



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Engenharia de Controle e Automação



Vitor Augusto Otoni Figueiró

Business Intelligence aplicado ao acompanhamento da variabilidade de carga média na mineração

Ouro Preto
2026

Vitor Augusto Otoni Figueiró

Business Intelligence aplicado ao acompanhamento da variabilidade de carga média na mineração

Trabalho apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro(a) de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Me. João Carlos Vi-
lela de Castro.

Ouro Preto
2026



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CONTROLE E
AUTOMACAO



FOLHA DE APROVAÇÃO

Vitor Augusto Otoni Figueiró

Business Intelligence aplicado ao acompanhamento da variabilidade de carga média na mineração

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

Aprovada em 06 de março de 2026

Membros da banca

Me. João Carlos Vilela de Castro - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dr. Danny Augusto Vieira Tonidandel - Convidado (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro - Convidado (Universidade Federal de Ouro Preto)

João Carlos Vilela de Castro, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 10/03/2026



Documento assinado eletronicamente por **João Carlos Vilela de Castro, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/03/2026, às 18:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1070907** e o código CRC **09F65B08**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.003056/2026-51

SEI nº 1070907

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163
Telefone: 3135591533 - www.ufop.br

Agradecimentos

Agradeço a Deus por estar sempre presente em minha vida, concedendo-me força e perseverança para superar os desafios e alcançar meus objetivos.

Aos meus pais, Anselmo e Lucimar, e à minha irmã, Maria Thereza, expresso minha profunda gratidão por nunca medirem esforços para que eu pudesse chegar até aqui. Todo o apoio, incentivo e confiança depositados em mim foram fundamentais para a concretização desta conquista.

À Larissa, pelo carinho, amor e companheirismo ao longo dessa jornada. Sua presença tornou o caminho mais leve e significativo.

Aos amigos e amigas que estiveram ao meu lado durante a graduação, agradeço pelos momentos compartilhados, pelas experiências vividas e pelas memórias que levarei comigo.

À Universidade Federal de Ouro Preto, à Escola de Minas e a todos os professores que contribuíram para minha formação, pelo ensino de qualidade e pelo conhecimento transmitido ao longo desses anos.

Por fim, agradeço a todos que, de forma direta ou indireta, fizeram parte dessa trajetória e contribuíram para a realização deste trabalho.

Não podemos prever o futuro, mas podemos criá-lo.

— Peter Drucker.

Resumo

A carga média transportada por caminhões fora de estrada constitui um indicador fundamental de desempenho em operações de transporte na mineração a céu aberto, influenciando diretamente a produtividade e os custos operacionais. Uma elevada dispersão desse parâmetro pode resultar em subutilização da capacidade produtiva dos equipamentos, aumento de custos e menor previsibilidade do processo produtivo. Nesse contexto, o uso de dados provenientes de sistemas de despacho eletrônico aliado a ferramentas de *Business Intelligence* torna-se essencial para o monitoramento e a melhoria do desempenho da frota de transporte. Este trabalho tem como objetivo desenvolver e analisar um *dashboard* na plataforma *Qlik Sense* para o acompanhamento da carga média e de sua variabilidade em uma operação de mineração de grande porte. O estudo foi realizado a partir de doze meses de dados operacionais de ciclos de transporte, armazenados em banco de dados SQL, com análise focada em duas litologias de características semelhantes. O *dashboard* possibilitou análises temporais e comparativas do indicador, sendo utilizado como suporte a um projeto de melhoria contínua voltado à redução da variabilidade da carga média. Os resultados evidenciam que a aplicação de *Business Intelligence* no transporte de materiais contribui para a identificação de desvios operacionais, apoio à tomada de decisão e melhoria do desempenho da frota.

Palavras-chave: mineração; carga média; variabilidade; *Business Intelligence*; *dashboard*; *Qlik Sense*.

Abstract

Average payload transported by off-highway trucks is a fundamental performance indicator in open-pit mining haulage operations, directly influencing productivity and operational costs. High dispersion of this parameter may lead to underutilization of equipment productive capacity, increased costs, and reduced predictability of the production process. In this context, the use of data from fleet management systems combined with Business Intelligence tools becomes essential for monitoring and improving haulage fleet performance. This study aims to develop and analyze a dashboard using the Qlik Sense platform to monitor average payload and its variability in a large-scale mining operation. The study was conducted using twelve months of haulage cycle operational data stored in an SQL database, focusing on two lithologies with similar characteristics. The dashboard enabled temporal and comparative analyses of the indicator and was applied as support for a continuous improvement project aimed at reducing average payload variability. Results indicate that the application of Business Intelligence in material haulage contributes to identifying operational deviations, supporting decision-making, and improving fleet performance.

Keywords: mining; average payload; variability; Business Intelligence; dashboard; Qlik Sense.

Lista de figuras

Figura 1 – Caminhão fora de estrada utilizado em operações de mineração a céu aberto.	18
Figura 2 – Fluxograma do processo ETL.	23
Figura 3 – Ciclo de processamento de dados em sistemas de <i>Business Intelligence</i> , envolvendo as etapas de coleta, armazenamento, processamento, análise e visualização das informações.	23
Figura 4 – Exemplo de <i>dashboard</i> analítico com visualização integrada de indicadores de desempenho, gráficos e filtros interativos para monitoramento operacional.	24
Figura 5 – Posicionamento das principais plataformas de <i>Business Intelligence</i> no relatório Gartner Magic Quadrant for Analytics and Business Intelligence Platforms (2025).	28
Figura 6 – Ciclo de transporte.	33
Figura 7 – Arquivos QVD disponibilizados na plataforma <i>Qlik Sense</i>	34
Figura 8 – Procedimento ETL realizado via <i>Qlik Sense</i>	35
Figura 9 – Série de análise temporal do Indicador.	35
Figura 10 – Análises <i>boxplots</i> por letra, turno, equipamento de carga e de transporte.	36
Figura 11 – Filtros interativos.	37
Figura 12 – Menu interativo para navegação entre pastas.	37
Figura 13 – Visão geral da aplicação com todas as pastas.	37
Figura 14 – Configuração de atualização automática diária da aplicação.	38
Figura 15 – <i>Dashboard</i> publicado em espaço gerenciado (público) no <i>Qlik Sense</i>	38

Lista de abreviaturas e siglas

BI	Business Intelligence
DF	Disponibilidade Física
DSS	Decision Support Systems
ETL	Extract, Transform, Load
FMS	Fleet Management System
KPI	Key Performance Indicators
OLAP	Online Analytical Processing
SQL	Structured Query Language
UT	Utilização

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Contextualização	11
1.2	Justificativas e Relevância	13
1.3	Objetivos	14
1.4	Metodologia	14
1.5	Organização e estrutura	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	Transporte de Materiais na Mineração	17
2.1.1	Monitoramento e Sistemas de Despacho Eletrônico (FMS)	18
2.2	Carga Média como Indicador de Desempenho	19
2.3	Variabilidade em Processos Produtivos	20
2.4	Impactos da Variabilidade da Carga Média na Mineração	21
2.5	Qualidade e Confiabilidade dos Dados	21
2.6	Business Intelligence	22
2.6.1	Dashboards	23
2.6.2	<i>Business Intelligence</i> na Indústria	25
2.6.3	<i>Business Intelligence</i> na Mineração	26
2.6.4	<i>Qlik Sense</i> como Plataforma Analítica	26
2.6.5	Comparação entre o Modelo Relacional do Power BI e o Modelo Associativo do <i>Qlik Sense</i>	27
3	DESENVOLVIMENTO	31
3.1	Definição do Escopo de Análise	31
3.2	Caracterização da Operação de Transporte	32
3.3	Desenvolvimento do Dashboard	33
3.3.1	Arquitetura de Dados e Processo de ETL	33
3.3.2	Definição das Análises	34
3.3.3	Construção das Visualizações	35
3.3.4	Publicação e Atualização do Dashboard	37
4	RESULTADOS	39
4.1	Diagnóstico Inicial da Variabilidade da Carga Média	39
4.2	Identificação de Padrões e Fatores Operacionais	39
4.3	Acompanhamento do Indicador no Ciclo DMAIC	40
4.4	Contribuições do Dashboard para a Tomada de Decisão	40

5	CONCLUSÃO	41
	Referências	43

1 Introdução

1.1 Contextualização

A mineração exerce um papel fundamental no desenvolvimento econômico e industrial, sendo responsável pelo fornecimento de matérias-primas essenciais para diversos setores produtivos. Em operações de mineração a céu aberto, os sistemas de carga e transporte configuram-se como uma das etapas mais relevantes do processo produtivo, tanto do ponto de vista operacional quanto econômico, uma vez que representam uma parcela significativa dos custos totais da lavra (PORTO, 2022).

Nesse contexto, o desempenho da frota de transporte torna-se um fator crítico para o atendimento das metas de produção. Segundo Vasconcelos (2022), indicadores como tempo de ciclo e disponibilidade física (DF) dos equipamentos são amplamente utilizados para avaliar a eficiência operacional. Outros indicadores operacionais relevantes incluem a utilização dos equipamentos (UT) e a carga transportada por viagem.

A variabilidade da carga média constitui um aspecto de especial relevância na análise do desempenho operacional do sistema de transporte. Elevados níveis de dispersão em torno do valor de referência podem indicar falta de padronização no processo de carregamento, ineficiências operacionais ou falhas no controle do processo.

A dispersão da carga transportada por ciclo pode resultar tanto em subcarga (carregamentos abaixo do valor de referência), que implica subutilização da capacidade dos caminhões e aumento do custo por tonelada transportada, quanto em sobrecarga (carregamentos acima do limite operacional), condição associada ao aumento de esforços mecânicos, maior risco operacional e elevação dos custos de manutenção. Nesses casos, quando é identificado excesso de carga, o caminhão fora de estrada é obrigado a bascular¹ todo o material ainda na frente de lavra, a fim de evitar danos estruturais e riscos à segurança operacional.

Dessa forma, a redução da variabilidade da carga média contribui para maior estabilidade do processo de transporte e para a previsibilidade da produção, favorecendo a eficiência global da operação (PORTO, 2022).

Com o avanço da automação e da digitalização industrial, as operações de mineração passaram a dispor de grandes volumes de dados operacionais gerados por sistemas de despacho eletrônico. Esses sistemas são responsáveis pelo registro detalhado dos ciclos de transporte, incluindo informações de carregamento, deslocamento e descarga, as quais são

¹ Ato de elevar a carroceria/caçamba para descarregar no ponto de descarga.

armazenadas em bancos de dados relacionais, comumente em plataformas SQL (*Structured Query Language*; em português, linguagem de consulta estruturada) (ELMASRI; NAVATHE, 2016). A integração desses dados a relatórios analíticos e dashboards de gestão tem possibilitado o monitoramento contínuo do desempenho da frota e o apoio à tomada de decisão operacional, como mostrado em Oliveira, Fontes e Felsch Junior (2023).

Entretanto, a simples disponibilidade de dados não garante a geração de informações relevantes para a gestão. Torna-se necessário o uso de ferramentas capazes de integrar, tratar e visualizar esses dados de forma estruturada, a fim de apoiar o processo decisório. Como essa variabilidade só é visível quando monitorada ciclo a ciclo, as soluções de *Business Intelligence* (BI), ou Inteligência de Negócios em português, destacam-se por fornecer subsídio analítico para a tomada de decisão, uma vez que permitem coletar, organizar, consolidar e apresentar informações operacionais e estratégicas de forma clara e orientada ao usuário (SILVA, 2022). Por meio de revisões sistemáticas da literatura, evidenciam que sistemas de BI transformam dados brutos em conhecimento organizacional, possibilitando melhor compreensão de padrões, tendências e riscos, o que contribui diretamente para decisões mais assertivas em ambientes corporativos, como visto em Santana (2021). Entre essas soluções, os *dashboards*² assumem um papel central ao permitir a visualização intuitiva de indicadores-chave de desempenho, favorecendo a identificação de padrões, tendências e desvios nos processos produtivos.

