de investimentos em tecnologias e em manutenção e melhoria das vias como estratégias para otimizar o desempenho da frota e contribuir para a sustentabilidade das operações de mineração.

## 7.4.6 AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Mineração Usiminas pela confiança no trabalho depositado e por desenvolver o cuidado com as pessoas e atenção na segurança operacional. Agradecemos também a Sotreq pelo apoio no trabalho desenvolvido e, por fim, agradecemos a gerência da Cascadia pelo acompanhamento do projeto

## 7.4.7 REFERÊNCIAS

Matos Junior, C. (2020). Gradient Boosting para a classificação de fácies. IGc/USP, p. 48. Acesso em 20 de Fev de 2022, disponível em [https://repositorio.usp.br/directbitstream/9d614e78-89e7-4428-899c4cbe15c41a38/Matos%20Junior%20CC\\_Gradient%20boosting.pdf](https://repositorio.usp.br/directbitstream/9d614e78-89e7-4428-899c4cbe15c41a38/Matos%20Junior%20CC_Gradient%20boosting.pdf)

Natural Resources Canada. (2014). Learn the facts: Emissions from your vehicle. AutoSmart.



## BIBLIOGRAFIA

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Programa Educacional de Eficiência Energética. In: PEEE **Medição e Verificação**. Belo Horizonte: Datte - Tecnologias Avançadas em Gestão, v. 7, 2007. p. 110.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 50.002: Auditoria de Energia – Requisitos com Orientação para Uso**. Rio de Janeiro. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 50.006: Medição do Desempenho Utilizando Linhas de Base Energética (LBE) e Indicadores de Desempenho Energético (IDE) – Princípios Gerais e Orientações**. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 50.001: Sistema de Gestão de Energia – Requisitos com Orientação para uso**. Rio de Janeiro. 2018.

BEYGLOU, A; JOHANSSON, D; SCHUNNESSON, H. Target fragmentation for efficient loading and crushing - teh Aitik case. **The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy**, Johannesburg, 117, nov. 2017. 1053-1062.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília. 2007.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia; ELETROBRÁS/PROCEL. **Manual Prático - Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido**. Brasília, DF, p. 87.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. Thermodynamics: An Engineering Approach. In: LTDA, AMGH E. **Energia, Transferência de Energia e Análise Geral da Energia**. Tradução de Paulo Maurício Costa Gomes e Antônio Pertence Junior. 7. ed. Porto Alegre: Grupo Educação S.A. e McGraw-Hill Education, 2011. Cap. 2, p. 51-99.

ELETROBRAS. **Dicas de Economia de Energia por Setor de Consumo**. Superintendência de Eficiência Energética - PF. Brasília, p. 96. 2016.



ELETROBRÁS. **Motor Elétrico Premium / Carlos Aparecido Ferreira**. International Copper Association Brazil. Rio de Janeiro, p. 64. 2016.

EPE, EMPRESA PESQUISA ENERGÉTICA. **Atlas de Eficiência Energética - Brasil 2023 - Relatório de Indicadores**. Brasília, p. 99. 2023.

GREENHOUSE GAS PROTOCOL. Greenhouse Gas Protocol. <https://ghgprotocol.org/>. Disponível em: <<https://ghgprotocol.org/>>. Acesso em: mar. 2024.

HIDALGO, Mario D. C. **Eficiência energética: a chave para a mineração do futuro**, 23 nov 2022. Disponível em: <[www.esss.com/blog/eficiencia-energetica-chave-mineracao-do-futuro/](http://www.esss.com/blog/eficiencia-energetica-chave-mineracao-do-futuro/)>. Acesso em: jun 2024.

JESWIET, Jack; SZEKERES, Alex. Energy Consumption in Mining Communitation. **23rd CIRP Conference in Mining Communitation**, Ontario, 2016. 140-145. Disponível em: <[creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)>.

JÚNIOR, Homero D.; SAMPAIO, João A. Circuitos Industriais de Moagem Autógena e Semi-Autógena. In: LUZ, Adão B. D.; FRANÇA, Silvia C. A.; BRAGA, Paulo F. A. **Tratamento de Minérios**. 6. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIE, 2018. Cap. 4.3, p. 187-221. Disponível em: <[mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2176](http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2176)>. Acesso em: maio 2024.

LUZ, Adão B. D.; ALMEIDA, Salvador L. M. D.; BRAGA, Paulo F. A. Tratamento de Minérios. In: LUZ, Benvindo da A.; ALMEIDA, Salvador L. M. D.; BRAGA, Paulo F. A. **Britagem e Moagem**. 6. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018. Cap. 4.2, p. 134-183. Disponível em: <[mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2175](http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2175)>. Acesso em: maio 2024.

