



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



CAIO EMANUEL BONFIM VIEIRA

CARACTERIZAÇÃO E CONTROLE DE EVENTOS DE SOBRECARGA EM  
CAMINHÕES FORA DE ESTRADA

OURO PRETO

2020

CAIO EMANUEL BONFIM VIEIRA

CARACTERIZAÇÃO E CONTROLE DE EVENTOS DE SOBRECARGA EM  
CAMINHÕES FORA DE ESTRADA

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas.

Área de concentração: Operação de Mina.

Professor Orientador: Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz

OURO PRETO

2020



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas  
Departamento de Engenharia de Minas - DEMIN



## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos dezoito dias do mês de dezembro de 2020, às 14h00min, foi instalada a sessão pública remota para a defesa de Trabalho de Conclusão de Curso do discente Caio Emanuel Bonfim, matrícula 14.2.9543, intitulado CARACTERIZAÇÃO E CONTROLE DE EVENTOS DE SOBRECARGA EM CAMINHÕES FORA DE ESTRADA, perante comissão avaliadora constituída pelo orientador do trabalho e presidente da comissão, Prof. Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz, Prof. Dr. Ivo Eyer Cabral e M.Sc. Walter Schmidt Felsch Jr. A sessão foi realizada com a participação de todos os membros por meio de videoconferência, com base no regulamento do curso e nas normas que regem as sessões de defesa de TCC. Inicialmente, o presidente da comissão examinadora concedeu ao discente 20 (vinte) minutos para apresentação do seu trabalho. Terminada a exposição, o presidente concedeu, a cada membro, um tempo máximo de 20 (vinte) minutos para perguntas e respostas à discente sobre o conteúdo do trabalho, na seguinte ordem: primeiro Prof. Dr. Ivo Eyer Cabral, segundo M.Sc. Walter Schmidt Felsch Jr e em último, o Prof. Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz. Dando continuidade, ainda de acordo com as normas que regem a sessão, o presidente solicitou ao discente e aos espectadores que se retirassem da sessão de videoconferência para que a comissão avaliadora procedesse à análise e decisão. Após a reconexão do discente e demais espectadores, anunciou-se, publicamente, que a discente foi aprovada por unanimidade, com a nota: 09 (nove pontos), sob a condição de que a versão definitiva do trabalho incorpore todas as exigências da comissão, devendo o exemplar final ser entregue no prazo máximo de 15 (quinze) dias. Para constar, foi lavrada a presente ata que, após aprovada, foi assinada pelo presidente da comissão. O discente encaminhará uma declaração de concordância com todas as recomendações apresentadas pelos avaliadores. Ouro Preto, 18 de dezembro de 2020.

Presidente: Prof. Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz

Membro: Prof. Dr. Ivo Eyer Cabral

Membro: M.Sc. Walter Schmidt Felsch Jr

Discente: Caio Emanuel Bonfim

A Deus e a família.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, acima de tudo, a Deus por todas as bênçãos e proteções ao longo dos anos.

A todos meus familiares, em especial meus pais, Claudio e Lilian, pelo amor incondicional e apoio em todas as horas.

A UFOP pelo ensino público e de alta qualidade.

Aos mestres do DEMIN por todos os ensinamentos repassados.

Aos meus irmãos da república Artigo Quinto pelos anos de vivência e amizade.

A Anglo American pela oportunidade de estágio.

A toda a equipe da Gerência de Operação de Mina da Anglo American, em especial Aurelio Garcia, Sandro Passos, Davi Bastos, Luana Carvalho, Andre Oliveira, Rafael Mariano e Kahmmelly Pimenta. Obrigado pela oportunidade de aprender diariamente com vocês!

E a todos que, de alguma maneira, contribuíram na minha trajetória.

Muito obrigado!

*“O homem é o que ele costuma pensar durante  
todo o dia.”*

**Ralph Waldo Emerson**

## RESUMO

Os altos custos operacionais na fase mina forçam as mineradoras a buscarem alternativas que visem a redução das perdas e aumento da produtividade e eficiência, de forma que se mantenham sustentáveis em um mercado altamente competitivo. Busca-se, durante as operações de carregamento e transporte de material, usufruir da capacidade máxima dos caminhões fora-de-estrada através de uma elevada carga útil (*payload*), a fim de aumentar a sua produtividade (tonelada/hora). Todavia, os equipamentos e seus componentes possuem limites definidos pela fabricante, tendo em vista a preservação da integridade física e prolongamento da vida útil. Ao se atingir elevados valores de *payload*, muitas vezes ocorre um evento indesejado chamado sobrecarga, onde o sistema responsável pelo cálculo do *payload* determina que o equipamento está transportando uma carga superior ao limite. Via de regra, quando ocorre uma sobrecarga, o material que está sendo transportado deve ser descarregado (basculado) em um local seguro, gerando perdas de diversas ordens na operação. Este trabalho visa o melhor entendimento destes eventos, tendo como objetivo a redução das sobrecargas em uma mina de grande porte para minimizar as perdas associadas.

**Palavras-chave:** Operação de mina, carregamento e transporte, caminhão fora-de-estrada, carga útil, sobrecarga.

## **ABSTRACT**

The high operating costs in the mine phase force mining companies to seek alternatives that aim to reduce losses and increase productivity and efficiency, so that they remain sustainable in a highly competitive market. During loading and transport of material, the aim is to take advantage of the maximum capacity of off-road trucks through a high payload, in order to increase their productivity (ton / hour). However, the equipment and its components have limits defined by the manufacturer, with a view to preserving physical integrity and extending the useful life. When high payload values are reached, an unwanted event called overload often occurs, where the system responsible for calculating the payload determines that the equipment is carrying a load above the limit. As a rule, when an overload occurs, the material being transported must be unloaded (dumped) in a safe place, generating losses of several orders in the operation. This work aims at a better understanding of these events, with the objective of reducing overloads in a large mine to minimize the associated losses.

**Keywords:** Mine operation, loading and haulage, off road truck, payload, overload.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição dos custos da lavra convencional por caminhões.	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 2: Shovel PC5500 .....	17
Figura 3: Sequência de lavra realizada por uma <i>shovel</i> hidráulica.....	17
Figura 4: Backhoe PC5500.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b> 8
Figura 5: Fotografia da backhoe carregando um caminhão fora de estrada	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 6: Ciclo de operação das carregadeiras .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b> 1
Figura 7: WA1200 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b> 1
Figura 8: Ciclo de transporte por caminhões.....	23
Figura 9: Dimensões do caminhão 830E .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b> 5
Figura 10: Fotografia do caminhão 830E em operação .....	26
Figura 11: Município de Conceição do Mato Dentro .....	31
Figura 12: Vista aérea da mina .....	32
Figura 13: Dashboard criado no Microsoft Power BI para acompanhamento das sobrecargas. .....	39
Figura 14: Página inicial do dashboard completo.....	41
Figura 15: Sobrecargas indevidas entre os dias 1 e 15 de fevereiro .....	42
Figura 16: Sobrecargas indevidas entre os dias 16 e 29 de fevereiro .....	42
Figura 17: Histograma de carga média .....	43
Figura 18: Histograma de sobrecargas indevidas .....	44
Figura 19: Sobrecargas em janeiro de 2020 .....	46
Figura 20: Sobrecargas em fevereiro de 2020 .....	47
Figura 21: Performance por turma entre os dias 01 e 14 de fevereiro .....	48
Figura 22: Performance por turma entre os dias 15 e 29 de fevereiro .....	48
Figura 23: Sobrecargas no mês corrente .....	49
Figura 24: ScoreCard – PC5500 .....	51

## **LISTA DE TABELAS**

	Tabela 1: Quantidade de equipamentos por frota.....	33
	Tabela 2: Total de massa basculada em toneladas em cada destino SBC.....	36
	Tabela 3: Massa em toneladas e quantidade de ciclos de SBC por mês .....	37

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Produtividade.....	25
Equação 2: Tempo de deslocamento.....	26
Equação 3: Tempo de deslocamento vazio.....	26
Equação 4: Tempo de deslocamento cheio.....	26
Equação 5: Tempos fixos.....	26

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DDS	Diálogo Diário de Segurança
DF	Disponibilidade Física
DMT	Distância Média de Transporte
OM	Outras Movimentações
PLM	<i>Payload Meter</i>
ROM	<i>Run of Mine</i>
SBC	Destinos criados no sistema de despacho eletrônico para contabilizar viagens basculadas no chão devido à sobrecarga

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
1.1. Formulação do Problema .....	11
1.2. Justificativa.....	12
1.3. Objetivos .....	12
1.3.1. Objetivo Geral .....	12
1.3.2. Objetivos específicos .....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
2.1. Carregamento .....	14
2.1.1. Escavadeiras .....	15
2.1.2. Carregadeiras.....	20
2.2. Transporte.....	22
2.2.1. Caminhão Komatsu 830E .....	24
2.2.2. Payload e Produtividade.....	28
2.2.3. Sobrecargas .....	29
2.3. Sistema de Despacho Eletrônico .....	29
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
4. ESTUDO DE CASO .....	36
4.1. Levantamento dos dados .....	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	38
5.1. <i>Dashboard Sobrecargas</i> .....	38
5.2. Redução de Sobrecargas Indevidas.....	42
5.3. <i>Análise do Payload</i> .....	43
5.4. Comparação entre meses.....	44
5.5. ScoreCard.....	50
5.6. Possíveis medidas e estudos futuros .....	52
6. CONCLUSÕES .....	53

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54
-------------------------------------	----

## 1. INTRODUÇÃO

As atividades de mineração, de acordo com HARTMAN & MUTMANSKY (2002), são divididas em uma série de atividades que são realizadas através de ciclos, seguindo as etapas necessárias para transportar o material desmontado até o seu destino de maneira segura, econômica e ambientalmente sustentável. Tais etapas da mineração são chamadas de operações unitárias e são compostas pela perfuração, o desmonte, o carregamento e o transporte. As técnicas de perfuração e desmonte são aplicadas usualmente à extração em áreas competentes, onde os meios mecânicos (desmonte mecânico) não são aplicáveis e/ou economicamente viáveis (ALONSO et. Al, 2013). O processo de desmonte de rochas é responsável pela fragmentação do maciço rochoso em blocos menores, tornando possível o transporte do material de maneira segura e produtiva e atendendo a granulometria exigida no beneficiamento mineral. Segundo MORAIS (2004), deve-se buscar o ótimo neste processo para inferir em melhorias no sistema como um todo. A etapa de carregamento é responsável pela retirada do material desmontado no local de origem. De acordo com QUEVEDO (2009), a escavação e o carregamento são feitos por equipamentos de carga (pás carregadeiras ou escavadeiras) que estão alocados nas frentes de lavra carregando os equipamentos de transporte. O transporte conduz o material para o destino final, que pode ser o britador, uma usina de concentração, uma pilha de estocagem, o próprio mercado consumidor diretamente entre outros. O método de transporte por caminhões é o mais empregado nas minas a céu aberto, e representa a maior parte do custo operacional da lavra (TRUEMAN, 2001). Segundo COUTINHO (2017) o custo dessa etapa do processo é composto pelo alto consumo e elevado preço dos insumos e materiais que os caminhões utilizam. Destacam-se aqui os custos com diesel, pneus e componentes mecânicos. Além disso, deve-se somar os custos com mão de obra para operação e manutenção dos equipamentos. Sendo assim, é importante aumentar a eficiência operacional nessa etapa do processo para se alcançar custos operacionais competitivos ao longo do tempo.