A aplicação de *dashboards* analíticos no contexto da mineração possibilita o monitoramento contínuo de variáveis críticas, como a carga média e sua variabilidade, contribuindo para a melhoria da tomada de decisão operacional e para o aumento da eficiência do sistema de transporte. Ferramentas como o *Qlik Sense* permitem a construção de painéis interativos integrados a bancos de dados corporativos, proporcionando análises dinâmicas e aprofundadas do desempenho operacional.

Diante desse contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento e a análise de um *dashboard* utilizando a ferramenta *Qlik Sense*, com foco na análise da variabilidade da carga média em uma operação de mineração de grande porte. O estudo utiliza dados provenientes de um banco de dados SQL alimentado por um FMS (*Fleet Management System*; em português, Sistema de gerenciamento de Frotas), com o objetivo de apoiar a tomada de decisão e contribuir para a melhoria da produtividade e da estabilidade operacional da frota de transporte.

Embora existam múltiplos indicadores para avaliar a eficiência do transporte, este trabalho delimita a análise à carga média por ciclo e à sua variabilidade, por se tratar de um parâmetro diretamente influenciado pela condição operacional e associado à produtividade, custos e estabilidade do sistema.

² Vide seção 2.6.1.

1.2 Justificativas e Relevância

A crescente complexidade das operações de mineração de grande porte exige o uso de ferramentas que possibilitem maior controle, previsibilidade e eficiência dos processos produtivos. No contexto do transporte de materiais, a variabilidade da carga transportada em torno da carga média representa um fator crítico, uma vez que impacta diretamente a produtividade da frota de transporte.

Este trabalho se justifica pela necessidade de disponibilizar um instrumento analítico capaz de apoiar a condução de projetos de melhoria contínua baseados na metodologia *Lean Six Sigma*.

A utilização de um *dashboard* analítico possibilita o acompanhamento sistemático e estruturado dos indicadores ao longo do tempo, viabilizando a análise do comportamento da variabilidade antes, durante e após a implementação das ações de melhoria. Nesse contexto, o mesmo assume um papel estratégico de apoio contínuo à tomada de decisão ao longo das fases do ciclo DMAIC³, uma metodologia amplamente empregada em projetos de Lean Six Sigma.

Do ponto de vista operacional, a relevância deste trabalho está associada à aplicação prática de conceitos de BI e análise de variabilidade em um ambiente industrial real. O *dashboard* desenvolvido permite a gestão à vista do indicador de carga média, favorecendo o acompanhamento diário do desempenho do processo de transporte, a identificação rápida de desvios e o monitoramento da eficácia das ações implementadas no âmbito do projeto de melhoria.

Além disso, ao focar na análise da variabilidade da carga média em duas litologias⁴ semelhantes, o estudo contribui para uma compreensão mais aprofundada dos fatores operacionais que influenciam o processo de carregamento, auxiliando na padronização das práticas operacionais e na redução de perdas associadas à subutilização ou à sobrecarga dos equipamentos.

Sob a perspectiva acadêmica, o trabalho apresenta relevância ao integrar conceitos da Engenharia de Controle e Automação, como análise de processos, variabilidade e sistemas de informação, com metodologias de melhoria contínua amplamente empregadas na indústria, como o *Lean Six Sigma*. A aplicação de *dashboards* analíticos como ferramenta de apoio a projetos *Yellow Belt* no contexto da mineração ainda é pouco explorada na

³ O DMAIC é um acrônimo para as etapas Definir (Define), Medir (Measure), Analisar (Analyze), Melhorar (Improve) e Controlar (Control), (MONTGOMERY, 2019), que estruturam o desenvolvimento de projetos voltados à melhoria de processos com base em dados.

⁴ Litologia refere-se ao conjunto de características físicas e mineralógicas que definem um tipo de rocha ou material geológico, incluindo composição, textura, granulometria e estrutura. Na mineração, o termo é utilizado para classificar diferentes tipos de material presentes no depósito mineral, os quais podem influenciar propriedades como densidade, fragmentação e comportamento durante o desmonte e o carregamento.

literatura, conferindo caráter aplicado e contributivo ao estudo.

Dessa forma, este trabalho contribui tanto para o avanço do conhecimento acadêmico quanto para a melhoria das práticas de gestão operacional na mineração, evidenciando o potencial do uso integrado de dados, metodologias de melhoria contínua e ferramentas de *Business Intelligence* no suporte à tomada de decisão.

1.3 Objetivos

Geral

Desenvolver e analisar um *dashboard*, utilizando a ferramenta *Qlik Sense*, com foco na análise da variabilidade da carga média em uma operação de mineração de grande porte. O *dashboard* será construído a partir de dados provenientes de um banco de dados SQL alimentado por um sistema de despacho eletrônico, com o objetivo de suportar a tomada de decisão e contribuir para a melhoria da produtividade e da estabilidade operacional da frota de transporte.

Específicos

- Descrever os principais conceitos relacionados ao transporte de materiais na mineração;
- Analisar os impactos da variabilidade da carga média sobre a produtividade da frota de transporte;
- Estruturar os dados operacionais provenientes do sistema de despacho eletrônico;
- Avaliar o potencial do *dashboard* como ferramenta de apoio à tomada de decisão no contexto operacional da mineração.

1.4 Metodologia

O estudo utiliza de dados históricos provenientes de um sistema de despacho eletrônico utilizado na gestão da frota de transporte da mina de uma mineradora de grande porte. São analisados doze meses de dados operacionais, armazenados em um banco de dados relacional em linguagem SQL, contemplando informações detalhadas sobre os ciclos operacionais dos caminhões fora de estrada, incluindo a identificação dos equipamentos, os tempos de ciclo, os locais de carregamento e de descarga, a litologia transportada, o modelo do caminhão e a massa carregada por viagem.

Inicialmente, realiza-se a extração e o tratamento dos dados por meio de uma consulta estruturada (*query*) executada no banco de dados SQL, com o objetivo de selecionar e preparar apenas os registros relevantes para análises envolvendo dados operacionais de ciclos de transporte. A base de dados utilizada apresenta boa confiabilidade, uma vez que é alimentada automaticamente por um sistema de despacho eletrônico integrado aos equipamentos de campo, reduzindo a interferência manual no processo de registro das informações. Ainda assim, são realizadas etapas de preparação dos dados diretamente no ambiente SQL, incluindo a remoção de registros inconsistentes ou incompletos, a padronização de campos e a verificação de valores atípicos associados a falhas de medição ou erros de registro. Os resultados dessa consulta são disponibilizados aos usuários por meio da plataforma *Qlik Sense*, visto que o acesso direto ao banco de dados é restrito, o que garante maior controle, padronização e segurança no acesso às informações.

Nessa etapa, os dados são filtrados por tipo de material (litologia), de modo a permitir a comparação entre duas litologias de características semelhantes, conforme o escopo do projeto de melhoria contínua.

O *dashboard* construído na ferramenta *Qlik Sense*, utiliza de recursos de conexão direta ao banco de dados SQL e o modelo associativo de dados da plataforma. São desenvolvidas visualizações interativas para o acompanhamento da carga média e de sua variabilidade ao longo do tempo, segmentadas por período, litologia, equipamento e modelo de caminhão, permitindo análises comparativas e a identificação de padrões e desvios operacionais.

Como métricas principais para a análise da variabilidade da carga média, utilizam-se indicadores estatísticos descritivos, especificamente a média e o desvio padrão dos valores de carga transportada por ciclo. Esses indicadores possibilitam quantificar o nível de dispersão dos dados em torno do valor médio esperado e avaliar o comportamento do processo de carregamento ao longo do período analisado.

Por fim, o *dashboard* é utilizado como ferramenta de apoio a um projeto de melhoria contínua baseado na metodologia *Lean Six Sigma*, no nível *Yellow Belt*, cujo foco é a redução da variabilidade da carga média em duas litologias de características semelhantes. Nesse contexto, o painel foi empregado para o acompanhamento diário da evolução do indicador, subsidiando a análise do processo e a avaliação da efetividade das ações implementadas ao longo do ciclo DMAIC.

1.5 Organização e estrutura

Este trabalho está organizado em cinco capítulos, estruturados de modo a apresentar, de forma lógica e progressiva, o desenvolvimento do estudo.

O Capítulo 1 apresenta a introdução, na qual são expostos o contexto do trabalho, a problematização do tema, as justificativas e a relevância da pesquisa, bem como os objetivos geral e específicos. Nesse capítulo, também é apresentada a metodologia do estudo, descrevendo-se de forma sintética o tipo de pesquisa adotado, o ambiente de aplicação, as fontes de dados, os procedimentos de tratamento das informações provenientes do sistema de despacho eletrônico e as etapas de desenvolvimento do *dashboard*.

O Capítulo 2 é dedicado à revisão da literatura, abordando os principais conceitos teóricos que fundamentam o estudo, incluindo o transporte de materiais na mineração, a carga média e sua variabilidade, sistemas de despacho eletrônico, *Business Intelligence*, *dashboards* e qualidade dos dados para análise operacional.

O Capítulo 3 descreve o desenvolvimento do trabalho, contemplando a caracterização do ambiente de estudo, as fontes de dados, os procedimentos de tratamento e estruturação das informações provenientes do sistema de despacho eletrônico, bem como as etapas de construção do *dashboard* no *Qlik Sense*.

O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos, discutindo o comportamento da variabilidade da carga média, a interpretação dos indicadores gerados e o potencial do *dashboard* como ferramenta de apoio à tomada de decisão no contexto operacional da mineração.

Por fim, o Capítulo 5 apresenta as considerações finais, nas quais são sintetizadas as principais conclusões do estudo, suas contribuições práticas e acadêmicas, bem como sugestões para trabalhos futuros.

2 Revisão de Literatura

Este capítulo apresenta a revisão da literatura que fundamenta teoricamente o desenvolvimento deste trabalho, reunindo conceitos, definições e abordagens necessárias à compreensão do problema em um contexto industrial e analítico. A literatura revisada tem como objetivo fornecer uma compreensão integrada do sistema de transporte de materiais na mineração, bem como estabelecer as bases conceituais para o uso de ferramentas de *Business Intelligence* na análise de dados operacionais.

Inicialmente, são abordados os principais conceitos relacionados às operações de mineração, com ênfase no sistema de carga e transporte, nos indicadores de desempenho associados a esses processos e na importância do controle da carga média e de sua variabilidade.

Na sequência, o capítulo apresenta aspectos relacionados à variabilidade de processos produtivos e aos sistemas de despacho eletrônico utilizados na mineração, destacando o papel dessas tecnologias na geração de dados operacionais confiáveis e na viabilização de análises mais detalhadas do desempenho da frota de transporte.

Por fim, são apresentados os fundamentos de BI e a utilização de *dashboards* analíticos no ambiente industrial, enfatizando seu papel como ferramentas de integração, visualização e análise de dados operacionais. Nesse contexto, apresenta-se a importância da qualidade e da confiabilidade dos dados para o apoio efetivo à tomada de decisão, bem como a aplicação de ferramentas como o *Qlik Sense* na construção de soluções voltadas à melhoria do desempenho operacional.

2.1 Transporte de Materiais na Mineração

Borges (2013, p. 44) afirma que “na mineração existem vários métodos e sistemas de transporte de material, entretanto os mais comuns são o transporte por caminhões e o transporte por correias...”.

O transporte de materiais constitui uma das etapas mais relevantes da mineração a céu aberto, sendo responsável por uma parcela significativa dos custos operacionais da lavra. Em operações que utilizam o método convencional, o transporte por caminhões, conforme ilustrado na figura 1, representa a maior fração dos custos das atividades unitárias de mineração (LOPES, 2010).



Figura 1 – Caminhão fora de estrada utilizado em operações de mineração a céu aberto.

Fonte: Adaptado de (CATERPILLAR INC., 2025).

Ainda segundo [Lopes \(2010\)](#), as operações de lavra a céu aberto são tradicionalmente estruturadas em três etapas principais: desmonte¹, carregamento e transporte por caminhões até as unidades de britagem ou processamento, constituindo o ciclo operacional típico do método convencional.