METSO. Aumentando a eficiência energética para soluções de cominuição. [www.metso.com](http://www.metso.com), 20 dez 2021. Disponível em: <<https://www.metso.com/pt/insights/blog/mineracao-e-metais/aumentando-a-eficiencia-energetica-para-solucoes-de-cominuicao/>>. Acesso em: 01 abril 2024.

METSO:OUTOTEC. Basics in Minerals Processing Edition 12, Helsinki Finland, p. 336. Disponível em: <[https://www.metso.com/globalassets/insights/ebooks/mo-basics-in-mineral-processing-handbook\\_lowres.pdf](https://www.metso.com/globalassets/insights/ebooks/mo-basics-in-mineral-processing-handbook_lowres.pdf)>. Acesso em: julho 2024.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos** (GUIA PMBOK). 5. ed.



SAMPAIO, João A.; JÚNIOR, Homero D. Princípios da Cominuição. In: LUZ, Adão B. D.; FRANÇA, Sílvia C. A.; BRAGA, Paulo F. A. **Tratamento de Minérios**. 6. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018. Cap. 4.1, p. 107-131. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2172>>. Acesso em: abr 2024.

SEBRAE. **Sensibilização e Conscientização**. Programa Sebrae de Eficiência Energética. Cuiabá, p. 20. 2003.

VIANA, Augusto N. C. *et al.* **Eficiência Energética: Fundamentos e Aplicações**. 1. ed.

WEG, Driving E. A. S. **Guia de Especificação de Motores Elétricos**, Jaraguá do Sul, 2023.



## ÍNDICE REMISSIVO

### A

- **ABNT NBR ISO 50001**  
Págs.: [25](#), [34](#), [35](#), [36](#), [52](#), [147](#)
- **ABNT NBR ISO 50002**  
Pág.: [41](#)
- **ABNT NBR ISO 50006**  
Pág.: [52](#)
- **Acoplamento**  
Págs.: [87](#), [91](#), [92](#), [107](#), [116](#), [118](#)
- **Análise de desempenho**  
Págs.: [49](#), [57](#)
- **Análise dos Projetos**  
Pág.: [71](#)
- **Aquecimento global**  
Pág.: [30](#)
- **Automação**  
Págs.: [27](#), [34](#), [69](#), [95](#), [101](#), [106](#), [125](#), [150](#), [151](#), [152](#), [153](#), [155](#), [156](#), [157](#), [158](#), [159](#), [160](#)

### B

- **Bombas**  
Págs.: [20](#), [79](#), [102](#), [107](#), [122](#)
- **Britadores**  
Págs.: [23](#), [79](#), [93](#), [94](#), [95](#), [96](#), [99](#)

### C

- **Cominuição**  
Págs.: [13](#), [23](#), [78](#), [79](#), [98](#), [99](#), [108](#), [172](#), [173](#)
- **Compressores**  
Págs.: [26](#), [102](#), [108](#), [109](#), [110](#), [111](#), [113](#), [114](#), [120](#), [121](#), [139](#)
- **Conversão de energia**  
Págs.: [29](#), [70](#)
- **Correias Transportadoras**  
Págs.: [23](#), [79](#), [97](#), [98](#), [152](#), [153](#), [154](#), [158](#)
- **Cultura**  
Págs.: [13](#), [19](#), [36](#), [37](#), [67](#), [68](#), [143](#), [144](#), [147](#), [148](#), [149](#), [150](#), [151](#)

### D

- **Demanda**  
Págs.: [12](#), [13](#), [15](#), [21](#), [25](#), [26](#), [27](#), [41](#), [112](#), [113](#), [114](#), [118](#), [122](#), [127](#)
- **Descarbonização**  
Págs.: [22](#), [33](#), [34](#), [130](#), [143](#), [150](#)
- **Desperdício**  
Págs.: [24](#), [26](#), [36](#), [40](#), [87](#), [89](#), [125](#), [146](#), [149](#)
- **Diagnóstico Energético**  
Págs.: [40](#), [41](#), [42](#), [46](#), [142](#)





## E

- **Efeito Estufa**  
Págs.: [12](#), [13](#), [19](#), [21](#), [22](#), [30](#), [31](#), [32](#), [33](#), [35](#), [124](#), [127](#), [139](#), [145](#)
- **Eficiência Energética**  
Págs.: [13](#), [15](#), [16](#), [19](#), [20](#), [21](#), [22](#), [23](#), [25](#), [29](#), [36](#), [40](#), [51](#), [53](#), [54](#), [59](#), [62](#), [63](#), [67](#), [68](#), [71](#), [72](#), [75](#), [79](#), [81](#), [85](#), [88](#), [89](#), [90](#), [91](#), [95](#), [96](#), [98](#), [99](#), [101](#), [106](#), [107](#), [108](#), [109](#), [110](#), [111](#), [113](#), [115](#), [116](#), [117](#), [118](#), [122](#), [123](#), [124](#), [125](#), [130](#), [133](#), [137](#), [138](#), [140](#), [142](#), [143](#), [144](#), [145](#), [146](#), [148](#), [150](#), [151](#), [152](#), [153](#), [172](#), [173](#)