### 1.1. Formulação do Problema

A produtividade dos caminhões é diretamente proporcional à sua carga média, sendo este parâmetro um dos principais no cálculo do indicador. É válido afirmar que quanto maior a carga média, maior tende a ser a produtividade. Entretanto, por questões de segurança e integridade estrutural dos equipamentos, existe um limite de massa que pode ser transportada

por ciclo. Ao se ultrapassar este limite, ocorre o que é chamado de “sobrecarga” e todo o material que está sendo transportado deve ser basculado imediatamente em um local seguro, podendo ser transportado ao seu destino final apenas com autorização do coordenador de turno.

Para contabilizar a quantidade mássica de sobrecargas basculadas nas praças de operação, criou-se, no sistema de despacho, destinos com o nome “SBC”. Todo o material basculado em destinos SBC necessita ser carregado novamente em algum momento, o que gera retrabalho e, conseqüentemente, gastos excessivos, além de comprometer estruturas chaves dos caminhões como suspensões, pneus, chassi entre outros. Entre os meses de janeiro e dezembro de 2019, um total de 7.400 viagens foram basculadas em SBC, totalizando 1.937.832 toneladas. A mina em questão, no ano de 2019, movimentou em média 180 mil toneladas por dia (entre minério, estéril e outras movimentações). Portanto, aproximadamente 11 dias de movimentação foram basculados no chão devido à sobrecarga neste ano, dispendendo muitas horas de trabalho para uma atividade que não retorna benefícios para a operação.

## **1.2. Justificativa**

Através do levantamento de dados provenientes de relatórios do sistema de despacho, observou-se que há uma grande perda devido à sobrecarga. Entre os impactos pode-se citar a quebra de ciclo, redução da velocidade média, condições inadequadas nas praças de carregamento devido às viagens basculadas nas praças, retrabalho, desgaste prematuro dos componentes do caminhão e riscos relacionados à segurança. Reduzir a ocorrência de tal evento indesejado incorre em ganhos de produção, eficiência e, acima de tudo, de segurança.

## **1.3. Objetivos**

### ***1.3.1. Objetivo Geral***

O objetivo geral do presente trabalho é compreender e quantificar as perdas associadas às sobrecargas nos caminhões fora de estrada da Mina do Sapo, propriedade da empresa Anglo American plc, através do acompanhamento por parte da operação de mina.

### ***1.3.2. Objetivos específicos***

Como objetivo específico, pretende-se:

- I. Levantar dados via sistema de despacho que comprovem os impactos da ocorrência de sobrecarga;
- II. Criação de um relatório em Microsoft Power BI para acompanhamento do desempenho da frota de transporte, contendo informações de sobrecarga;
- III. Criação de um relatório em Microsoft Power BI para acompanhamento do desempenho dos operadores de equipamentos, ranqueando-os segundo pontos específicos de operação;
- IV. Reduzir a ocorrência de sobrecargas na Mina do Sapo;

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada a fundamentação teórica que norteou este projeto.

### 2.1. Carregamento

Segundo COUTINHO (2017), entende-se por carregamento a retirada e carga do material já desmontado da frente de lavra (ponto de origem) conduzindo-o por algum sistema de transporte (por exemplo, caminhões ou correias) para o seu destino que pode ser o britador, uma usina de concentração, uma pilha de estocagem ou o próprio mercado consumidor diretamente, entre outros.

Predominantemente, nas operações em minas de minério de ferro a céu aberto, a lavra é feita através de caminhões, que são carregados por escavadeiras ou carregadeiras estrategicamente alocadas em diversas frentes de lavra. Cada frente normalmente apresenta diferentes teores de cada variável do run of mine (ROM) e, por questões de qualidade, a média ponderada dos teores deve estar entre os limites inferior e superior estipulados pela usina (PINTO, 2007). De acordo com os teores médios disponíveis nas frentes de lavra, os equipamentos são alocados de tal forma a atender os requisitos da planta de beneficiamento (ABREU, 2017). Por exemplo, se a alimentação de ROM está sendo feita a partir de duas frentes de lavra de modo que a frente F1 possua um teor de 40% de ferro e contribui com 60% da massa, e a frente F2 possua um teor de 30% de ferro e contribui com 40% da massa, o teor de minério do ROM será de 36%, conforme o cálculo abaixo:

$$\text{Teor}_{\text{R.O.M}} = (0,40 * 0,60 + 0,30 * 0,40) / (0,40 + 0,60) = 0,36 = 36\%$$

O transporte do material só pode ser feito após o carregamento, sendo esta etapa de grande importância no ciclo de produção. A operação de carregamento representa uma parte substancial dos custos da operação de mineração. Em minas que operam pelo método de lavra convencional, as operações unitárias se dividem em perfuração, desmonte, carregamento e transporte. Os custos, em linhas gerais, de perfuração e desmonte representam 32%, o carregamento 16% e o transporte 52% (TRUEMAN, 2001), conforme apresentado na figura 1 abaixo.

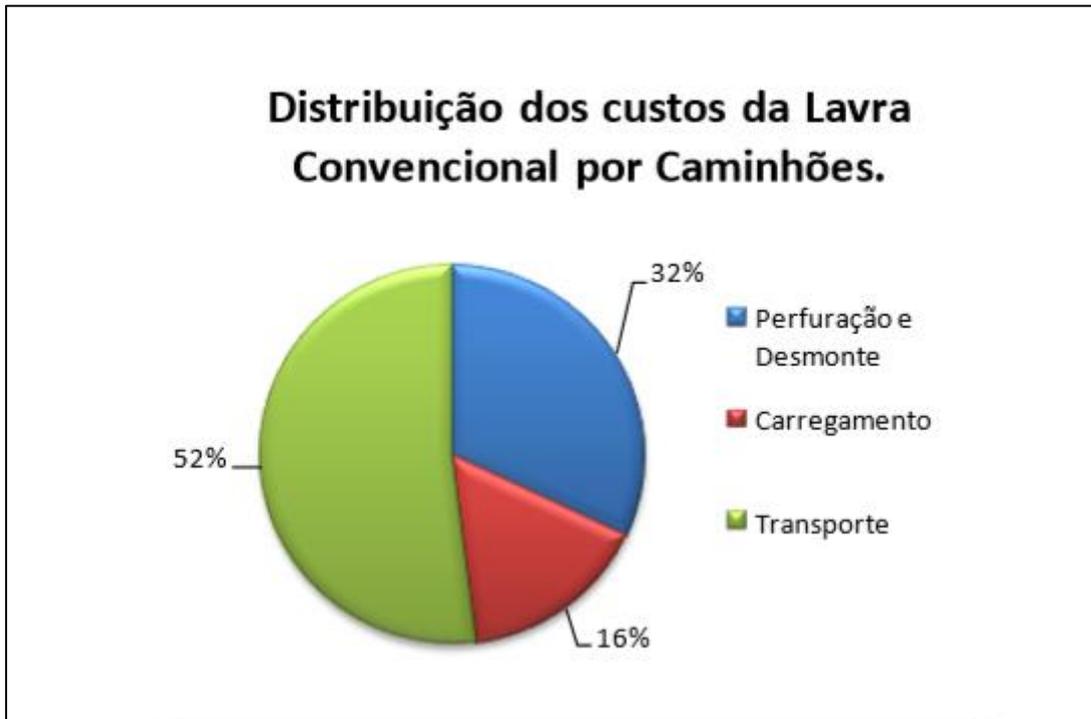


Figura 1: Distribuição dos custos da lavra convencional por caminhões (TRUEMAN, 2001)

Alguns fatores influenciam na performance dos equipamentos de escavação/carregamento. Em seu estudo, ABREU (2017) cita: potência do motor, volume e formato da concha, tipo de rocha a ser escavada, tipo de unha, posicionamento dos caminhões, altura das bancadas, habilidade dos operadores, granulometria e umidade dos materiais, condições de drenagem das praças de manobra. Condições desfavoráveis reduzem a produtividade e eficiência do carregamento, e, conseqüentemente, impactam na produção. O ciclo de carregamento pode ser dividido em três principais etapas:

- 1- Ocioso: equipamento de carga aguardando a chegada de caminhão na praça;
- 2- Manobra: equipamento de carga aguardando a manobra e posicionamento do caminhão para iniciar o carregamento;
- 3- Carregando: equipamento de carga efetuando o carregamento efetivo do caminhão;

### **2.1.1. Escavadeiras**

Em minas a céu aberto de média a larga escala de produção, o principal equipamento de carregamento é a escavadeira (HUSTRULID, 2013). São equipamentos robustos, capazes de realizar escavação e carregamento dependendo da geologia do minério lavrado (LOPES, 2010).

Usualmente são montadas sobre esteiras, o que a caracteriza como um equipamento de baixa mobilidade, e que devem ser locomovidas o mínimo possível para evitar o desgaste de componentes mecânicos (ABREU, 2017). De acordo com RICARDO e CATALANI (2007), o deslocamento não faz parte do ciclo de trabalho da escavadeira pois esta trabalha estacionada, realizando o corte e enchimento da sua caçamba sem se deslocar, diferentemente das carregadeiras. Somado a isso, tem-se o fato da velocidade de tais equipamentos ser muito baixa, atingindo aproximadamente 1,5km/h (COUTINHO, 2017), o que reforça a necessidade de se locomover o mínimo possível pois seus deslocamentos são lentos e demandam tempo, sendo recomendado apenas em casos de manutenções, deslocamentos para atendimento a área de cerco de desmonte de rocha e mudanças de frente conforme planejamento de lavra.

Na mina objeto de estudo existem dois dos principais tipos de escavadeira hidráulica: *shovel* e *backhoe*. As escavadeiras tipo *shovel* tem como principal característica a operação em sentido frontal, realizando o enchimento da caçamba de baixo para cima (RICARDO e CATALANI, 2007) e liberando o material sobre os caminhões através de um fundo móvel. É adequada para trabalhos em taludes acima do nível em que a máquina se encontra, pois seu alcance máximo para o corte é elevado, o que elimina o risco de formação de ângulos negativos (TEIXEIRA, 2016). As figuras 2 e 3 ilustram, respectivamente, uma escavadeira deste modelo conforme o manual da Komatsu, e a sequência de lavra recomendada.