A predominância do transporte rodoviário por caminhões está associada à sua elevada flexibilidade operacional, capacidade de adaptação às condições geométricas da cava e facilidade de realocação dos equipamentos conforme o avanço da lavra. Contudo, esse sistema apresenta elevada dependência energética e custos operacionais expressivos, especialmente associados ao consumo de combustível e manutenção da frota ([LOPES, 2010](#)).

2.1.1 Monitoramento e Sistemas de Despacho Eletrônico (FMS)

Segundo [White e Olson \(1987\)](#), o sistema de despacho em mineração constitui um sistema computacional de controle operacional em tempo real, cujo objetivo principal é maximizar a produção, minimizar o remanejo de material e garantir o atendimento às metas de alimentação da planta e de blendagem do minério. O sistema monitora continuamente

¹ O desmonte constitui a etapa inicial desse ciclo operacional, sendo responsável pela fragmentação do maciço rochoso “*in situ*” de modo a viabilizar sua escavação mecânica e posterior movimentação. Em operações de mineração a céu aberto, o método de desmonte mais empregado é o desmonte por explosivos, realizado por meio da perfuração de furos e detonação controlada de cargas explosivas, promovendo a fragmentação e o deslocamento do material. Em materiais de menor resistência, podem ainda ser empregados métodos mecânicos, como ripagem por tratores ou escavação direta, conforme as condições geomecânicas do maciço e os requisitos operacionais da lavra ([LOPES, 2010](#)).

o estado das frentes de lavra, das pilhas de estocagem e dos equipamentos, realizando a alocação dinâmica dos caminhões aos pontos de carregamento e descarga, de forma a atender às restrições operacionais e aos objetivos de produção estabelecidos.

Em operações de lavra a céu aberto, o transporte por caminhões representa uma das etapas mais críticas e custosas do processo produtivo, cerca de 50% a 60% do custo operacional, conforme citado por [Moradi-Afrapoli, Upadhyay e Askari-Nasab \(2021\)](#). Nesse contexto, o despacho eletrônico tem como principal função determinar, de forma dinâmica, qual caminhão deve ser alocado a qual frente de carregamento ou ponto de descarga, considerando critérios como distância de transporte, filas de equipamentos, capacidade dos caminhões e metas de produção. Esse processo de alocação dinâmica, conhecido como despacho de caminhões (*truck dispatching*), tem como objetivo maximizar a produtividade da frota e reduzir tempos ociosos e desequilíbrios operacionais, segundo [Moradi-Afrapoli, Upadhyay e Askari-Nasab \(2021\)](#).

Além da alocação dinâmica de equipamentos, os sistemas de despacho eletrônico atuam como importantes fontes de dados operacionais na mineração. O banco de dados gerado por esses sistemas armazena o histórico dos eventos ocorridos ao longo dos ciclos de transporte, possibilitando uma melhor compreensão do comportamento da operação e apoiando a identificação e a solução de problemas operacionais. Esses registros históricos permitem a definição de indicadores de desempenho e a realização de análises estatísticas dos dados da operação, contribuindo para a tomada de decisão e para o planejamento produtivo da mina ([TEIXEIRA et al., 2019](#)).

Outro aspecto relevante é que o uso de sistemas de despacho eletrônico contribui para a padronização operacional e para a redução de ineficiências associadas à tomada de decisão manual. Ao automatizar o processo de alocação e registrar sistematicamente os dados dos ciclos de transporte, esses sistemas aumentam a confiabilidade das informações operacionais e permitem maior transparência na gestão da produção da mina. Consequentemente, tornam-se uma fonte primária de dados para aplicações de análise e visualização, como ferramentas de *Business Intelligence* e *dashboards* operacionais.

Assim, os sistemas de despacho eletrônico desempenham um papel fundamental na integração entre a operação de campo e a análise de dados na mineração moderna, viabilizando tanto o controle operacional em tempo real quanto a geração de bases de dados estruturadas para suporte à tomada de decisão e à otimização do sistema de transporte.

2.2 Carga Média como Indicador de Desempenho

A carga média corresponde à massa média transportada por caminhão em um determinado intervalo de tempo operacional, sendo amplamente utilizada como indicador de desempenho em sistemas de transporte na mineração a céu aberto. Em operações de

lavra, a produtividade do sistema de transporte está diretamente associada à quantidade de material movimentado por ciclo e à duração do ciclo operacional, de modo que a adequada utilização da capacidade de carga dos caminhões influencia o volume total transportado por unidade de tempo (HARTMAN; MUTMANSKY, 2002; CAMPELO *et al.*, 2018).

A literatura técnica destaca que o carregamento adequado dos caminhões é fundamental para maximizar a eficiência da frota de transporte. Valores de carga abaixo da capacidade nominal resultam em subutilização do equipamento, elevando o custo por tonelada transportada devido à diluição insuficiente dos custos fixos associados à operação do caminhão (PORTO, 2022). Por outro lado, a adequada adesão aos limites operacionais estabelecidos pelos fabricantes contribui para um melhor desempenho energético e operacional do sistema (CATERPILLAR, 2022). Assim, a carga média não apenas representa um indicador quantitativo de desempenho, mas também um parâmetro estratégico para a gestão da operação de transporte.

2.3 Variabilidade em Processos Produtivos

A variabilidade é inerente a qualquer processo produtivo e pode ser definida como a dispersão dos resultados em torno de um valor médio esperado (MONTGOMERY, 2019). Em ambientes industriais complexos, como a mineração, essa variabilidade pode ser influenciada por fatores humanos, operacionais e ambientais.

No contexto do transporte de materiais na mineração, a variabilidade da carga média pode estar associada a múltiplos fatores operacionais, tais como diferenças entre operadores, condições de fragmentação do material, variações na densidade do minério e inconsistências no processo de carregamento (HARTMAN; MUTMANSKY, 2002). Essas fontes de variação impactam diretamente a estabilidade do sistema produtivo.

Do ponto de vista do controle estatístico de processos, elevados níveis de variabilidade reduzem a previsibilidade do desempenho operacional, dificultam o planejamento e aumentam a probabilidade de ocorrência de falhas e desperdícios (MONTGOMERY, 2019). Em operações de transporte na mineração, a dispersão excessiva dos parâmetros operacionais pode, ainda, resultar em aumento do consumo específico de combustível, desgaste prematuro de componentes e redução da eficiência global do sistema (OLIVEIRA; FONTES; FELSCH JUNIOR, 2023).

A literatura de controle estatístico de processos destaca que a redução da variabilidade é um dos principais objetivos da melhoria contínua, pois processos mais estáveis apresentam melhor desempenho e maior confiabilidade operacional (MONTGOMERY, 2019).

2.4 Impactos da Variabilidade da Carga Média na Mineração

A variabilidade excessiva da carga média pode comprometer diretamente a produtividade do sistema de transporte. Em operações de lavra a céu aberto, a produtividade da frota é tipicamente explicada pela combinação entre carga média e tempo de ciclo; portanto, oscilações relevantes nesses parâmetros reduzem a previsibilidade do atendimento às metas e dificultam o planejamento operacional (PORTO, 2022). Além disso, quando a carga média se mantém sistematicamente abaixo do patamar de referência adotado para o equipamento e para a operação, ocorre a subutilização de um ativo de elevado custo de capital, elevando o custo unitário por tonelada transportada (CATERPILLAR, 2022).

Do ponto de vista energético e de custos, a literatura mostra que não é suficiente controlar apenas o valor médio: a variância (ou o desvio padrão) da carga transportada também é determinante. Em estudo baseado em dados de sistemas de gestão de carga (*payload management*) em minas a céu aberto, Soofastaei *et al.* (2016) demonstram que existe uma relação não linear entre a variabilidade da carga e o consumo de combustível, além de impactos econômicos associados; os autores indicam um potencial de economia ao reduzir o desvio padrão da carga. Evidências complementares em mineração a céu aberto também indicam que as condições operacionais do transporte influenciam fortemente o consumo e os custos, sendo possível obter reduções relevantes de consumo ao atuar sobre variáveis do processo e do ambiente operacional (RODOVALHO, 2017; BODZIONY; PATYK, 2024).

Segundo Queiroz (2020), estudos de estimativa de custos operacionais em minas a céu aberto indicam que os custos associados às unidades de transporte representam uma das parcelas mais significativas do custo total da lavra, frequentemente superiores aos custos dos equipamentos de carga. O autor também observa que, em determinados métodos de estimativa analisados, o custo operacional dos equipamentos de transporte tende a aumentar à medida que a produtividade da mina se eleva, em função do maior volume de material movimentado e da intensificação do uso da frota. Dessa forma, reduzir a variabilidade da carga média contribui para maior estabilidade operacional e melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, com reflexos em produtividade, consumo e custos de manutenção.

2.5 Qualidade e Confiabilidade dos Dados

Os dados são armazenados em bancos de dados relacionais estruturados, geralmente baseados em SQL, possibilitando análises históricas e em tempo quase real (ELMASRI; NAVATHE, 2016). A automatização da coleta reduz interferências manuais e aumenta a confiabilidade das informações registradas.

2.6 *Business Intelligence*

O termo *Business Intelligence* (BI) refere-se ao conjunto de conceitos, metodologias e tecnologias voltadas à coleta, integração, análise e apresentação de dados com o objetivo de apoiar a tomada de decisão organizacional. De forma geral, sistemas de BI transformam grandes volumes de dados operacionais brutos em informações estruturadas e úteis, permitindo a compreensão do desempenho de processos e o suporte a decisões táticas e estratégicas (SHARDA; DELEN; TURBAN, 2013).

Historicamente, o conceito de BI evoluiu a partir dos sistemas de apoio à decisão (*Decision Support Systems – DSS*) desenvolvidos nas décadas de 1970 e 1980, os quais buscavam auxiliar gestores por meio de modelos analíticos e bases de dados estruturadas. Com o avanço das tecnologias de armazenamento e processamento de dados, o BI passou a incorporar arquiteturas de *data warehouse*², ferramentas de análise multidimensional (*OLAP – Online Analytical Processing*)³ e mecanismos de visualização interativa, consolidando-se como uma abordagem integrada de gestão baseada em dados (KIMBALL; ROSS, 2013).

A arquitetura típica de um sistema de BI envolve diferentes camadas funcionais. Inicialmente, os dados são extraídos de fontes operacionais — como sistemas transacionais, sensores industriais ou sistemas corporativos — por meio de processos de extração, transformação e carga (*ETL*), fluxo exemplificado na figura 2. Em seguida, esses dados são armazenados em repositórios estruturados, como *data warehouses* ou *data marts*⁴, que possibilitam consultas analíticas eficientes. Por fim, ferramentas de análise e visualização permitem a exploração das informações por meio de relatórios, indicadores e *dashboards* (ELMASRI; NAVATHE, 2016; KIMBALL; ROSS, 2013).

² Segundo Guerra (2005), o *data warehouse* é “um grande banco de dados derivado de outros bancos de dados operacionais cujo propósito principal é dar suporte ao processo decisório... e representa os dados sobre um horizonte de tempo distante — de 5 até 10 anos”.

³ Segundo Guerra (2005), “A funcionalidade de uma ferramenta OLAP é caracterizada pela análise multi-dimensional dinâmica dos dados, apoiando o usuário final nas suas atividades”.

⁴ Segundo Guerra (2005), “Podem ser considerados *data warehouses* departamentalizados; filosoficamente, são bastante semelhantes àqueles, porém com algumas características peculiares, como por exemplo menor volume de dados e padrão de uso bastante previsível - necessitam tecnologia mais simples e barata, face a esse menor volume e a esse padrão previsível, e tem poucos dados detalhados”.