## F

- **Fronteiras de medição**  
Págs.: [52](#), [54](#)

## G

- **Gases de efeito estufa**  
Págs.: [12](#), [13](#), [19](#), [21](#), [22](#), [30](#), [31](#), [32](#), [35](#), [124](#)
- **GHG**  
Págs.: [31](#), [134](#), [145](#), [172](#)
- **Gerenciamento dos Projetos**  
Págs.: [63](#), [172](#)
- **Gestão de Energia**  
Págs.: [22](#), [24](#), [25](#), [34](#), [41](#), [47](#), [49](#), [51](#), [54](#), [59](#), [106](#), [133](#), [147](#), [156](#), [171](#)

## I

- **Indicadores de desempenho energético**  
Págs.: [35](#), [36](#), [38](#), [52](#), [55](#), [171](#)

## L

- **Levantamento de dados**  
Págs.: [43](#), [50](#)

## M

- **Medição e Verificação**  
Págs.: [47](#), [51](#), [71](#), [72](#), [169](#)
- **Meta energética**  
Págs.: [54](#), [57](#)
- **Metodologia**  
Págs.: [41](#), [49](#), [50](#), [56](#), [63](#), [64](#), [65](#), [66](#), [67](#), [72](#), [164](#)
- **Modelo energético**  
Págs.: [53](#), [54](#), [57](#)
- **Moinho**  
Págs.: [23](#), [45](#), [58](#), [79](#), [94](#), [98](#), [99](#), [100](#), [101](#), [125](#)
- **Motores Elétricos**  
Págs.: [20](#), [70](#), [79](#), [80](#), [81](#), [89](#), [154](#), [171](#), [173](#)

## O

- **Oportunidades**  
Págs.: [21](#), [24](#), [26](#), [32](#), [36](#), [38](#), [40](#), [41](#), [43](#), [44](#), [45](#), [46](#), [47](#), [50](#), [61](#), [62](#), [69](#), [70](#), [71](#), [102](#), [110](#), [111](#), [113](#), [115](#), [122](#), [124](#), [125](#), [149](#), [150](#), [151](#), [161](#)



## P

- **PDCA**  
Págs.: [35](#), [41](#), [49](#)
- **Peneiras**  
Págs.: [93](#), [95](#), [96](#), [100](#), [107](#)
- **Projetos**  
Págs.: [13](#), [23](#), [31](#), [38](#), [51](#), [59](#), [61](#), [62](#), [63](#), [64](#), [66](#), [67](#), [68](#), [69](#), [70](#), [71](#), [72](#), [73](#), [76](#), [126](#), [134](#), [138](#), [139](#), [145](#), [146](#), [147](#), [148](#), [172](#)
- **Protocolo de Gases do Efeito Estufa**  
Pág.: [31](#)

## R

- **Reciclagem**  
Pág.: [26](#)
- **Relatório do Diagnóstico Energético**  
Págs.: [42](#), [46](#)

- **Reutilização**  
Pág.: [26](#)

## T

- **TIR Verde**  
Págs.: [23](#), [61](#), [137](#), [138](#), [139](#), [140](#)
- **Transporte**  
Págs.: [32](#), [33](#), [76](#), [78](#), [97](#), [99](#), [123](#), [124](#), [126](#), [127](#), [130](#), [131](#), [153](#)
- **TSM**  
Págs.: [38](#)

## V

- **Variáveis relevantes**  
Págs.: [44](#), [45](#), [51](#), [52](#), [53](#), [54](#), [55](#), [57](#), [58](#)
- **Ventiladores**  
Págs.: [102](#), [107](#), [122](#)

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os membros do GT Energia do IBRAM pela intensa colaboração na elaboração deste guia e de forma especial à Aline Pereira Leite Nunes pela coordenação deste trabalho.






 /InstitutoBrasileirodeMineracao

 /ibrammineracao

 @ibram\_mineracao

 InstitutoBrasileirodeMineracao/videos

 <https://ibram.org.br>

 [ibram@ibram.org.br](mailto:ibram@ibram.org.br)



**IBRAM**  
MINERAÇÃO DO BRASIL