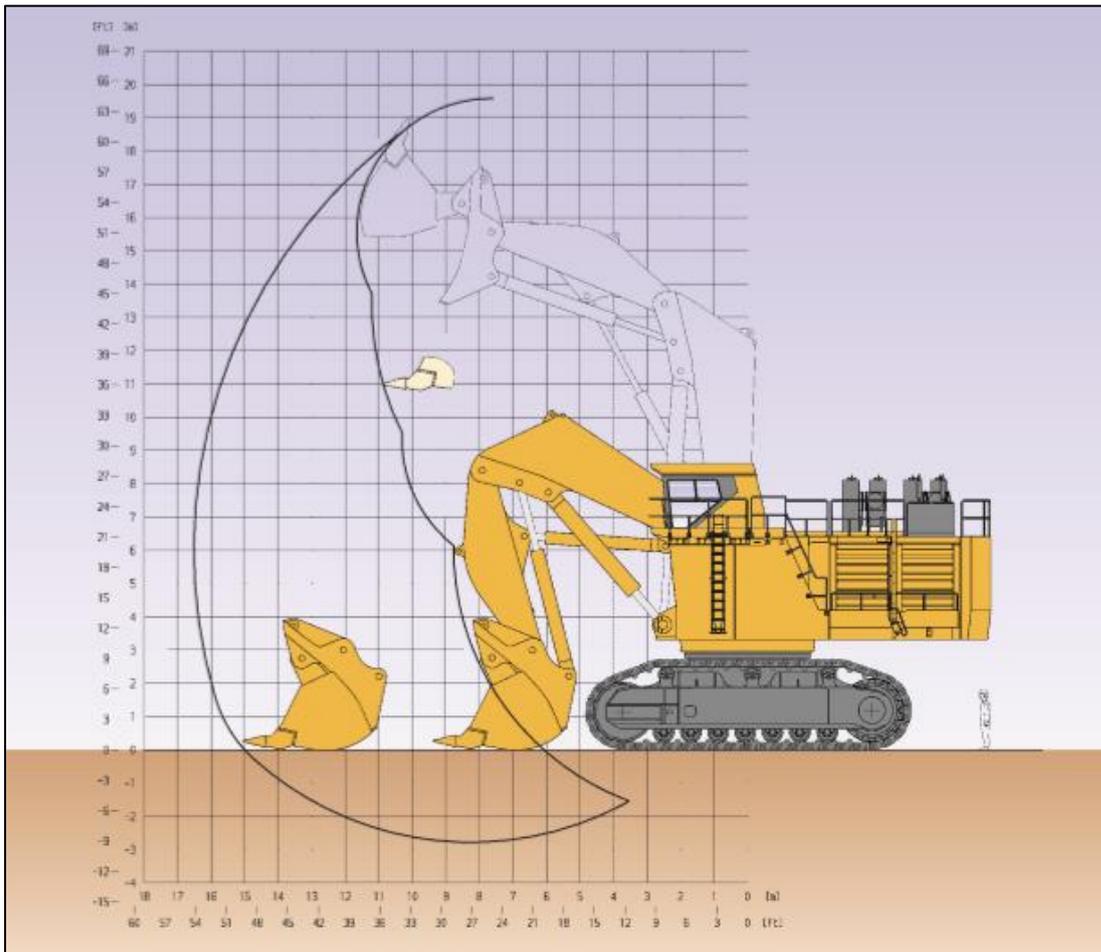


Figura 2: *Shovel* PC5500 (FONTE: MANUAL KOMATSU PC5500-6)

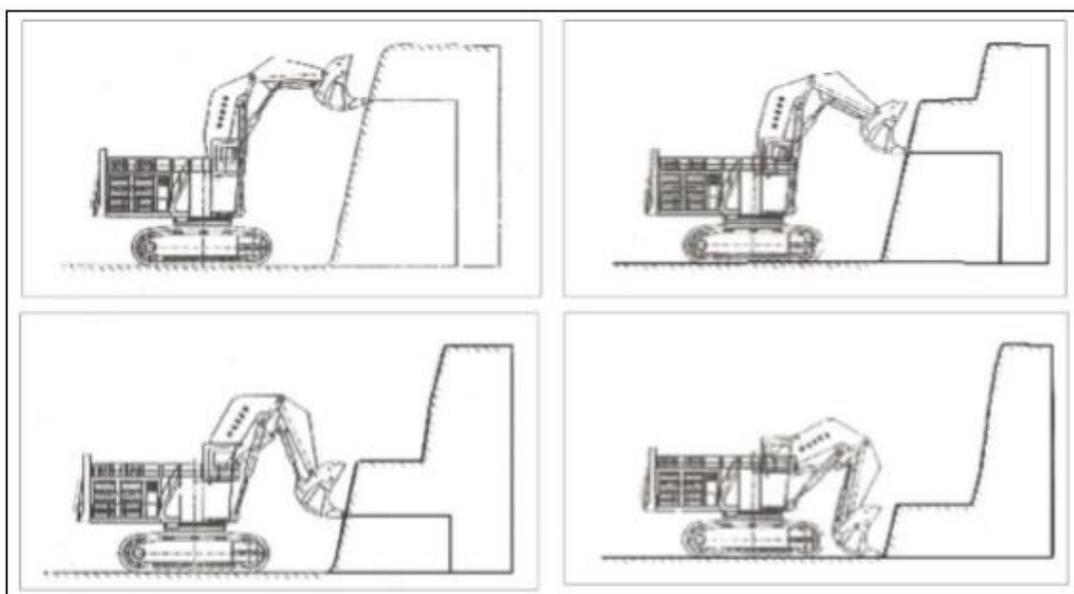


Figura 3: Sequência de lavra realizada por uma *shovel* hidráulica (FONTE: KOMATSU PC5500 MANUAL, 2010)

As escavadeiras tipo *backhoe* (ou retroescavadeiras) possuem caçamba voltada para baixo, dessa forma tendem a puxar o material para a sua direção. Tal característica permite a escavação em níveis abaixo do que a máquina se encontra, sendo necessário se operar sobre uma plataforma acima do nível do carregamento (LOPES, 2010). Dentre as vantagens da retroescavadeira, destaca-se a realização de ciclos de carregamentos mais rápidos e maior precisão no corte. As figuras 4 e 5 ilustram, respectivamente, uma escavadeira deste modelo conforme o manual da Komatsu, e a *backhoe* operando em uma plataforma na Mina do Sapo.

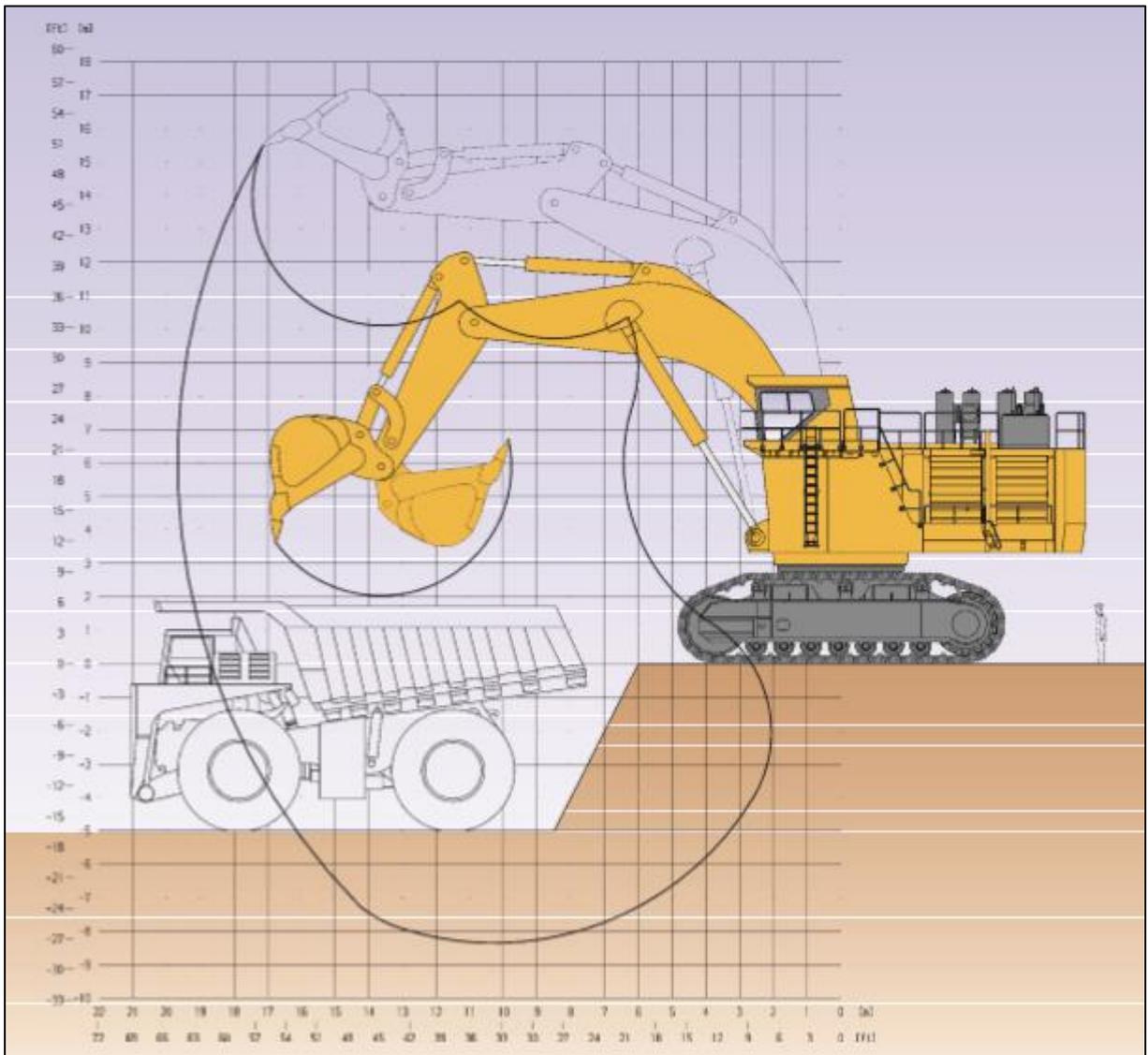


Figura 4: *Backhoe* PC5500 (FONTE: MANUAL KOMATSU PC5500-6)



Figura 5: Fotografia da *backhoe* carregando um caminhão fora de estrada.

### **2.1.2. Carregadeiras**

As carregadeiras, também denominadas pás-carregadeiras, são equipamentos constituídos pelos tratores de rodas ou esteiras, equipados com uma caçamba frontal acionada através de um sistema de braços articulados responsáveis pela elevação do material a ser carregado (RACIA, 2016). Comumente são montadas sobre pneus, o que garante versatilidade e mobilidade ao equipamento, uma das principais diferenças com relação às escavadeiras. Segundo COUTINHO (2017), uma carregadeira é capaz de se deslocar com uma velocidade de até 45 km/h, enquanto as escavadeiras montadas sobre esteiras se deslocam com aproximadamente 1,5 km/h. Conforme BOHNET (2011), são equipamentos ideais para situações que requerem mudanças de frente de lavra constantemente.