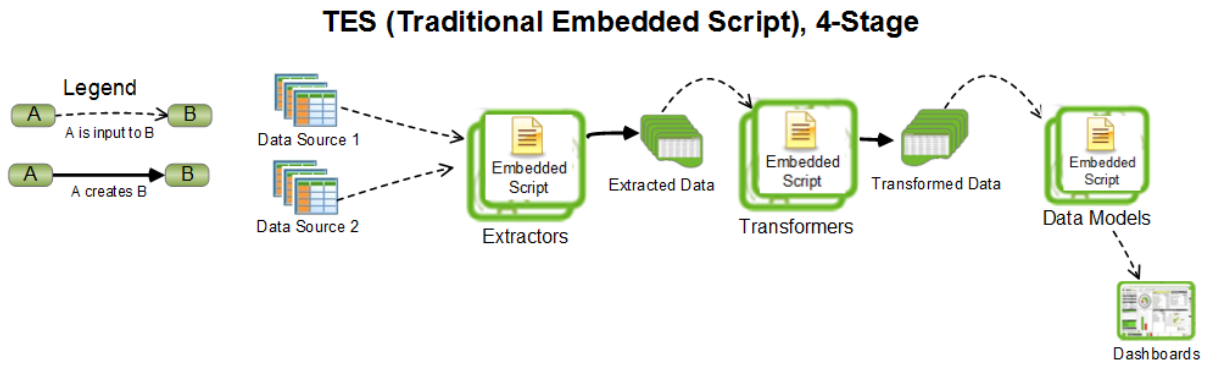


Figura 2 – Fluxograma do processo ETL.

Fonte: (QLIK PERFORMANCE, 2023).

O *Business Intelligence* compreende um conjunto de etapas estruturadas de tratamento de dados, que incluem a coleta de informações de diferentes fontes, seu armazenamento em repositórios estruturados, o processamento e análise e, por fim, a visualização dos resultados por meio de relatórios e *dashboards* (CRUZ, 2023). Esse fluxo de transformação de dados em informação é ilustrado na Figura 3.

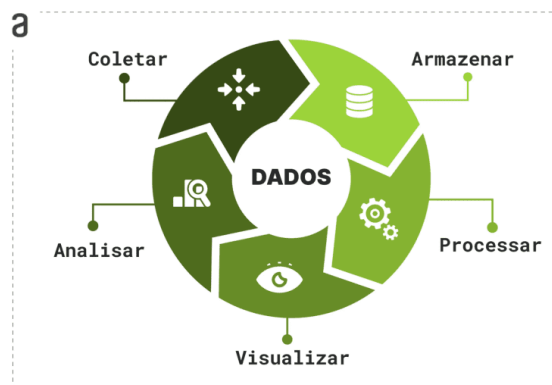


Figura 3 – Ciclo de processamento de dados em sistemas de *Business Intelligence*, envolvendo as etapas de coleta, armazenamento, processamento, análise e visualização das informações.

Fonte: (CRUZ, 2023).

2.6.1 Dashboards

Os *dashboards* constituem uma forma de apresentação visual de informações destinada ao monitoramento rápido de indicadores relevantes para a tomada de decisão. Segundo Few (2004): “Um *dashboard* pode ser definido como uma exibição visual das informações mais importantes necessárias para o alcance de objetivos, organizadas e consolidadas em

uma única tela, de modo que possam ser monitoradas de forma imediata”. Como exemplo de um *dashboard* temos a figura 4.

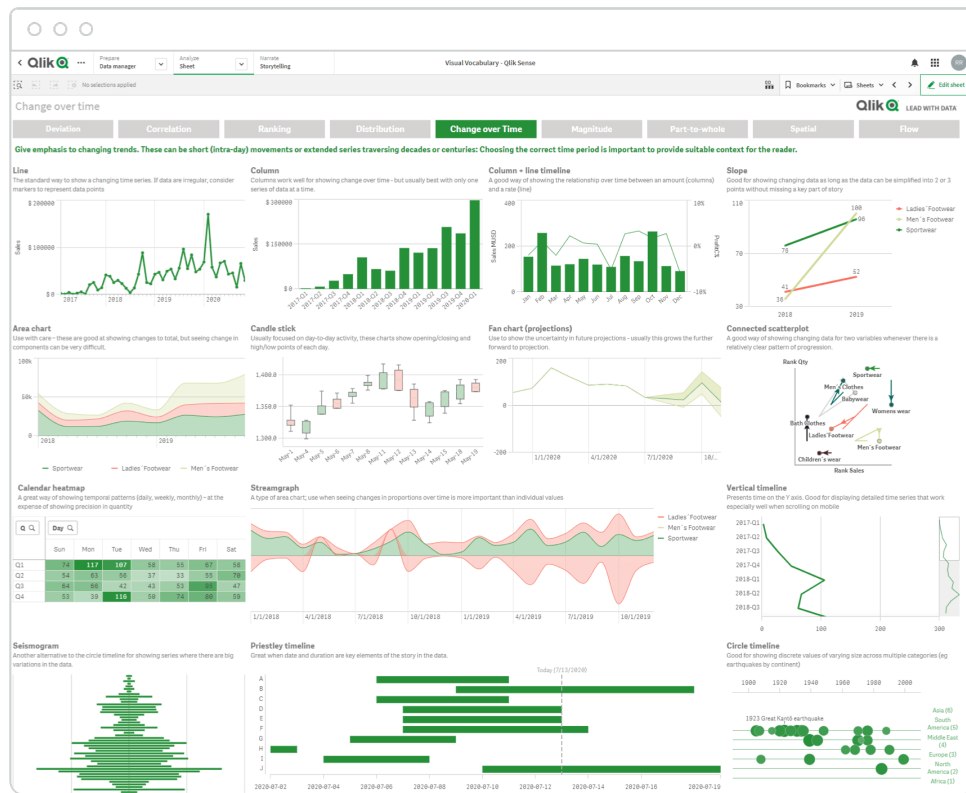


Figura 4 – Exemplo de *dashboard* analítico com visualização integrada de indicadores de desempenho, gráficos e filtros interativos para monitoramento operacional.

Fonte: (QLIK, 2025d).

Essa característica de visualização em tela única permite que o usuário compreenda rapidamente o estado atual de processos, desempenho ou operações, sem a necessidade de navegação entre múltiplas telas ou relatórios. O princípio fundamental é disponibilizar, de forma sintética e integrada, apenas as informações essenciais para o acompanhamento de metas e resultados, favorecendo a percepção de tendências, padrões e desvios de desempenho.

Os *dashboards* apresentam predominantemente dados quantitativos resumidos, frequentemente expressos por meio de indicadores de desempenho (*Key Performance Indicators* – KPIs), gráficos e elementos visuais que facilitam a interpretação rápida das informações. A ênfase na representação gráfica decorre da capacidade da percepção visual humana de processar grandes volumes de informação de maneira eficiente, possibilitando identificar situações que demandam atenção ou ação gerencial (FEW, 2006).

Além disso, um *dashboard* eficaz deve ser personalizado conforme os objetivos do usuário ou da área de negócio, apresentando informações específicas para o monitoramento de atividades estratégicas, analíticas ou operacionais. Dessa forma, os *dashboards* atuam como instrumentos de comunicação visual que transformam dados em informação útil, permitindo o acompanhamento contínuo do desempenho organizacional e apoiando o processo decisório.

2.6.2 *Business Intelligence* na Indústria

No contexto organizacional, o principal objetivo do BI é apoiar a gestão por meio da redução da incerteza na definição de ações e estratégias. Ao disponibilizar informações confiáveis, integradas e atualizadas sobre o desempenho dos processos, o BI permite que as decisões sejam baseadas em evidências quantitativas e não apenas em experiências ou julgamentos subjetivos. Dessa forma, organizações que adotam BI tendem a apresentar maior capacidade de monitoramento, controle e melhoria contínua de seus processos (SHARDA; DELEN; TURBAN, 2013).

Em ambientes industriais, caracterizados por um grande volume de dados operacionais e elevada complexidade de processos, o BI assume um papel ainda mais relevante. A digitalização e a automação industrial ampliaram significativamente a quantidade de dados disponíveis sobre equipamentos, produção e operação. Entretanto, a simples disponibilidade desses dados não garante sua utilização efetiva. Ferramentas de BI tornam-se essenciais para integrar e transformar essas informações em conhecimento operacional, permitindo a identificação de padrões, tendências e desvios de desempenho (BATINI; SCANNAPIECO, 2016).

Entre as formas de apresentação das informações em sistemas de BI, destacam-se os *dashboards*, que consistem em interfaces visuais interativas destinadas ao acompanhamento

de indicadores de desempenho, conforme visto na subseção [2.6.1](#).

2.6.3 *Business Intelligence* na Mineração

No contexto da mineração, o uso de BI tem se expandido com a adoção de sistemas de monitoramento operacional e despacho eletrônico, que geram grandes volumes de dados sobre ciclos de transporte, produção e desempenho dos equipamentos. A aplicação de BI sobre essas bases permite analisar a variabilidade de processos, a produtividade da frota e a eficiência operacional, contribuindo para decisões mais rápidas e fundamentadas. Assim, o BI constitui um elemento essencial na integração entre dados operacionais e gestão da produção em operações mineiras modernas.

Dessa forma, a utilização de ferramentas de *Business Intelligence* no presente trabalho justifica-se pela necessidade de transformar dados operacionais provenientes do sistema de despacho eletrônico em informações estruturadas sobre a variabilidade da carga média, permitindo sua análise visual e o suporte à tomada de decisão no sistema de transporte da mineração.

2.6.4 *Qlik Sense* como Plataforma Analítica

O *Qlik Sense* é uma plataforma de *Business Intelligence* e análise de dados desenvolvida para a exploração interativa de informações e construção de aplicações analíticas baseadas em dados. Diferentemente de ferramentas tradicionais baseadas em modelos hierárquicos ou consultas pré-definidas, o *Qlik Sense* utiliza um modelo associativo de dados, no qual todas as informações carregadas permanecem logicamente relacionadas, permitindo ao usuário navegar livremente entre dimensões e medidas e identificar relações, padrões e exceções de forma dinâmica ([QLIKTECH INTERNATIONAL AB, 2023](#)).

Nesse modelo, as seleções realizadas pelo usuário em qualquer elemento do *dashboard* afetam automaticamente todas as visualizações associadas, mantendo o contexto analítico global dos dados. Essa abordagem possibilita análises exploratórias mais flexíveis em comparação a um sistema baseado em consultas estáticas, nos quais a estrutura das relações precisa ser previamente definida. Como resultado, o *Qlik Sense* favorece a descoberta de correlações e comportamentos operacionais que podem não ser evidentes em análises tradicionais.

Do ponto de vista arquitetural, o *Qlik Sense* permite a integração de múltiplas fontes de dados, incluindo bancos de dados relacionais, arquivos estruturados e sistemas corporativos, por meio de conectores nativos e processos de carga de dados. Durante o carregamento, os dados podem ser transformados, tratados e modelados por meio de *scripts*, possibilitando a construção de modelos analíticos consistentes e adequados ao contexto de aplicação. Essa capacidade de integração e modelagem torna a ferramenta

particularmente adequada para ambientes industriais, nos quais os dados operacionais encontram-se distribuídos em diferentes sistemas e formatos.

Outro aspecto relevante da plataforma é sua capacidade de manipular grandes volumes de dados em memória, permitindo consultas rápidas e visualizações interativas, mesmo em bases extensas. Essa característica favorece a análise de indicadores operacionais ao longo do tempo e a investigação da variabilidade dos processos, aspectos fundamentais em aplicações de análise de desempenho e produtividade.

No âmbito da visualização de informações, o *Qlik Sense* possibilita a construção de *dashboards* interativos compostos por gráficos, tabelas, indicadores e filtros dinâmicos, permitindo o acompanhamento de métricas de desempenho e a exploração de dados sob diferentes perspectivas. A interatividade das visualizações facilita a identificação de tendências, desvios e padrões operacionais, contribuindo para a interpretação dos resultados e o suporte à tomada de decisão baseada em dados.

O *Qlik Sense* é amplamente reconhecido no mercado de *Business Intelligence*, sendo consistentemente posicionado no quadrante de líderes do relatório *Gartner Magic Quadrant for Analytics and Business Intelligence Platforms*, conforme podemos ver na figura 5. Esse relatório constitui uma das principais referências internacionais na avaliação de plataformas de BI, considerando critérios como capacidade de execução e completude de visão. O posicionamento recorrente da Qlik como líder evidencia a maturidade, a robustez analítica e a ampla adoção da plataforma em diferentes setores industriais (QLIKTECH INTERNATIONAL AB, 2025).