De acordo com TEIXEIRA (2016), é comum encontrar pás mecânicas em conjunto com escavadeiras sobre esteiras em minerações de grande porte. A utilização das pás-carregadeiras é relevante em casos de quebra das escavadeiras em frentes de lavras prioritárias e ajuste da qualidade do ROM, por meio da oferta através dos estoques de minério, prática muito comum em períodos chuvosos quando os acessos da mina são danificados pela água.

Com relação a operação de carregamento, o deslocamento faz parte do ciclo de trabalho das carregadeiras, diferentemente das escavadeiras. Para se carregar o caminhão é necessário realizar manobras entre o caminhão e o talude ou pilha, dependendo do local de operação (PEREIRA, 2019). Um ciclo de carregamento pode ser dividido em: carregamento da caçamba, ré com carga, avanço com carga, descarga do material, ré vazia e avanço vazia. Por não possuírem capacidade de escavação, apenas carregamento, há determinadas condições operacionais que as mesmas não podem ser utilizadas. Deve-se observar a resistência da frente escavada e as condições de piso, de forma que a resistência do material a ser manuseado deve ser de baixa a média (BOHNET, 2011). As figuras 6 e 7 ilustram, respectivamente, o ciclo de operação de uma carregadeira, e uma WA1200 carregando um caminhão.

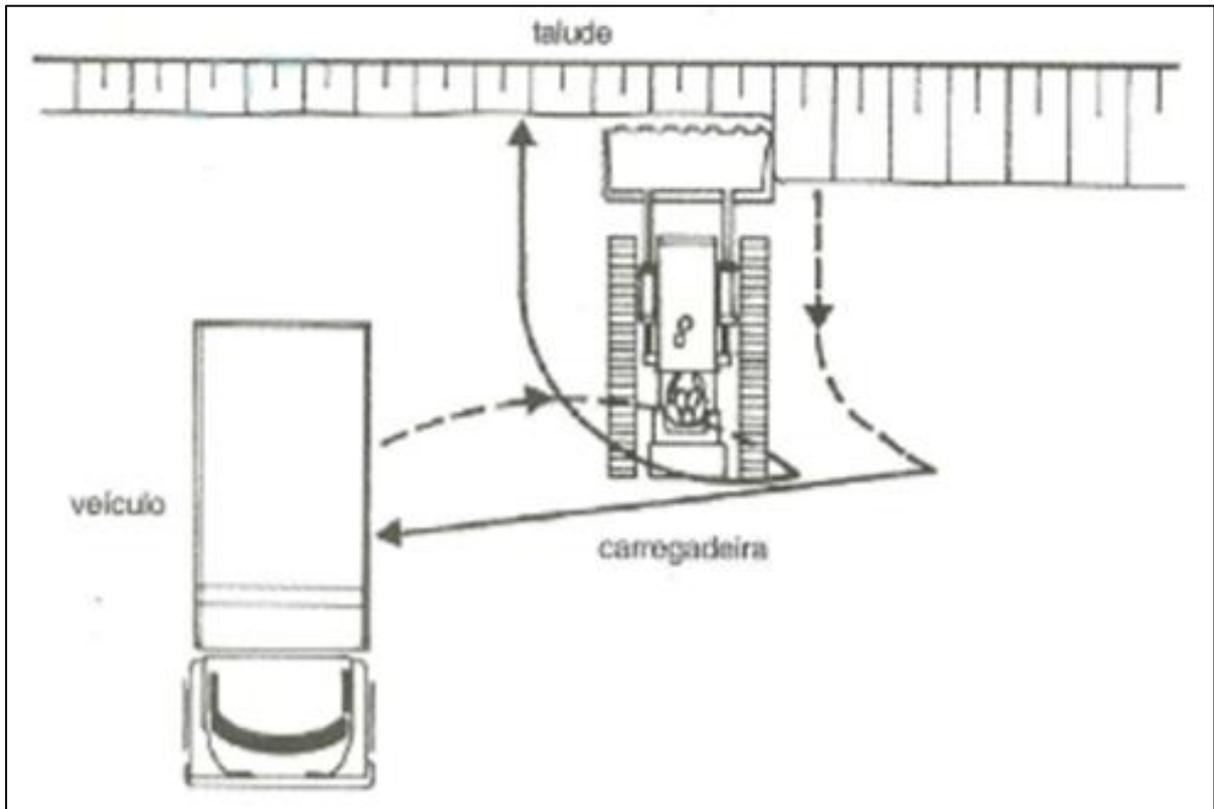


Figura 6: Ciclo de operação das carregadeiras. (FONTE: RICARDO e CATALANI, 2007)



Figura 7: WA1200 (FONTE: MANUAL KOMATSU WA1200-6)

## 2.2. Transporte

De acordo com DARLING (2011), o transporte de material na mineração por caminhões é o mais utilizado no mundo, embora existam outros métodos e sistemas de transporte, como por exemplo o transporte por correias. Conforme visto anteriormente, os custos com transporte representam em torno de 50% dos custos operacionais, dessa forma é de suma importância o entendimento minucioso das operações de transporte (HUSTRULID, 2013), para que a movimentação de material seja feita com o menor custo e máxima segurança possível. Segundo COUTINHO (2017), o custo deste processo é composto pelo alto consumo e elevado preço dos insumos e materiais que os caminhões utilizam, dentre eles diesel, pneus e materiais mecânicos, além de custos com mão de obra para operação e manutenção dos equipamentos.

A operação de transporte é conjugada com a operação de carregamento, sendo diretamente dependente. Logo, é essencial o correto dimensionamento do número de caminhões bem como do porte destes para que haja compatibilidade com as máquinas de carregamento e, conseqüentemente, maior produtividade. De acordo com HUSTRULID (2013), uma *shovel* deve dar entre 3 e 5 passes para preencher a balsa de um caminhão para que a produtividade seja maximizada.

Além disso, outros fatores influenciam diretamente no bom desempenho dos caminhões. COUTINHO (2017) cita a padronização da largura, inclinação e condição de piso nas vias de acesso e nas praças de carregamento, regras de trânsito definidas através de um plano de tráfego, treinamentos e capacitação dos operadores, alocação assertiva e controle de despacho da frota. Diversos indicadores operacionais medem os resultados deste processo, tais como a utilização física (UF), a disponibilidade física (DF), as horas trabalhadas produtivas, a produtividade (tonelada por hora), a carga média, a velocidade média, a distância média de transporte (DMT), o tempo de ciclo entre outros.

O ciclo do caminhão se caracteriza pelo deslocamento até uma das frentes de lavra para ser carregado e, em seqüência, deslocamento para algum destino para a descarga do material. Tal destino pode ser: pilha de estéril; pilhas de homogeneização – para mistura de material; usina de beneficiamento – onde o minério é tratado (PINTO, 2007). Em minas de grande porte, a alocação do caminhão é feita dinamicamente através do sistema de despacho eletrônico, buscando-se a otimização da produção através de algoritmos computacionais. A figura 8 abaixo ilustra as etapas do ciclo de transporte.

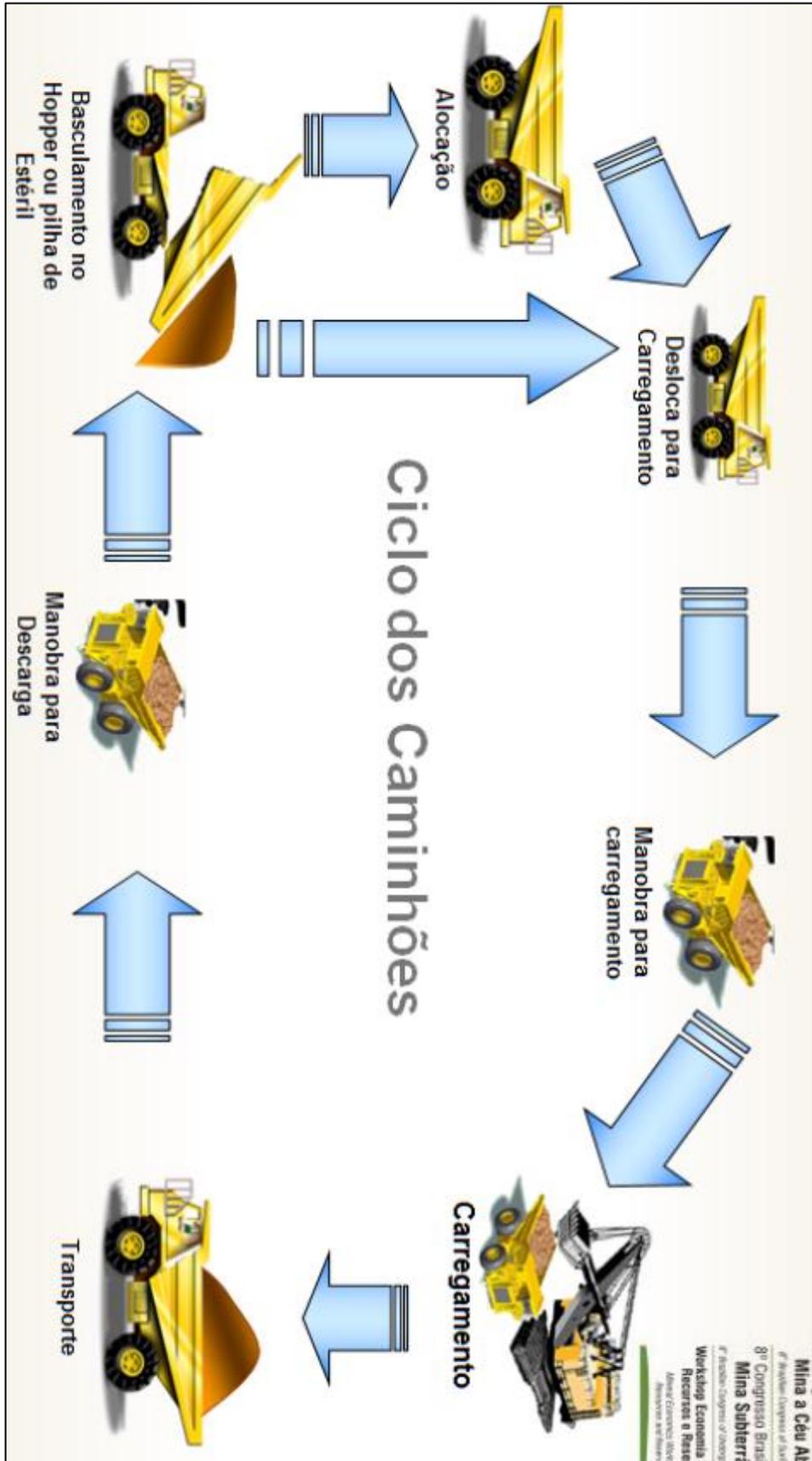


Figura 8: Ciclo de transporte por caminhões (FONTE: SAMARCO MINERAÇÃO)

### **2.2.1. Caminhão Komatsu 830E**

Os caminhões 830E da Komatsu são os responsáveis pelo transporte dos materiais provenientes da Mina do Sapo. São equipamentos movidos a diesel, com peso operacional de 164.200kg. Algumas informações do equipamento são ilustradas a seguir, na figura 9.

Como padrão, foram equipados com pneus 40.00R57 da Michelin, o que permite uma capacidade nominal de carga de 221.648kg (221 toneladas) e uma carga útil máxima de 244 toneladas, sendo recomendada uma distribuição de 67% no eixo traseiro e 33% no eixo dianteiro (KOMATSU, 2012). Recentemente, os pneus 40.00R57 foram substituídos por pneus 50/80R57, com o objetivo de melhorar produtividade dos caminhões através do aumento da carga útil (chamado de *payload* a partir deste ponto), assumindo um valor de aproximadamente 252 toneladas de carga nominal. Dessa forma, a operação deve buscar este valor de *payload* em seus ciclos.

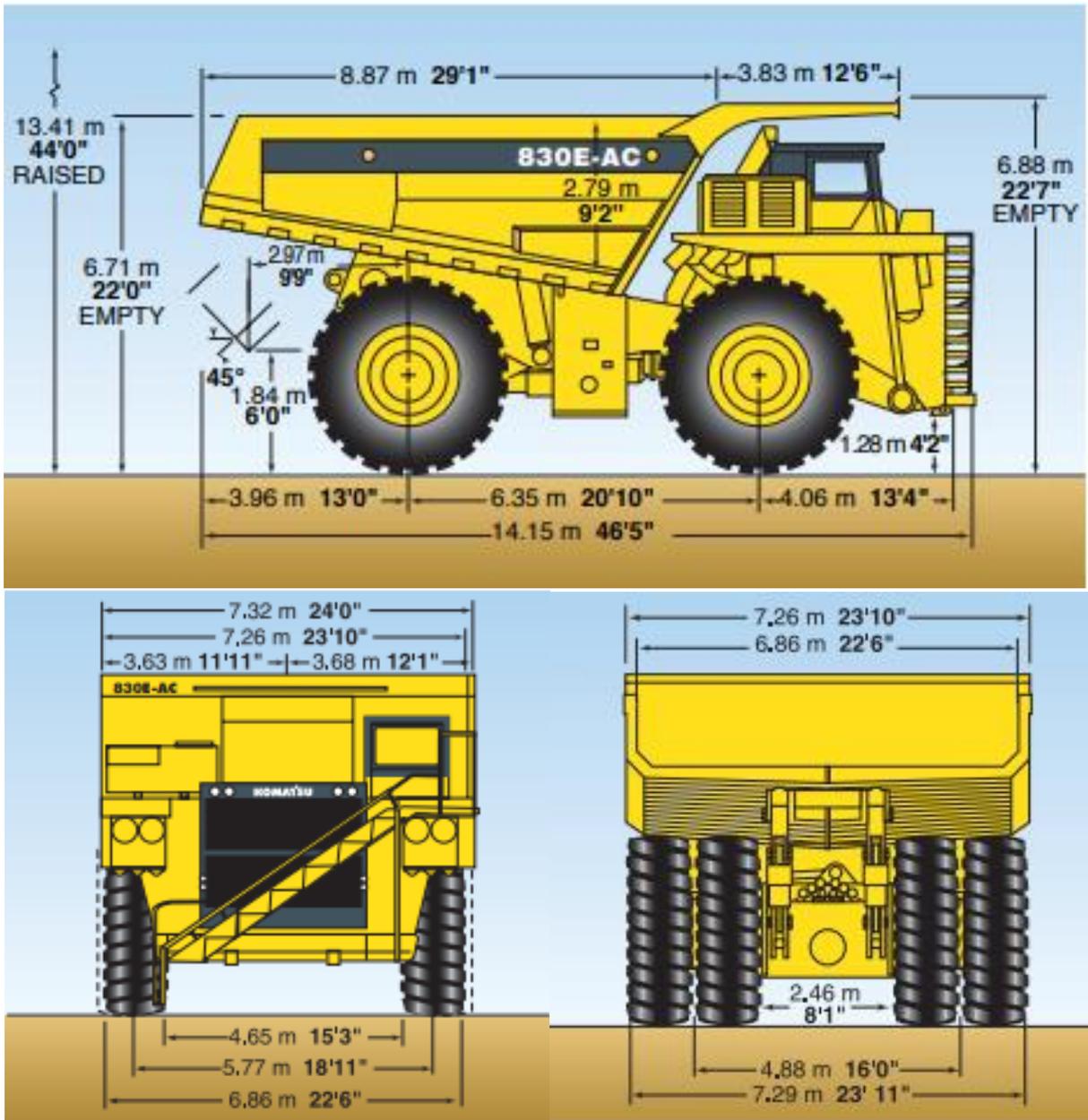


Figura 9: Dimensões do caminhão 830E (FONTE: MANUAL KOMATSU 830E)

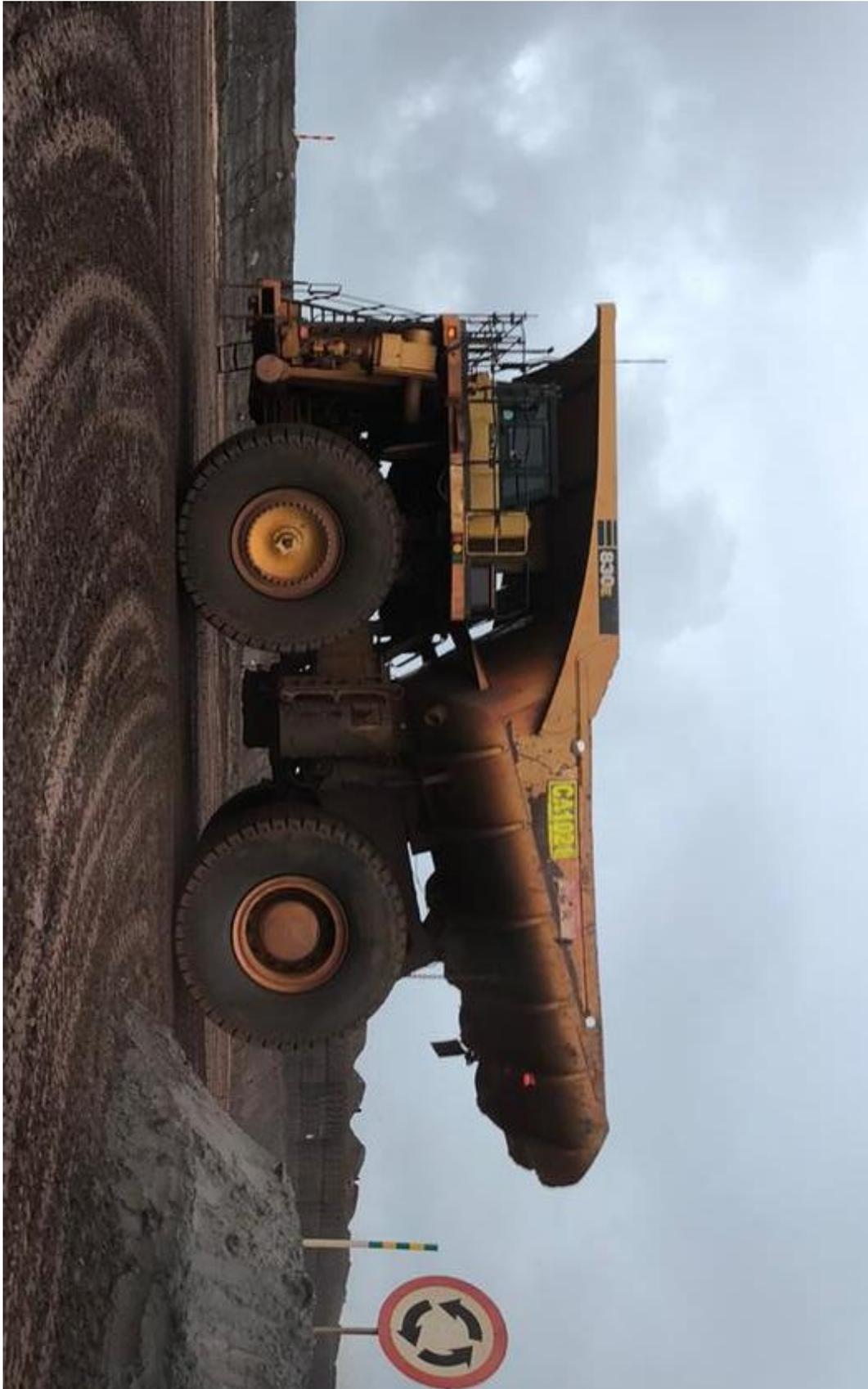


Figura 10: Fotografia do caminhão 830E em operação.

Toda a frota de caminhões é equipada com o sistema de medição de *payload* da Komatsu, o *Payload Meter IV* (PML IV). O PLM é um sistema eletrônico que monitora e registra as informações de *payload* dos caminhões fora-de-estrada da Komatsu. Este sistema mede, exibe e registra a carga de material que está sendo transportada pelos caminhões fora-de-estrada através de um algoritmo complexo que realiza a leitura dos dados das suspensões, combinado com a inclinação, velocidade e outros *inputs* responsáveis pelo cálculo do peso suportado pelas suspensões dos caminhões. A cada ciclo o PLM tara novamente o caminhão. O valor tarado (peso do caminhão vazio) é subtraído do valor calculado com o caminhão carregado para determinar o valor final do *payload*. O valor final de *payload*, aquele que é registrado nos bancos de dados, é determinado por uma série de cálculos feitos enquanto o caminhão está em trânsito rumo ao seu ponto de basculamento. Essa medição de *payload* precisa e confiável é projetada para ajudar a otimizar a carga útil, maximizar a produtividade e reduzir o custo do ciclo de vida da máquina (KOMATSU, 2016).

Isto posto, faz-se necessária a manutenção correta das suspensões para garantir cálculos precisos do *payload*. Os fatores críticos para a leitura correta das suspensões são o nível de óleo e a carga de nitrogênio. O baixo nível de óleo pode induzir a erros, pois dessa forma as suspensões não suportarão devidamente o caminhão carregado. De forma complementar, caso a carga de nitrogênio esteja abaixo do ideal, o PLM não será capaz de determinar o peso suportado pelas suspensões com o caminhão carregado com precisão. Se as suspensões estiverem com sobrecarga de nitrogênio, o PLM não será capaz de determinar o peso suportado pelas suspensões com o caminhão vazio com precisão. O correto nível de óleo e carga de nitrogênio são fatores determinantes e críticos na medição acurada do *payload*. Adicional a isso, uma boa manutenção das suspensões também é importante para prolongar a vida útil do equipamento.

Para evitar danos no chassi ou nas suspensões em casos de sobrecargas, o sistema reconhece um valor limite que o caminhão é capaz de transportar. Ao se ultrapassar este valor, a velocidade do caminhão é limitada para preservar as estruturas do equipamento. Este evento se chama intertravamento. Por padrão, o valor limite é 110% da capacidade de carga nominal. Na Mina do Sapo este valor limite é de 275 toneladas.