No contexto deste trabalho, o *Qlik Sense* é utilizado como plataforma analítica para a consolidação, visualização e análise dos dados operacionais provenientes do sistema de despacho eletrônico. A ferramenta permite integrar as informações extraídas do banco de dados SQL, estruturar indicadores relacionados à carga média e sua variabilidade e disponibilizar *dashboards* que possibilitam o acompanhamento do desempenho da frota de transporte ao longo do tempo. Dessa forma, o *Qlik Sense* atua como elo entre a base de dados operacionais e a análise gerencial do sistema de transporte na mineração.

2.6.5 Comparação entre o Modelo Relacional do Power BI e o Modelo Associativo do *Qlik Sense*

As ferramentas de *Business Intelligence* diferenciam-se significativamente quanto à forma como estruturam e relacionam os dados em seus modelos analíticos. Entre as plataformas amplamente utilizadas no mercado, destacam-se o Power BI e o *Qlik Sense*, que adotam abordagens conceitualmente distintas para a modelagem e exploração das relações entre dados.

No Power BI, o modelo de dados é fundamentado em uma abordagem relacional,

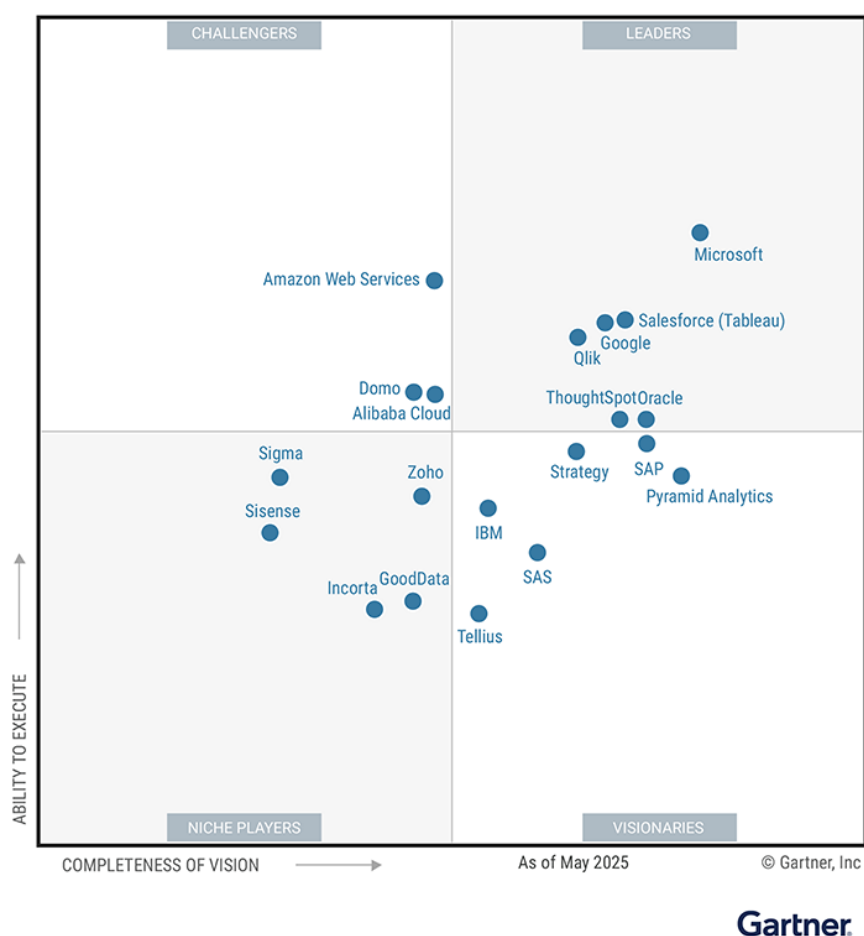


Figura 5 – Posicionamento das principais plataformas de *Business Intelligence* no relatório Gartner Magic Quadrant for Analytics and Business Intelligence Platforms (2025).

Fonte: (QLIKTECH INTERNATIONAL AB, 2025).

na qual as tabelas são conectadas por meio de relacionamentos explicitamente definidos pelo desenvolvedor. Esses relacionamentos podem apresentar diferentes cardinalidades:

- **Um-para-muitos (1:*)**: um registro de uma tabela pode estar associado a múltiplos registros em outra tabela, sendo o tipo mais comum em modelos analíticos;
- **Muitos-para-um (*:1)**: múltiplos registros de uma tabela podem estar associados a um único registro em outra tabela;
- **Um-para-um (1:1)**: cada registro de uma tabela está associado a apenas um registro correspondente na outra tabela;
- **Muitos-para-muitos (*:*)**: múltiplos registros de ambas as tabelas podem se relacionar entre si, geralmente utilizado quando não existe uma chave única que estabeleça uma relação direta entre as tabelas.

Além disso, o Power BI permite definir a direção de filtragem entre tabelas, controlando como os filtros se propagam no modelo analítico. Além de direções de filtragem configuráveis, permitindo controlar o fluxo de propagação de filtros entre as tabelas do modelo (MICROSOFT, 2024). Dessa forma, a consistência analítica depende da correta definição prévia das chaves e das relações estruturais entre as entidades de dados.

Nesse paradigma, o Power BI opera com um modelo semântico no qual as relações entre tabelas são estabelecidas e validadas durante a etapa de modelagem, sendo posteriormente utilizadas pelo mecanismo analítico para realizar agregações e cálculos. Essa abordagem favorece estruturas organizadas, frequentemente baseadas em esquemas estrela ou floco de neve, amplamente utilizados em *data warehouses* corporativos (MICROSOFT, 2024).

Em contraste, o *Qlik Sense* adota um modelo associativo de dados, no qual as relações entre tabelas são inferidas automaticamente com base em campos comuns, sem necessidade de definição manual explícita de relacionamentos. Nesse modelo, campos com o mesmo nome são automaticamente associados, formando uma estrutura lógica na qual todas as tabelas permanecem interconectadas dentro de um mesmo contexto analítico (QLIK, 2025a).

Uma característica central do modelo associativo do *Qlik* é a capacidade de refletir dinamicamente o estado das associações durante a interação do usuário. Quando uma seleção é realizada em qualquer campo, o seu mecanismo destaca os dados relacionados e indica visualmente os valores não associados, permitindo a exploração livre das relações existentes no conjunto de dados (QLIK, 2025a). Essa abordagem elimina a necessidade de caminhos analíticos predefinidos e favorece análises exploratórias e descobertas de padrões não previamente modelados.

Outra diferença relevante reside no controle da modelagem. Enquanto no Power BI o desenvolvedor define explicitamente cardinalidades e direções de filtro entre tabelas, no *Qlik Sense* a associação ocorre implicitamente por correspondência de nomes de campos, sendo o modelo resultante visualizado no *Data Model Viewer*, onde as ligações entre tabelas são apresentadas como uma rede associativa (QLIK, 2025b).

Do ponto de vista conceitual, o modelo relacional do Power BI privilegia a estruturação e governança do modelo semântico, garantindo previsibilidade analítica e aderência a arquiteturas clássicas de dados corporativos. Já o modelo associativo do *Qlik Sense* enfatiza a flexibilidade exploratória, permitindo ao usuário navegar livremente pelas relações existentes no conjunto de dados, sem restrições impostas por caminhos analíticos previamente definidos.

Assim, embora ambas as plataformas permitam integrar múltiplas fontes e realizar análises complexas, suas diferenças estruturais influenciam diretamente o processo de

modelagem, a forma de interação com os dados e o tipo de análise favorecida em cada ambiente de *Business Intelligence*.

3 Desenvolvimento

Este capítulo apresenta o desenvolvimento do estudo proposto, contemplando a definição do escopo de análise, a caracterização da operação de transporte avaliada, a descrição da base de dados utilizada e as etapas de construção do *dashboard* para análise da variabilidade da carga média.

Inicialmente, define-se o recorte analítico adotado na pesquisa, incluindo o período de dados considerado, as variáveis operacionais analisadas e a seleção das litologias objeto do estudo. Em seguida, apresenta-se a caracterização da operação de transporte da mina, com ênfase na configuração da frota e no ciclo operacional dos caminhões fora de estrada.

Posteriormente, descrevem-se a origem, a estrutura e o tratamento dos dados provenientes do sistema de despacho eletrônico, bem como os critérios de confiabilidade adotados. Por fim, detalha-se o desenvolvimento do *dashboard* na plataforma *Qlik Sense* e a metodologia de análise da variabilidade da carga média aplicada ao contexto do projeto de melhoria contínua.

3.1 Definição do Escopo de Análise

O estudo é conduzido a partir de dados históricos do sistema de despacho eletrônico da operação de transporte de uma mina a céu aberto de grande porte, considerando um período de doze meses de registros operacionais de ciclos de transporte.

A análise concentra-se em duas litologias de características semelhantes, selecionadas no contexto de um projeto de melhoria contínua voltado à redução da variabilidade da carga média na frota de transporte. A definição dessas litologias busca minimizar a influência de fatores externos ao processo de carregamento, como diferenças significativas de densidade, fragmentação ou comportamento mecânico do material, permitindo uma avaliação mais consistente do desempenho operacional.

Adicionalmente, a seleção considera a representatividade operacional dessas litologias na base de dados, priorizando materiais com elevada massa total transportada ao longo do período analisado e com número significativo de registros de ciclos. Por meio de análises estatísticas preliminares, verifica-se que as litologias selecionadas concentram a maior parcela dos registros de carga média fora da faixa de especificação operacional estabelecida, evidenciando maior potencial de impacto das ações de melhoria contínua.

O critério adotado assegura robustez às análises realizadas e orienta o estudo para os materiais de maior relevância para o desempenho global da frota de transporte.

3.2 Caracterização da Operação de Transporte

A operação de transporte analisada neste estudo corresponde ao sistema de carregamento e transporte de uma mina a céu aberto de grande porte, na qual os caminhões fora de estrada realizam o deslocamento de material entre as frentes de lavra e os pontos de descarga. Nesse sistema, o desempenho operacional depende diretamente da interação entre equipamentos de carga e transporte, bem como das características do material movimentado.

A frota de transporte é composta por caminhões de diferentes modelos, porém com capacidades nominais equivalentes, que operam em ciclos de transporte. Nesse ciclo, o caminhão viaja vazio até a praça de carregamento e, caso haja outros caminhões carregando ou em fila, aguarda em fila até a liberação do equipamento de carga. Em seguida, realiza a manobra de posicionamento e o carregamento do material. Após o carregamento o caminhão viaja carregado (cheio) até o ponto de descarga. De forma análoga ao carregamento, caso haja fila no local de basculamento, o veículo aguarda sua vez e faz a manobra de posicionamento. A etapa final do ciclo corresponde ao basculamento do material transportado, conforme ilustrado na Figura 6. A massa transportada por ciclo — denominada neste trabalho como carga média — constitui um parâmetro fundamental de desempenho, influenciando diretamente a produtividade e a eficiência operacional da frota.

A etapa de carregamento, destacada em azul na Figura 6, exerce influência direta sobre o valor da carga transportada, sendo determinante para a variabilidade observada no processo. Dessa forma, a caracterização do ciclo de transporte e dos fatores que influenciam o carregamento permite compreender o papel da carga média como indicador-chave de desempenho da frota. A variabilidade observada nesse parâmetro está diretamente associada às condições operacionais do processo de carregamento, justificando sua análise detalhada ao longo deste trabalho.