### 2.2.2. *Payload e Produtividade*

TEIXEIRA (2016) define que a capacidade de carga ou *payload* da frota de transporte é a quantidade de massa (em toneladas) que os equipamentos de transporte levam por ciclo. O conjunto destes valores recebe o nome de carga média, sendo um parâmetro de grande importância no cálculo da produtividade dos equipamentos. Podemos definir a produtividade dos caminhões conforme a equação 1:

(1)

$$\textit{Produtividade} = \frac{\textit{toneladas}}{\textit{hora}} = \frac{\textit{Carga Média (ton)}}{\textit{Tempo de Ciclo (h)}}$$

O tempo de ciclo pode ser descrito como a soma dos tempos de deslocamento e dos tempos fixos, conforme equação 2.

(2)

$$\textit{Tempos de deslocamento} = \textit{tempo de deslocamento vazio} + \textit{tempo de deslocamento cheio}$$

Onde:

(3)

$$\textit{Tempo de deslocamento vazio} = \frac{\textit{Distância percorrida vazio}}{\textit{Velocidade média vazio}}$$

E:

(4)

$$\textit{Tempo de deslocamento cheio} = \frac{\textit{Distância percorrida cheio}}{\textit{Velocidade média cheio}}$$

Já os tempos fixos são demonstrados na equação 5:

(5)

$$\begin{aligned} \textit{Tempos fixos:} & \textit{tempo de fila na carga} + \textit{tempo de manobra na carga} \\ & + \textit{tempo carregando} + \textit{tempo de fila no b\u00e1sculo} \\ & + \textit{tempo de manobra no b\u00e1sculo} + \textit{tempo basculando} \end{aligned}$$

### **2.2.3. Sobrecargas**

As sobrecargas ocorrem quando o valor limite de carga é ultrapassado, tornando o transporte do material uma operação não segura, podendo comprometer as estruturas e componentes dos caminhões bem como reduzir significativamente a vida útil dos pneus. Nestes casos, ocorre o intertravamento - o caminhão fica limitado a uma velocidade baixa, o que impacta na produtividade da frota e gera atrasos nos ciclos - e todo o material deve ser basculado em local seguro imediatamente e, posteriormente, deverá ser retomado, gerando retrabalho e gastos para uma operação que, conforme visto em tópicos anteriores, é altamente custosa.

Alguns fatores influenciam na ocorrência de sobrecarga, tais como a condição do piso da praça de carregamento e dos acessos da mina, a calibração das suspensões, o posicionamento da massa sobre a balsa do caminhão, a habilidade do operador da máquina de carga entre outros. Em se tratando das suspensões, a má calibração favorece a leitura incorreta da massa carregada, podendo haver casos de sobrecargas indevidas (quando ocorre o intertravamento com massa inferior ao limite). Portanto, podemos classificar as sobrecargas em duas categorias:

- Sobrecargas devidas: quando ocorre o carregamento de massa superior ao limite de carga, sendo considerada uma falha operacional pois não é permitido ultrapassar tal valor;
- Sobrecargas indevidas: quando ocorre o intertravamento do caminhão mesmo que a massa carregada seja inferior ao limite de carga, sendo considerada uma falha mecânica por erro de leitura das suspensões;

### **2.3. Sistema de Despacho Eletrônico**

Os sistemas de despacho eletrônico são largamente empregados em minas de grande porte. De acordo com COSTA e GANGA (2010), um sistema de despacho dinâmico é um software responsável por realizar o roteamento de veículos de transporte de carga de minérios numa mina considerando restrições em tempo real. Segundo RODRIGUES (2006), o objetivo do despacho computadorizado é maximizar o tempo total produtivo da mina, minimizar a quantidade de caminhões necessária para o transporte, maximizar a produção dos equipamentos de carga e atender os padrões de qualidade da usina de tratamento. Tal otimização é feita através da alocação dinâmica dos equipamentos, onde a cada carga e/ou descarga, o caminhão é direcionado para um ponto específico, de acordo com critérios previamente estabelecidos.

A alocação ótima pode resultar em economias e melhorias significantes na operação. Conforme SOUSA (2017), o emprego de algoritmos de otimização e a gestão por resultados em tempo real são grandes aliados no processo de redução de custos e na maximização da capacidade dos ativos, através da gestão da operação a partir do tratamento da grande quantidade de dados gerados pelo sistema.

Na operação de mina da Mina do Sapo, o sistema de despacho eletrônico utilizado é o *Dispatch® – Modular Mining System*, responsável pelo gerenciamento e otimização da operação em tempo real. Todas as informações coletadas pelo sistema são armazenadas em bancos de dados para consultas e análises de diferentes indicadores em tempo real, disponíveis no *Intellimine Reporting*.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na Mina do Sapo, ativo pertencente à empresa Anglo American plc. Tal mina localiza-se nos municípios de Conceição do Mato Dentro e Alvorada de Minas, na região central do estado de Minas Gerais, a 160 km de Belo Horizonte, capital do estado. As figuras 11 e 12 mostram a localização do município de Conceição do Mato Dentro e da mina em questão, respectivamente.