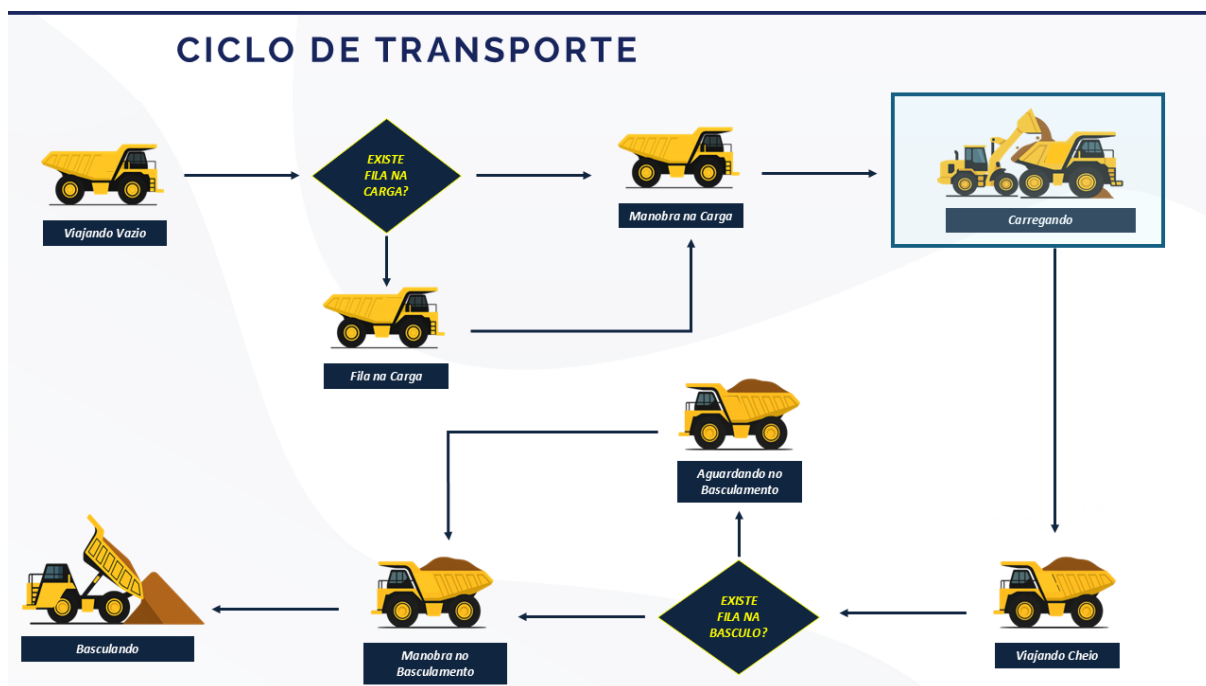


Figura 6 – Ciclo de transporte.

Fonte: Próprio autor.

3.3 Desenvolvimento do Dashboard

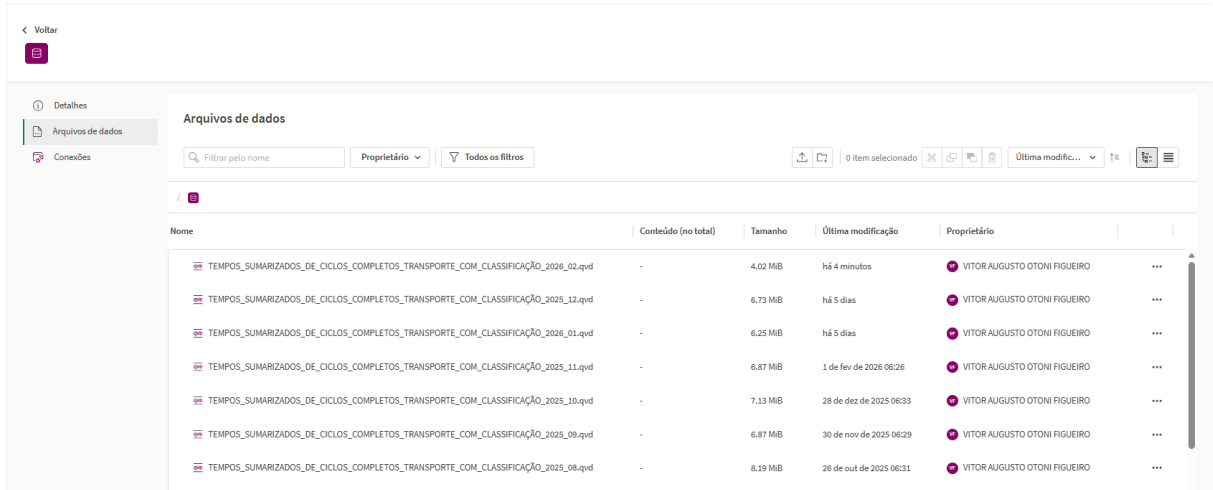
3.3.1 Arquitetura de Dados e Processo de ETL

Os dados utilizados no estudo encontram-se previamente tratados no ambiente do banco de dados relacional em SQL, por meio de consultas estruturadas (*queries*) e *procedures* desenvolvidas pela área corporativa de dados. Esse procedimento assegura a padronização, consistência e governança das informações disponibilizadas na plataforma analítica oficial da empresa.

O tratamento realizado no banco contempla a conversão de turnos operacionais em intervalos temporais padronizados, o enriquecimento dos registros de ciclos com atributos de calendário e equipe operacional, a sumarização dos dados por ciclo de transporte e a aplicação de regras de qualidade sobre variáveis críticas, como a massa transportada. Adicionalmente, são calculados indicadores operacionais derivados, como distâncias percorridas, distância média de transporte e velocidades de deslocamento, bem como aplicada a classificação das rotas de transporte segundo taxonomias de negócio da operação.

Dessa forma, toda a etapa de transformação e preparação dos dados é realizada diretamente no banco SQL, não sendo necessário novo tratamento durante o carregamento no *dashboard*.

Para a construção do *dashboard*, foram utilizados arquivos no formato QVD (*Qlik-View Data*), estrutura proprietária do *Qlik*, destinada ao armazenamento de tabelas de dados com elevada compactação e otimização para carregamento rápido em aplicações analíticas (QLIK, 2025c), conforme mostrado na Figura 7. Esses arquivos são gerados a partir de uma conexão direta entre a plataforma analítica e o banco de dados relacional em SQL, no qual se encontram armazenados os registros operacionais dos ciclos de transporte da mina.



Nome	Conteúdo (no total)	Tamanho	Última modificação	Proprietário
TEMPOS_SUMARIZADOS_DE_CICLOS_COMPLETOS_TRANSPORTE_COM_CLASSIFICACAO_2025_02.qvd	-	4.02 MB	há 4 minutos	VITOR AUGUSTO OTONI FIGUEIRO
TEMPOS_SUMARIZADOS_DE_CICLOS_COMPLETOS_TRANSPORTE_COM_CLASSIFICACAO_2025_12.qvd	-	6.73 MB	há 5 dias	VITOR AUGUSTO OTONI FIGUEIRO
TEMPOS_SUMARIZADOS_DE_CICLOS_COMPLETOS_TRANSPORTE_COM_CLASSIFICACAO_2025_01.qvd	-	6.25 MB	há 5 dias	VITOR AUGUSTO OTONI FIGUEIRO
TEMPOS_SUMARIZADOS_DE_CICLOS_COMPLETOS_TRANSPORTE_COM_CLASSIFICACAO_2025_11.qvd	-	6.87 MB	1 de fev de 2026 06:26	VITOR AUGUSTO OTONI FIGUEIRO
TEMPOS_SUMARIZADOS_DE_CICLOS_COMPLETOS_TRANSPORTE_COM_CLASSIFICACAO_2025_10.qvd	-	7.13 MB	28 de dez de 2025 06:33	VITOR AUGUSTO OTONI FIGUEIRO
TEMPOS_SUMARIZADOS_DE_CICLOS_COMPLETOS_TRANSPORTE_COM_CLASSIFICACAO_2025_09.qvd	-	6.87 MB	30 de nov de 2025 06:29	VITOR AUGUSTO OTONI FIGUEIRO
TEMPOS_SUMARIZADOS_DE_CICLOS_COMPLETOS_TRANSPORTE_COM_CLASSIFICACAO_2025_08.qvd	-	8.19 MB	26 de out de 2025 06:31	VITOR AUGUSTO OTONI FIGUEIRO

Figura 7 – Arquivos QVD disponibilizados na plataforma *Qlik Sense*.

Fonte: Próprio autor.

Com os dados já disponibilizados e totalmente tratados na origem, o processo de ETL no *Qlik Sense* é realizado conforme o fluxo apresentado na Figura 8, sendo composto pelas seguintes etapas:

1. **Extração:** Os dados são extraídos por uma aplicação de carga no *Qlik Sense*, por meio de conexão direta ao banco de dados SQL. Em seguida, as informações da base são gravadas de forma mensalizada em arquivos no formato QVD.
2. **Transformação:** não há etapa de transformação no *Qlik Sense*, pois todos os tratamentos e regras de negócio são aplicados previamente no banco de dados SQL pela área corporativa de dados.
3. **Carregamento:** os dados armazenados nos arquivos QVD são carregados diretamente na aplicação analítica final, onde é construído o *dashboard*.

3.3.2 Definição das Análises

Após o carregamento dos dados, procede-se à definição das principais análises a serem construídas no *dashboard*, considerando os objetivos do estudo e o foco na avaliação

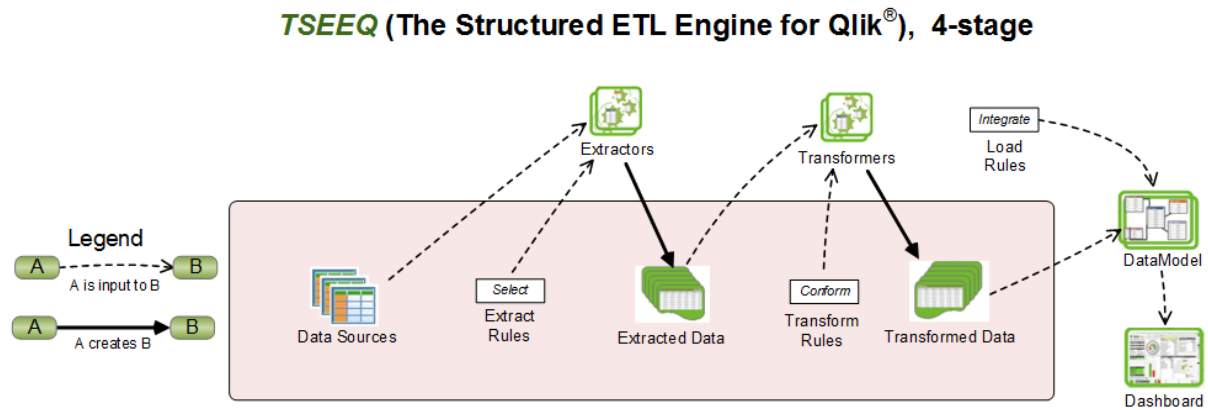


Figura 8 – Procedimento ETL realizado via *Qlik Sense*.

Fonte: (QLIK PERFORMANCE, 2023).

da variabilidade da carga média. Foram selecionadas visualizações estatísticas adequadas à análise de dispersão e comportamento temporal do indicador, incluindo séries temporais, diagramas de dispersão e *boxplots* comparativos.

Para a análise temporal da carga média, são estabelecidos limites de especificação superior (LSE) e inferior (LIE) com base em critérios estatísticos, adotando-se uma faixa de tolerância correspondente a $\pm 2\sigma$, em que σ representa o desvio padrão do processo. Esse intervalo corresponde à região na qual se espera que se concentre a maior parte dos dados operacionais. Adicionalmente, define-se uma linha de referência correspondente ao limite mínimo de desempenho acordado gerencialmente para o indicador de variabilidade.

3.3.3 Construção das Visualizações

A análise da série temporal, mostrada na figura 9, evidencia a ocorrência de pontos fora dos limites de especificação definidos, indicando elevada variabilidade da carga média no processo de carregamento. Essa visualização permite identificar períodos críticos e padrões de comportamento ao longo do tempo.

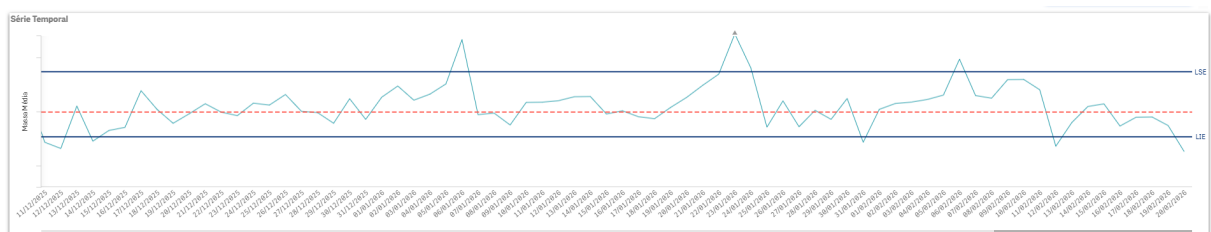


Figura 9 – Série de análise temporal do Indicador.