Figura 11: Município de Conceição do Mato Dentro – Google Maps

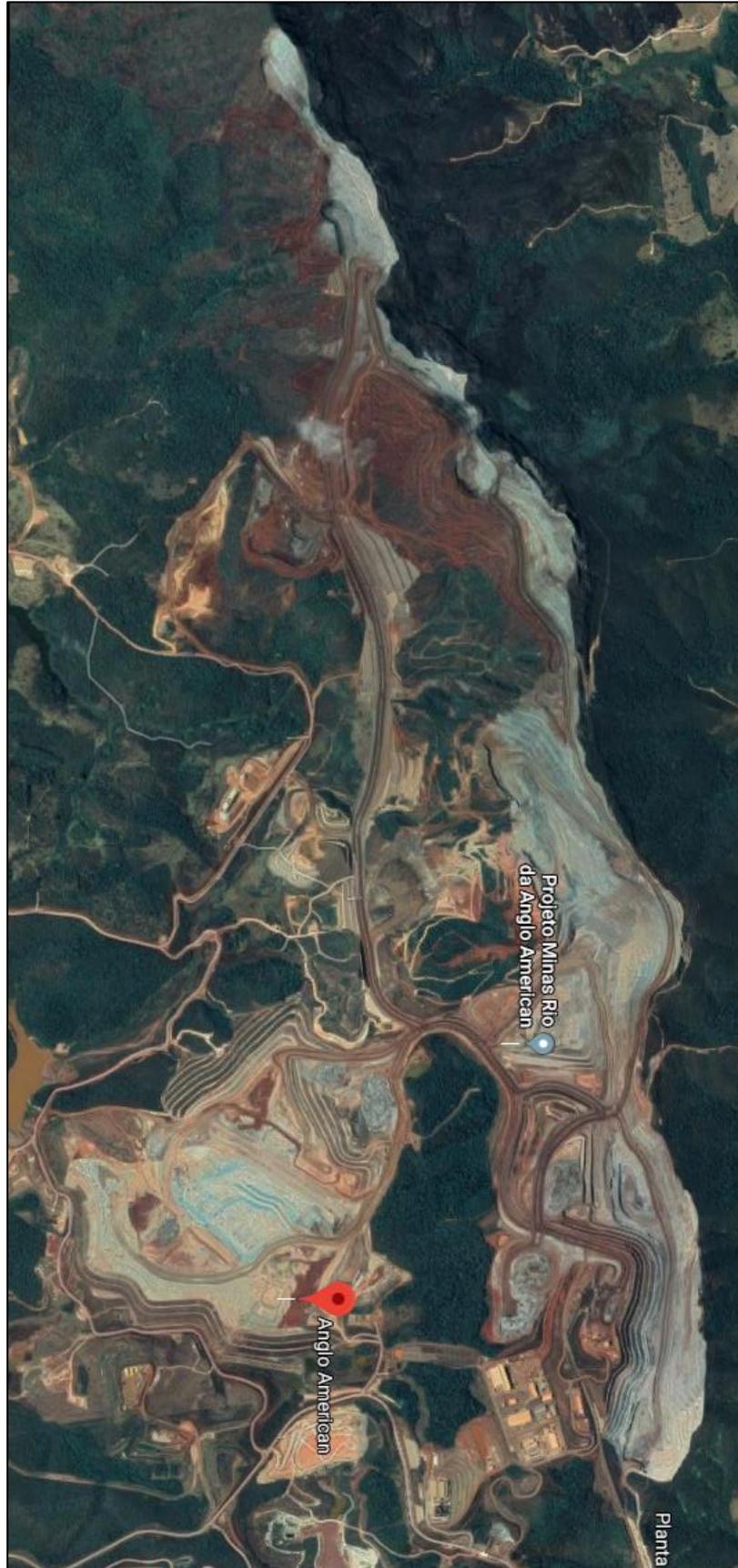


Figura 12: Vista aérea da mina – Google maps

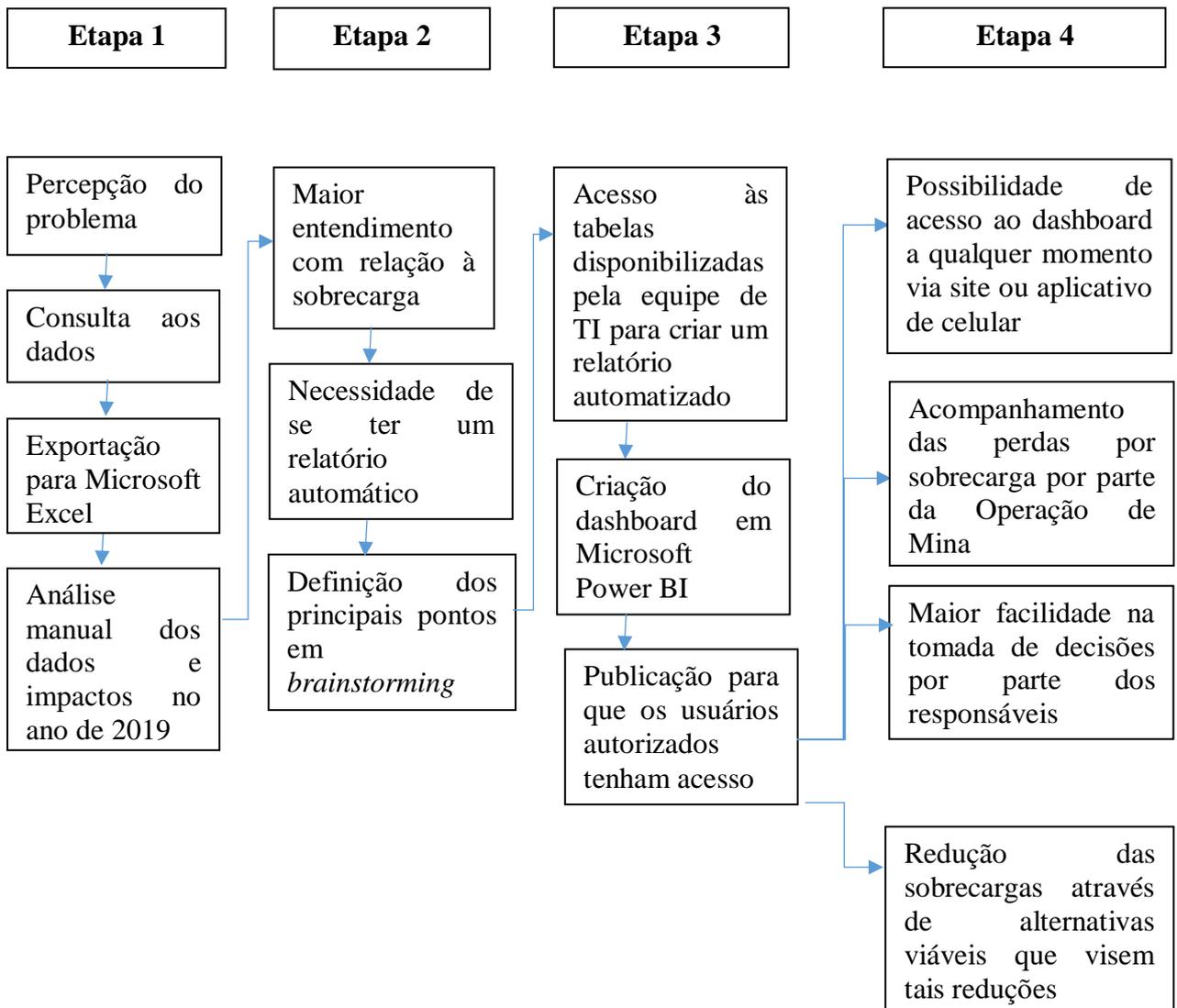
As operações de lavra do minério de ferro do sistema Minas-Rio tiveram início no ano de 2014. O projeto encontra-se em estágio de *ramp up*, com capacidade nominal de 26,5 milhões de toneladas de *pellet feed* de alto teor de ferro (67-68%) por ano. Todo o minério é retirado da mina e transportado até a usina de beneficiamento, onde passa por diversas etapas de tratamento e, em seguida, é destinado até o Porto de Açú, localizado em São João da Barra (RJ), através de um mineroduto de 529 km de extensão que passa por 33 municípios.

A operação de mina é provida de equipamentos de escavação/carregamento, transporte e perfuração. Os equipamentos contam com tecnologias de sistemas embarcados com GPS de alta precisão, sistema anti-colisão e despacho eletrônico, responsáveis por gerar uma grande quantidade de dados que são utilizados para controle, otimização e melhoria contínua das operações. As frotas e suas respectivas quantidades de equipamentos são exibidas na tabela 1 abaixo.

<b>ESCAVADEIRAS</b>	<b>4</b>
PC4000	2
PC5500	2
<b>CARREGADEIRAS</b>	<b>3</b>
WA1200	3
<b>CAMINHÕES</b>	<b>31</b>
830E	31
<b>PERFURATRIZES</b>	<b>5</b>
DM30	1
DML	3
MD6420	1

Tabela 1: Quantidade de equipamentos por frota.

O trabalho foi realizado em 4 fases. A primeira fase foi o levantamento dos dados provenientes do despacho através de relatórios disponíveis para consulta, com a finalidade de analisar o histórico de sobrecargas bem como seus impactos no ano de 2019. A segunda fase foi a determinação dos principais pontos que devem ser observados pela operação de mina através de um *brainstorming*. A terceira etapa foi a criação de um relatório em Microsoft Power BI com atualização automática diária, com base nos pontos definidos na etapa 2. A quarta etapa é a implementação da ferramenta a partir de 2020, com o objetivo de acompanhar o desempenho da operação com relação a sobrecarga e buscar alternativas que promovam a redução das mesmas. O fluxograma abaixo explica com maior detalhamento as etapas do estudo.



O Microsoft Power BI é uma ferramenta que auxilia na visualização de dados, facilitando as análises e tomadas de decisões através de relatórios visuais e interativos elaborados a partir de bancos de dados. A criação de um relatório no Power BI conectado diretamente à um servidor SQL permite que a atualização dos dados seja automática, sem a necessidade de baixar relatórios do despacho, exportar para Excel e criar tabelas e gráficos para análises, o que muitas vezes demora um tempo considerável devido à grande quantidade de informações a serem baixadas e exportadas.

Conforme visto anteriormente, uma das principais etapas foi a definição dos pontos mais importantes a serem observados e acompanhados, dessa forma é possível obter um relatório completo de fácil compreensão. Os pontos levantados durante o *brainstorming* foram:

- Massa total de sobrecarga: saber qual a quantidade, em toneladas, que foi basculada em destinos SBC no período escolhido pelo usuário;
- Percentual de ciclos de sobrecarga com relação ao total de ciclos: saber o desempenho com relação à quantidade de ciclos totais no período escolhido pelo usuário;
- Quantidade de sobrecarga por dia: acompanhar o desempenho diário ao longo do período escolhido pelo usuário, bem como a média de sobrecarga em toneladas por dia;
- Quantidade de sobrecarga carregada por equipamento de carregamento: saber quais máquinas tendem a carregar mais sobrecargas a fim de buscar soluções para redução;
- Quantidade de sobrecarga carregada por turma: saber quais turmas estão causando mais impactos devido à sobrecarga a fim de buscar soluções para redução;
- Quantidade de sobrecarga carregada por operador de equipamento de carga: saber quais operadores carregam mais sobrecargas, a fim de buscar soluções para redução;
- Quantidade de sobrecarga transportada por caminhão: saber quais caminhões costumam ter maiores ocorrências de sobrecarga indevidas, a fim de buscar soluções junto à manutenção para redução;
- Histograma de carga média: acompanhar a frequência de sobrecargas indevidas;

Após definição das informações a serem exibidas, a próxima etapa foi desenvolver um dashboard automático no Microsoft Power BI para acompanhamento das sobrecargas da frota de caminhões 830E. Nele é possível filtrar as informações por data através do filtro “Data”, para analisar as informações no período que for de interesse. Também é possível filtrar por sobrecarga devida ou indevida através do filtro “Status SBC”.

## 4. ESTUDO DE CASO

### 4.1. Levantamento dos dados

Para quantificar a massa em toneladas de material basculado no piso devido à sobrecarga, existem, no despacho, alguns destinos com a sigla “SBC”. Dessa forma, toda vez que o operador de caminhão precisa bascular o material devido à sobrecarga, essa massa será alocada em um código para que a viagem não seja perdida já que o material não vai para o britador, estoque ou pilha de estéril, se caracterizando como Outras Movimentações (OM). A quantidade em massa de material basculado em cada destino SBC é exibida na tabela 2.

DESTINO	TONELADA REGISTRADA
SBC-CENTRO-01	551.902
SBC-NORTE-01	371.641
SBC-CENTRO-03	275.456
SBC-CENTRO-02	225.767
SBC-NORTE-02	191.045
SBC-NORTE-03	154.363
SBC-CENTRO-04	150.258
SBC_NORTE_04	10.378
SBC-BLOCOS-01	7.028

Tabela 2: Total de massa basculada em toneladas em cada destino SBC.

De um total de 271.221 ciclos realizados no ano de 2019, 7.400 foram de sobrecargas basculadas no chão, o que totaliza 2,7% dos ciclos. A quantidade em massa e a quantidade de ciclos por mês é exibida na tabela 3.

<b>MÊS</b>	<b>TONELADA REGISTRADA</b>	<b>QUANTIDADE DE CICLOS</b>
Jan	67.483	258
Fev	92.930	361
Mar	154.903	602
Abr	143.714	552
Mai	152.960	584
Jun	155.884	594
Jul	243.922	929
Ago	208.660	792
Set	193.831	737
Out	206.847	788
Nov	162.369	619
Dez	154.335	584
<b>Total Geral</b>	<b>1.937.838</b>	<b>7.400</b>

Tabela 3: Massa em toneladas e quantidade de ciclos de SBC por mês.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo foi feita a análise e discussão dos resultados obtidos até o mês de março de 2020, mês corrente quando esta dissertação foi escrita.

### 5.1. *Dashboard Sobrecargas*

O relatório final pode ser visto na figura 13, contendo todas as informações definidas previamente no *brainstorming*. Os sobrenomes dos operadores serão ocultados em todas figuras que apresentem o *dashboard*, a fim de preservar as identidades. Vale ressaltar que as informações presentes neste relatório são referentes às sobrecargas destinadas à SBC, ou seja, sobrecargas basculadas no chão, para que seja possível contabilizar as perdas. As sobrecargas transportadas até o destino final não são contabilizadas neste relatório e representam uma parte significativa da movimentação, sendo esta uma análise a parte.

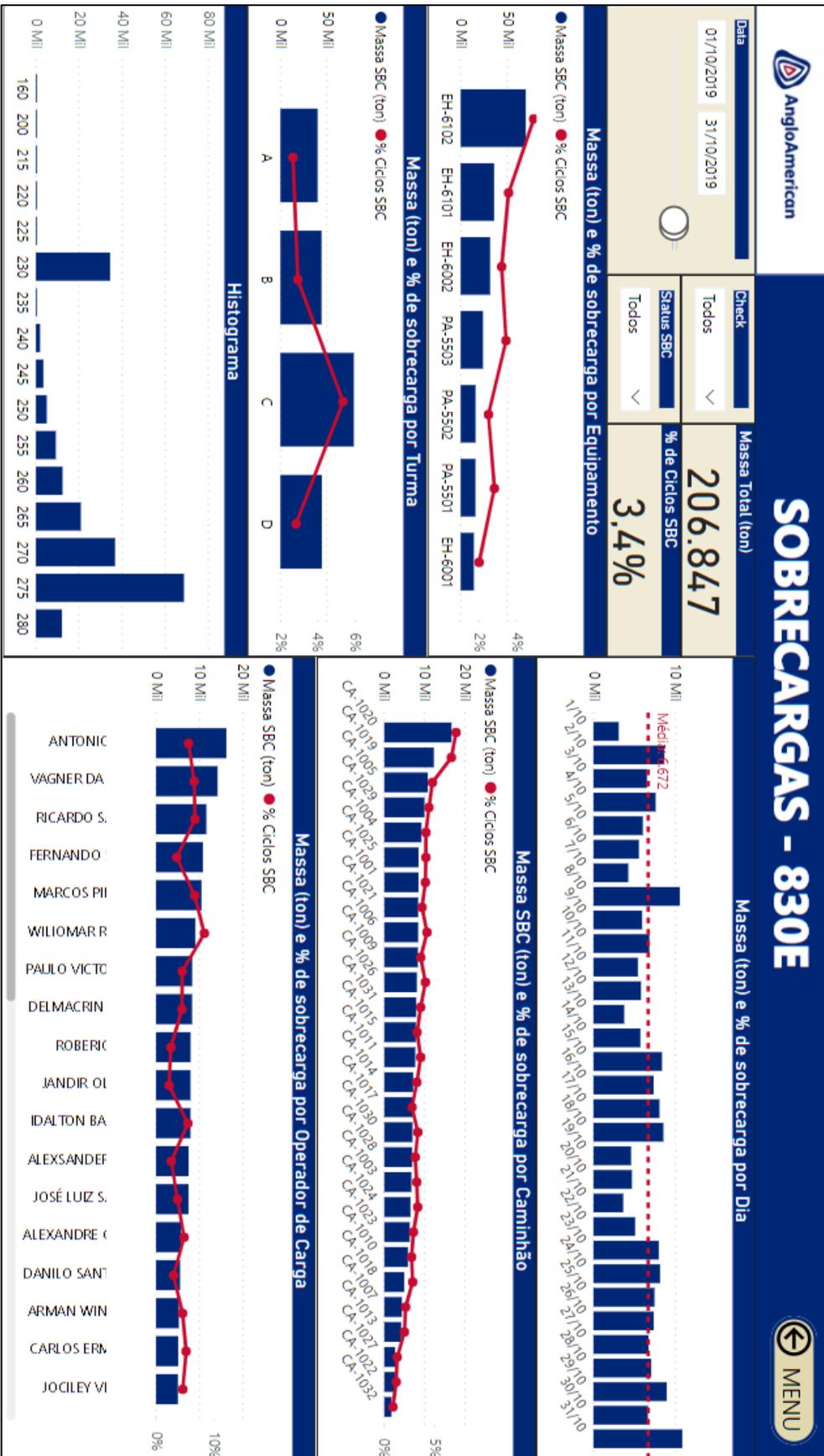


Figura 13: Dashboard criado no Microsoft Power BI para acompanhamento das sobrecargas.