Fonte: Próprio autor.

Complementarmente, são construídos *boxplots* comparativos segmentados por letra

operacional,¹ turno de trabalho², tipo de equipamento de carga e modelo de caminhão de transporte, conforme apresentado na figura 10. Esses gráficos facilitam análises como identificação de grupos operacionais com maior dispersão do indicador, direcionando o aprofundamento das análises estatísticas do projeto de melhoria contínua. Também são desenvolvidas séries temporais comparativas entre letras e equipamentos, permitindo avaliar quais grupos apresentam maior desvio em relação ao comportamento global do processo.

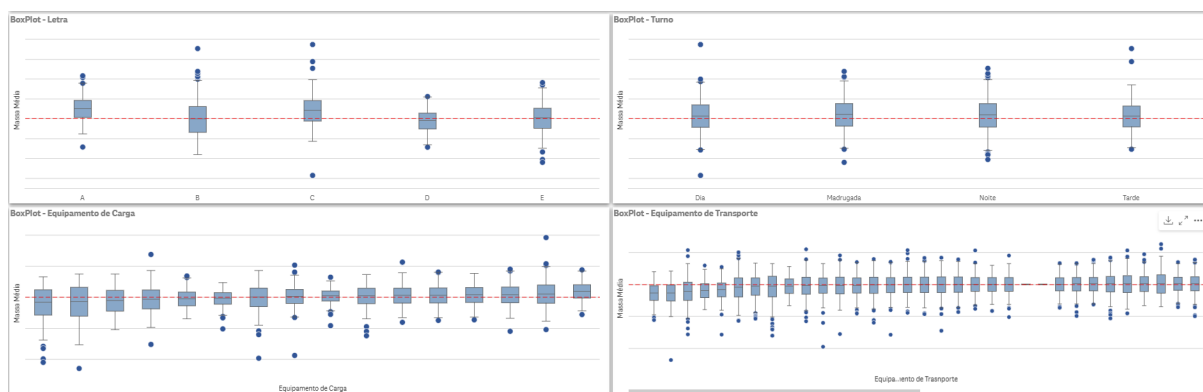


Figura 10 – Análises *boxplots* por letra, turno, equipamento de carga e de transporte.

Fonte: Próprio autor.

As análises de dispersão demonstram a existência de quantidade significativa de ciclos com valores de carga abaixo do esperado, evidenciando uma subutilização do ativo recorrente no processo. Nesse contexto, o *dashboard* cumpre dupla função: fornecer suporte analítico inicial para fundamentar análises estatísticas mais aprofundadas e atuar como ferramenta de gestão à vista do indicador, permitindo acompanhamento sistemático da variabilidade, inexistente anteriormente na operação.

O painel desenvolvido inclui filtros interativos de período, turno, letra operacional, tipo de frota de carga (escavadeiras ou carregadeiras) e identificação individual dos equipamentos de carga e transporte, mostrados na figura 11. Esses filtros permitem análises segmentadas do comportamento do indicador, possibilitando avaliar diferenças entre equipes operacionais, turnos de trabalho e desempenho individual de equipamentos, bem como identificar possíveis desvios associados a condições operacionais ou limitações técnicas.

Além da visualização diária da carga média, são desenvolvidas visões agregadas semanal e mensal, sendo possível acessá-las através do menu (Figura 12) ou mesmo indo para a visão geral da aplicação (Figura 13) e selecionar a pasta desejada. A escala diária é

¹ Trata-se de um sistema de rotatividade no qual diferentes grupos de colaboradores, identificados por letras, alternam-se entre os turnos ao longo do tempo, permitindo a organização das escalas e a rastreabilidade do desempenho por equipe.

² Refere-se aos horários de trabalho como, dia, noite etc.



Figura 11 – Filtros interativos.

Fonte: Próprio autor.

adotada como referência principal de acompanhamento, por apresentar maior sensibilidade à variabilidade do processo e maior capacidade de identificação de desvios operacionais.



Figura 12 – Menu interativo para navegação entre pastas.

Fonte: Próprio autor.

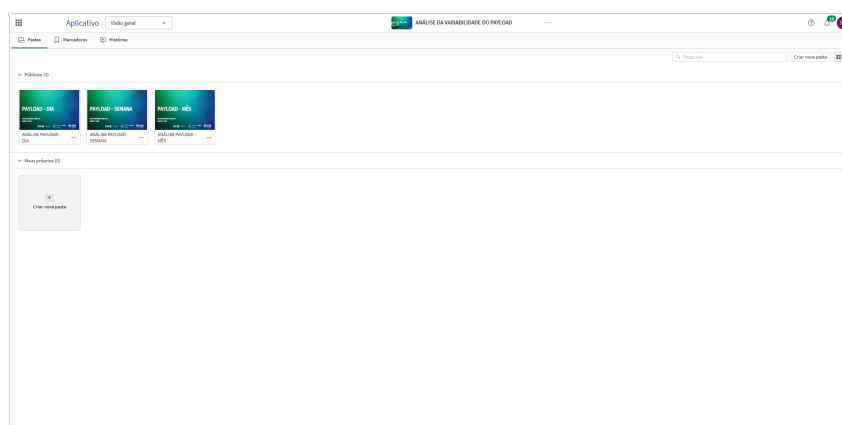


Figura 13 – Visão geral da aplicação com todas as pastas.

Fonte: Próprio autor.

3.3.4 Publicação e Atualização do Dashboard

A atualização dos dados do *dashboard* ocorre de forma automática em periodicidade diária, em horário programado na infraestrutura corporativa, conforme ilustrado na Figura 14. Esse mecanismo garante a disponibilidade contínua de informações atualizadas para análise operacional.

Após sua implementação, o *dashboard* é publicado no ambiente corporativo do *Qlik Sense*, mostrado na figura 15, permitindo acesso aos usuários autorizados da operação, que passam a utilizá-lo para acompanhamento e análise sistemática do indicador de variabilidade da carga média.

Agendamento de ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO PAYLOAD

Nome do serviço: Agendamento de ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO PAYLOAD

Descrição: Recarga da aplicação

Ação: Recarga completa

Baseado em: Hora - Diariamente

Veio por dia: Uma vez

Fuso horário: (GMT -03:00) América/São Paulo

Hora do dia: 02:00

Executar esta programação: Continuamente

Cancelar Salvar

Figura 14 – Configuração de atualização automática diária da aplicação.

Fonte: Próprio autor.

Detalhes

ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO PAYLOAD

VITOR FIGUEIRO

Qlik | Sense

ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO PAYLOAD

Aplicativo

VITOR AUGUSTO OTONI FIGUEIRO
Proprietário

Espaço gerenciado

Programada: 17 horas
Última recarga: há 7 horas

Origem: ANÁLISE DA VARIABILIDA...
Publicado há 25 dias

Atualizado
há 7 horas

Recarregado
há 7 horas

Publicado
há 25 dias

Criado
há 30 dias

Abrir aplicativo

Figura 15 – *Dashboard* publicado em espaço gerenciado (público) no *Qlik Sense*.

Fonte: Próprio autor.

4 Resultados

Neste capítulo são apresentados os principais resultados obtidos a partir da aplicação do *dashboard* desenvolvido para o acompanhamento do indicador de carga média e de sua variabilidade na operação de transporte de materiais. As análises realizadas permitem avaliar o comportamento do processo, identificar padrões de dispersão e apoiar o projeto de melhoria contínua voltado à redução da variabilidade do carregamento.

4.1 Diagnóstico Inicial da Variabilidade da Carga Média

A análise inicial da carga média por meio das séries temporais evidenciou elevada dispersão dos valores ao longo do período avaliado, com ocorrência recorrente de ciclos fora dos limites de especificação definidos para o processo. Observou-se presença significativa de pontos abaixo da carga de referência, caracterizando condição de subcarga frequente na operação de transporte.

A aplicação dos limites estatísticos baseados em $\pm 2\sigma$ permitiu quantificar o nível de variabilidade do processo e identificar períodos com maior instabilidade operacional. Esses resultados confirmam a existência de inconsistência no carregamento dos caminhões, indicando oportunidade de melhoria no controle do processo de carga.

4.2 Identificação de Padrões e Fatores Operacionais

As análises segmentadas por meio de *boxplots* e séries comparativas permitiram identificar diferenças relevantes na variabilidade da carga média entre letras operacionais e equipamentos de carga. Verificou-se que determinados grupos apresentavam maior dispersão e maior frequência de valores fora da especificação, indicando influência de fatores operacionais específicos no desempenho do carregamento.

A análise por equipamento também evidenciou variações no comportamento da carga média, sugerindo possíveis diferenças associadas à condição operacional ou ao modo de operação dos equipamentos de carga. Observou-se que tipos de equipamentos distintos apresentam comportamentos distintos, sendo identificada maior variabilidade da carga média nos equipamentos do tipo escavadeira em comparação às carregadeiras. Essas evidências permitiram direcionar o aprofundamento das análises do projeto de melhoria contínua para os fatores com maior impacto potencial sobre a variabilidade do processo.

4.3 Acompanhamento do Indicador no Ciclo DMAIC

O *dashboard* desenvolvido foi incorporado como ferramenta de suporte ao projeto de melhoria contínua baseado na metodologia *Lean Six Sigma*, estruturada segundo o ciclo DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*). Nesse contexto, o painel contribuiu principalmente nas fases de Medição, Análise e vai contribuir no Controle.

Na fase *Measure*, o *dashboard* permitiu quantificar a variabilidade da carga média, estabelecer limites de especificação e identificar a magnitude do desvio em relação ao desempenho esperado do processo.

Na fase *Analyze*, as visualizações comparativas possibilitaram identificar padrões de variabilidade associados a fatores operacionais, como equipes, turnos e equipamentos, orientando a investigação das causas raízes do problema.

Na fase *Control*, o painel passará a ser utilizado para acompanhamento sistemático do indicador, permitindo monitorar a evolução da variabilidade ao longo do tempo e verificar a efetividade das ações de melhoria implementadas.

4.4 Contribuições do Dashboard para a Tomada de Decisão

A implementação do *dashboard* proporcionou maior visibilidade operacional sobre o comportamento da carga média, possibilitando a identificação rápida de desvios e a priorização de ações corretivas. A ferramenta passou a atuar como mecanismo de gestão à vista do indicador, permitindo acompanhamento contínuo do desempenho do processo de carregamento.

Antes do desenvolvimento do painel, o monitoramento da variabilidade da carga média era limitado e não sistematizado. Com a disponibilização do *dashboard*, a operação passou a dispor de uma base analítica estruturada para avaliação do indicador, suporte às análises estatísticas do projeto e acompanhamento das melhorias ao longo do tempo.

Dessa forma, o *dashboard* demonstrou ser uma ferramenta eficaz de apoio à tomada de decisão no contexto do projeto *Lean Six Sigma*, contribuindo para a compreensão da variabilidade do processo e para o controle operacional da carga média na frota de transporte.

5 Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver e aplicar um *dashboard* analítico, utilizando a plataforma *Qlik Sense*, para o acompanhamento da carga média e de sua variabilidade em uma operação de transporte de uma mina a céu aberto de grande porte. A partir da integração de dados provenientes do sistema de despacho eletrônico, foi possível estruturar uma ferramenta de *Business Intelligence* capaz de transformar dados operacionais em informações relevantes para análise e tomada de decisão.

A análise dos dados evidenciou a existência de elevada variabilidade na carga média transportada por ciclo, com ocorrência recorrente de valores fora dos limites de especificação estabelecidos para o processo. Observou-se, em particular, a presença significativa de ciclos com subcarga, indicando inconsistência no processo de carregamento e potencial perda de eficiência operacional da frota de transporte.

As visualizações desenvolvidas no *dashboard*, incluindo séries temporais, diagramas de dispersão e *boxplots* comparativos, permitiram identificar padrões de variabilidade associados a fatores operacionais, como equipes, turnos de trabalho e equipamentos de carga. Essas análises possibilitaram direcionar o aprofundamento do estudo para os elementos com maior influência no comportamento do indicador.

O *dashboard* demonstrou ser uma ferramenta eficaz de apoio ao projeto de melhoria contínua baseado na metodologia *Lean Six Sigma*, atuando principalmente nas fases de Medição, Análise e Controle do ciclo DMAIC. A ferramenta permitiu quantificar a variabilidade do processo, identificar desvios operacionais e acompanhar a evolução do indicador ao longo do tempo, caracterizando-se como instrumento de gestão à vista e suporte à tomada de decisão operacional.

Do ponto de vista técnico, o trabalho evidencia o potencial da aplicação de ferramentas de *Business Intelligence* no contexto da mineração, especialmente na análise de indicadores operacionais de sistemas de carga e transporte. A integração entre base de dados confiável, modelagem analítica e visualização interativa mostrou-se capaz de ampliar a compreensão do comportamento do processo e apoiar iniciativas de otimização operacional.

Como limitações do estudo, destaca-se que a análise foi restrita a duas litologias de características semelhantes e a um período específico de dados operacionais. Embora essa delimitação tenha permitido maior controle das variáveis analisadas, estudos futuros podem expandir a abordagem para outros materiais, equipamentos e períodos operacionais,

permitindo avaliação mais abrangente do sistema de transporte.

Conclui-se, portanto, que o *dashboard* desenvolvido constitui uma ferramenta relevante para o acompanhamento da carga média e de sua variabilidade, contribuindo para a melhoria do controle operacional do processo de carregamento e para o suporte a decisões baseadas em dados no contexto da mineração.

A ferramenta *Qlik Sense* foi utilizada neste trabalho por ser a plataforma oficial de *Business Intelligence* adotada pela empresa de mineração de grande porte analisada. Para trabalhos futuros que sigam a mesma linha de desenvolvimento, bem como para iniciativas independentes, como a criação de empresas de análise de dados ou consultorias na área, existem diversas alternativas *open source* capazes de atender às mesmas demandas. Entre elas destacam-se o Apache Superset, o Metabase e o SpagoBI, além de outras ferramentas amplamente disponíveis no mercado.

Referências

BATINI, Carlo; SCANNAPIECO, Monica. *Data and Information Quality*. Springer, 2016. Acesso em: 16 fev. 2026. Citado 1 vez na página 25.

BODZIONY, Przemyslaw; PATYK, Michal. The Influence of the Mining Operation Environment on the Energy Consumption and Technical Availability of Truck Haulage Operations in Surface Mines. *Energies*, v. 17, n. 11, p. 2654, 2024. DOI: [10.3390/en17112654](https://doi.org/10.3390/en17112654). Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/11/2654>. Acesso em: 12 fev. 2026. Citado 1 vez na página 21.

BORGES, T. C. *Análise dos custos operacionais de produção no dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em mineração*. 2013. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/3411>. Acesso em: 21 fev. 2026. Citado 1 vez na página 17.

CAMPELO, A. C. M. M. *et al.* The impact of payload truck factor use in mine performance. *REM - International Engineering Journal*, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/remi/a/C9NP9XFzcZRxJhts47ZW77M/>. Acesso em: 13 fev. 2026. Citado 1 vez na página 20.

CATERPILLAR. *Caterpillar Performance Handbook (Edition 50)*. 2022. Disponível em: https://www.ringpower.com/media/oujnpuga/caterpillarperfhandbook_ed50.pdf. Acesso em: 12 fev. 2026. Citado 2 vezes nas páginas 20, 21.

CATERPILLAR INC. *793 Caminhões de Mineração*. 2025. Disponível em: https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/off-highway-trucks/mining-trucks/116620.html. Citado 0 vez na página 18.

CRUZ, Marcelo. *Business Intelligence: o que é BI, o que faz e como usar no dia a dia*. 2023. Disponível em: <https://www.alura.com.br/artigos/business-intelligence-bi>. Acesso em: 18 fev. 2026. Citado 1 vez na página 23.

ELMASRI, Ramez; NAVATHE, Shamkant B. *Fundamentals of Database Systems*. 7. ed.: Pearson, 2016. Acesso em: 12 fev. 2026. Citado 3 vezes nas páginas 12, 21, 22.

FEW, Stephen. Dashboard Confusion. *Intelligent Enterprise*, mar. 2004. Perceptual Edge. Disponível em: https://www.perceptualedge.com/articles/ie/dashboard_confusion.pdf. Citado 1 vez na página 23.

FEW, Stephen. *Information Dashboard Design: The Effective Visual Communication of Data*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2006. Acesso em: 12 fev. 2026. Citado 1 vez na página 25.

GUERRA, Gabriela Netto. *A importância do Data Warehouse no processo de tomada de decisão*. Brasília, 2005. 57 f. Disponível na Biblioteca Digital do STF. Disponível em: <https://bibliotecadigital.stf.jus.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/1089/760779.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Citado 3 vezes na página 22.

HARTMAN, H. L.; MUTMANSKY, J. M. *Introductory Mining Engineering*. 2. ed. Hoboken: Wiley, 2002. Disponível em: <https://www.wiley.com/en-us/Introductory+Mining+Engineering%2C+2nd+Edition-p-9780471348511>. Acesso em: 12 fev. 2026. Citado 2 vezes na página 20.

KIMBALL, Ralph; ROSS, Margy. *The Data Warehouse Toolkit*. 3. ed.: Wiley, 2013. Disponível em: <https://www.kimballgroup.com/data-warehouse-business-intelligence-resources/books/data-warehouse-dw-toolkit/>. Acesso em: 16 fev. 2026. Citado 2 vezes na página 22.

LOPES, J. R. *Viabilização técnica e econômica da lavra contínua de minério de ferro com o uso de sistema de britagem móvel “in pit” auto propelido*. 2010. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2665>. Acesso em: 21 fev. 2026. Citado 4 vezes nas páginas 17, 18.

MICROSOFT. *Entender relacionamentos no Power BI Desktop*. 2024. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/power-bi/transform-model/desktop-relationship-s-understand>. Acesso em: 20 fev. 2026. Citado 2 vezes na página 29.

MONTGOMERY, Douglas C. *Introduction to Statistical Quality Control*. 8. ed.: Wiley, 2019. Citado 4 vezes nas páginas 13, 20.

MORADI-AFRAPOLI, A.; UPADHYAY, S.; ASKARI-NASAB, H. Truck dispatching in surface mines – Application of fuzzy linear programming. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, v. 121, n. 9, p. 505–512, 2021. Disponível em: https://www.scielo.org.za/scielo.php?pid=S2225-62532021000900011&script=sci_arttext. Acesso em: 13 fev. 2026. Citado 2 vezes na página 19.

OLIVEIRA, Patrick Teixeira; FONTES, Marcélio Prado; FELSCH JUNIOR, Walter Schmidt. Aumento da produtividade da operação unitária de transporte através do uso de telemetria. *Tecnologia em Minas e Metalurgia*, v. 20, e2665, 2023. DOI: [10.4322/2176-1523.20222665](https://doi.org/10.4322/2176-1523.20222665). Disponível em: <https://tecnologiammm.com.br/article/doi/10.4322/2176-1523.20222665>. Acesso em: 21 jan. 2026. Citado 2 vezes nas páginas 12, 20.

PORTO, Pedro Henrique Evangelista. *Análise descritiva da carga da frota de transporte de uma mineração a céu aberto*. 2022. <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/51319>. Acesso em: 20 jan. 2026. Citado 4 vezes nas páginas 11, 20, 21.

QLIK. *Associando dados no Qlik Sense*. 2025. Disponível em: https://help.qlik.com/pt-BR/sense/November2025/Subsystems/Hub/Content/Sense_Hub/LoadData/associating-data.htm. Acesso em: 20 fev. 2026. Citado 2 vezes na página 29.

QLIK. *Gerenciando associações no editor de tabelas do Qlik Sense*. 2025. Disponível em: https://help.qlik.com/pt-BR/sense/November2025/Subsystems/Hub/Content/Sense_Hub/LoadData/managing-associations-table-editor.htm. Acesso em: 20 fev. 2026. Citado 1 vez na página 29.

QLIK. *QVD files*. 2025. Disponível em: https://help.qlik.com/pt-BR/qlikview/September2025/Subsystems/Client/Content/QV_QlikView/QVD_files.htm. Acesso em: 21 fev. 2026. Citado 1 vez na página 34.

QLIK. *What is Data Visualization?* 2025. Disponível em: <https://www.qlik.com/us/data-visualization>. Citado 0 vez na página 24.

QLIK PERFORMANCE. *TSEEQ: The Structured ETL Engine for Qlik*. 2023. Disponível em: <https://tseeq.net>. Citado 0 vez nas páginas 23, 35.

QLIKTECH INTERNATIONAL AB. *Qlik no Gartner Magic Quadrant para Analytics e Business Intelligence*. 2025. Disponível em: <https://www.qlik.com/pt-br/gartner-magic-quadrant-for-augmented-data-quality-solutions>. Acesso em: 18 fev. 2026. Citado 1 vez nas páginas 27, 28.

QLIKTECH INTERNATIONAL AB. *Qlik Sense Documentation*. 2023. Disponível em: <https://help.qlik.com/en-US/sense/>. Acesso em: 23 jan. 2026. Citado 1 vez na página 26.

QUEIROZ, Guilherme Garcia Oliveira. *Estimativa de custos de operações de mina a céu aberto*. Ouro Preto, 2020. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/4073>. Acesso em: 21 fev. 2026. Citado 1 vez na página 21.

RODOVALHO, Edmo da Cunha. *An innovative approach for controlling operational parameters in open pit mining to reduce costs and environmental impacts*. 2017. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-18012017-151352/publico/EdmodaCunhaRodvalhoCorr17.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2026. Citado 1 vez na página 21.

SANTANA, Deivson Lucas Fonseca de. *Business Intelligence como ferramenta para a tomada de decisão em ambientes corporativos: uma revisão bibliométrica*. *Revista de Administração de Empresas Eletrônica (RAEE)*, 2021. Acesso em: 23 de janeiro de 2025. Citado 1 vez na página 12.

SHARDA, Ramesh; DELEN, Dursun; TURBAN, Efraim. *Business Intelligence and Analytics: Systems for Decision Support*. Pearson, 2013. Acesso em: 16 fev. 2026. Citado 2 vezes nas páginas 22, 25.

SILVA, Lígia Rachel de Góis. *Uso de dashboards na análise de dados: um estudo de caso*. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstreams/0fd4ad06-7c13-4eb5-af1d-3b187b1cc935/download>. Acesso em: 22 jan. 2026. Citado 1 vez na página 12.

SOOFASTAEI, A. *et al.* A comprehensive investigation of loading variance influence on fuel consumption and gas emissions in mine haulage operation. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2016. DOI: [10.1016/j.ijmst.2016.09.006](https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2016.09.006). Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2016.09.006>. Acesso em: 12 fev. 2026. Citado 1 vez na página 21.

TEIXEIRA, Ricardo Luiz Perez *et al.* Avaliação da melhoria de desempenho da frota de transporte e carregamento de uma mineradora aliando ferramentas estatísticas ao software de despacho eletrônico / Improvement in the logistic performance of a mining machine with the use of statistical tools and electronic office software. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 12, p. 30928–30939, dez. 2019. DOI: [10.34117/bjdv5n12-199](https://doi.org/10.34117/bjdv5n12-199). Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/5416>. Citado 1 vez na página 19.

VASCONCELOS, Domingos Sávio Oliveira Timbó. *Acompanhamento e análise das operações de carregamento e transporte na lavra de calcário da empresa SM Minérios*. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Ceará, Crateús. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/67840>. Acesso em: 20 jan. 2026. Citado 1 vez na página 11.

WHITE, J. W.; OLSON, J. P. Computer-based dispatching in mines with concurrent operating objectives. *Mining Engineering*, 1987. Disponível em: <https://www.onemine.org/documents/computer-based-dispatching-in-mines-with-concurrent-operating-objectives>. Acesso em: 13 fev. 2026. Citado 1 vez na página 18.