Diariamente, as informações relativas à performance da frota de transporte são levadas para a reunião diária, onde os principais indicadores operacionais do dia anterior são justificados (UF, DF, produtividade, indicadores de ciclo entre outros) bem como as sobrecargas. Todas essas informações estão disponíveis no mesmo *dashboard*, em páginas diferentes, conforme figura 14.

Mensalmente, um e-mail é enviado para coordenadores de turno, engenheiros, analistas e gerentes com a finalidade de manter todos atualizados com relação ao desempenho das sobrecargas na operação de mina. Dessa forma, reforça-se a importância em promover a redução de tais perdas através de uma operação mais segura e eficaz.

Além disso, por ser um relatório automatizado, os usuários que têm acesso podem consultar suas informações a qualquer momento, inclusive através de aplicativo para celular, fazendo desta uma ferramenta prática, rápida e de fácil entendimento. Consequentemente os funcionários poderão despender suas horas de trabalho em outras atividades importantes, visto que todas as informações mais relevantes da frota de transporte estarão disponíveis a qualquer momento de maneira visual e automática.

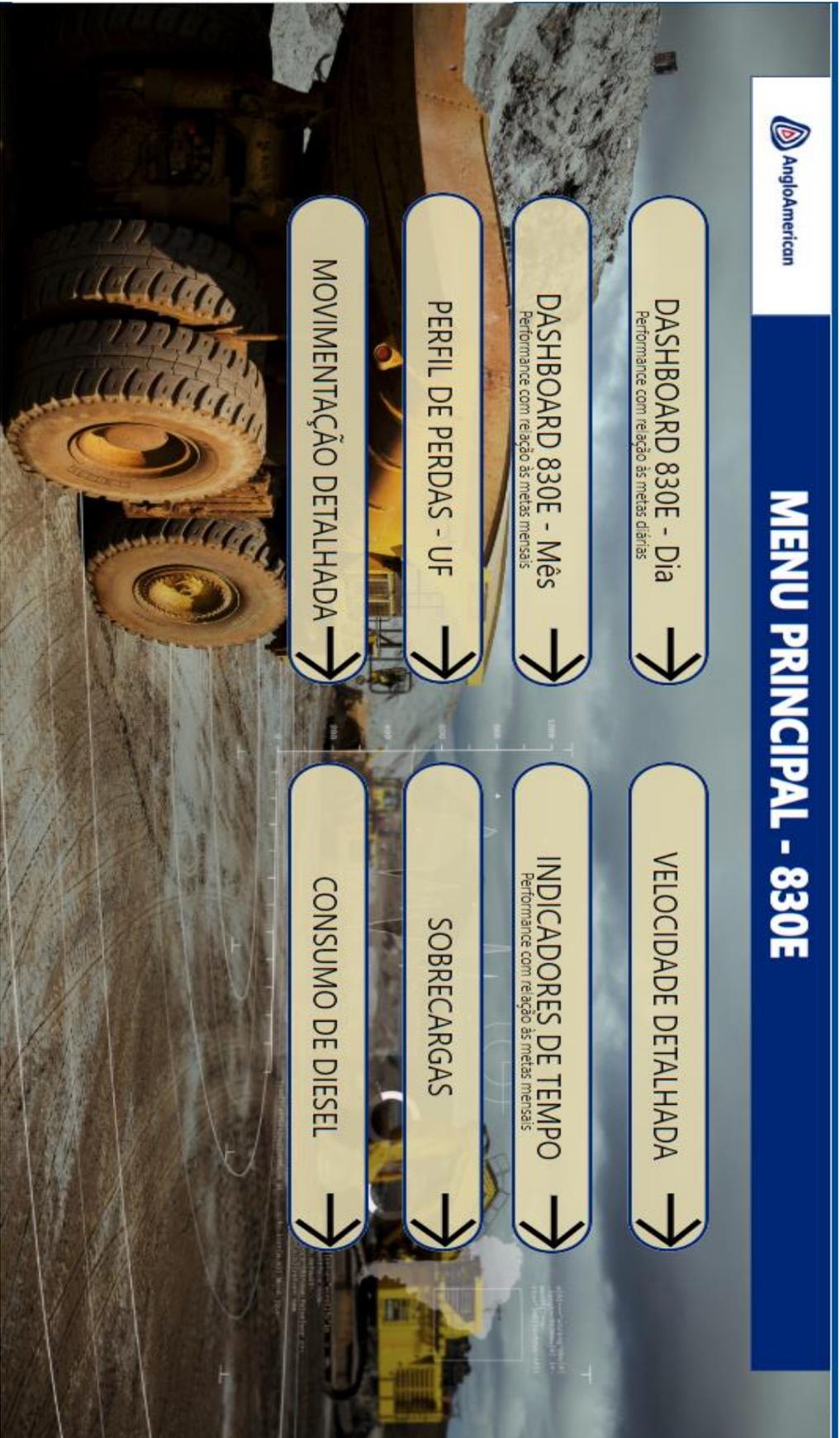


Figura 14: Página inicial do dashboard completo.

## 5.2. Redução de Sobrecargas Indevidas

Para promover a redução das sobrecargas indevidas, é imprescindível que a operação de mina trabalhe em conjunto com a equipe de manutenção dos equipamentos de mina, reportando os caminhões mais problemáticos para que estes sejam corrigidos pela manutenção.

No mês de janeiro, dos 2,9% dos ciclos destinados a SBC, 1,6% foram por sobrecargas indevidas – mais da metade. Por outro lado, após a implementação da ferramenta no mês de fevereiro, 2,3% dos ciclos foram destinados a SBC, sendo 1,1% indevidamente – menos da metade.

Observa-se, também, que o caminhão CA-1008 destacou-se dos demais quanto à quantidade de sobrecargas indevidas entre os dias 1 a 15 de fevereiro, exibido na figura 15. Tal informação foi reportada para a equipe de manutenção de equipamentos de mina com o propósito de corrigir as possíveis falhas que o equipamento possa estar apresentando.

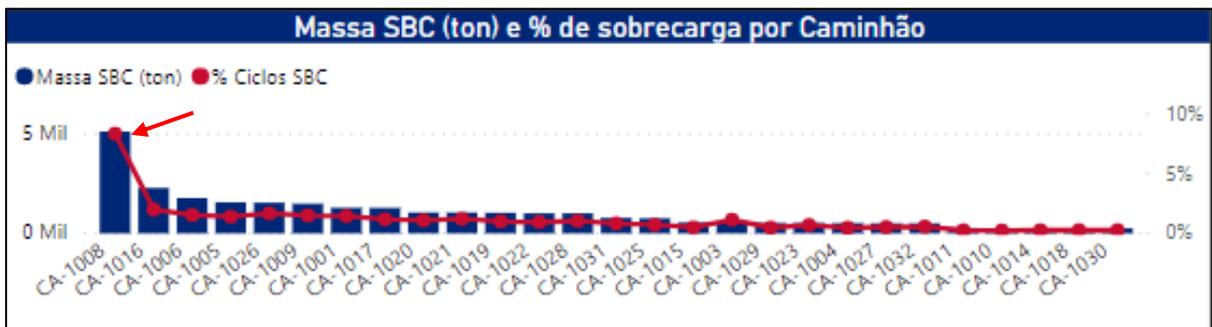


Figura 15: Sobrecargas indevidas entre os dias 1 e 15 de fevereiro

Após as tratativas, houve uma redução nas sobrecargas indevidas no CA-1008, mostrando-se eficaz o *report* para a equipe de manutenção. Tal melhoria pode ser vista na figura 16:

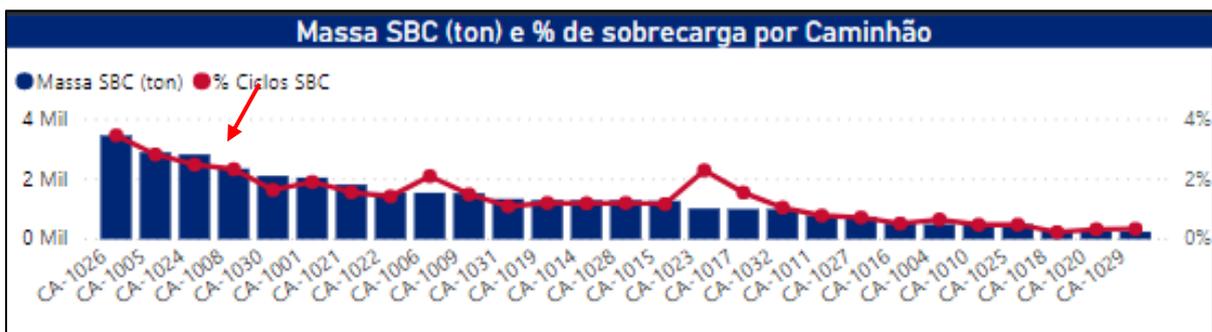


Figura 16: Sobrecargas indevidas entre os dias 16 e 29 de fevereiro

### 5.3. Análise do *Payload*

Observou-se, através de uma análise feita entre os dias 01 e 26 de fevereiro, que há uma grande variabilidade no *payload*, ocorrendo muitos casos de cargas rasas (cargas com valor muito abaixo do normal, não aproveitando a capacidade do equipamento efetivamente) e sobrecargas, embora a carga média neste período tenha sido 254,8 toneladas, próxima do valor objetivo de 252 toneladas. O histograma de carga média no período é exibido na figura 17 abaixo.

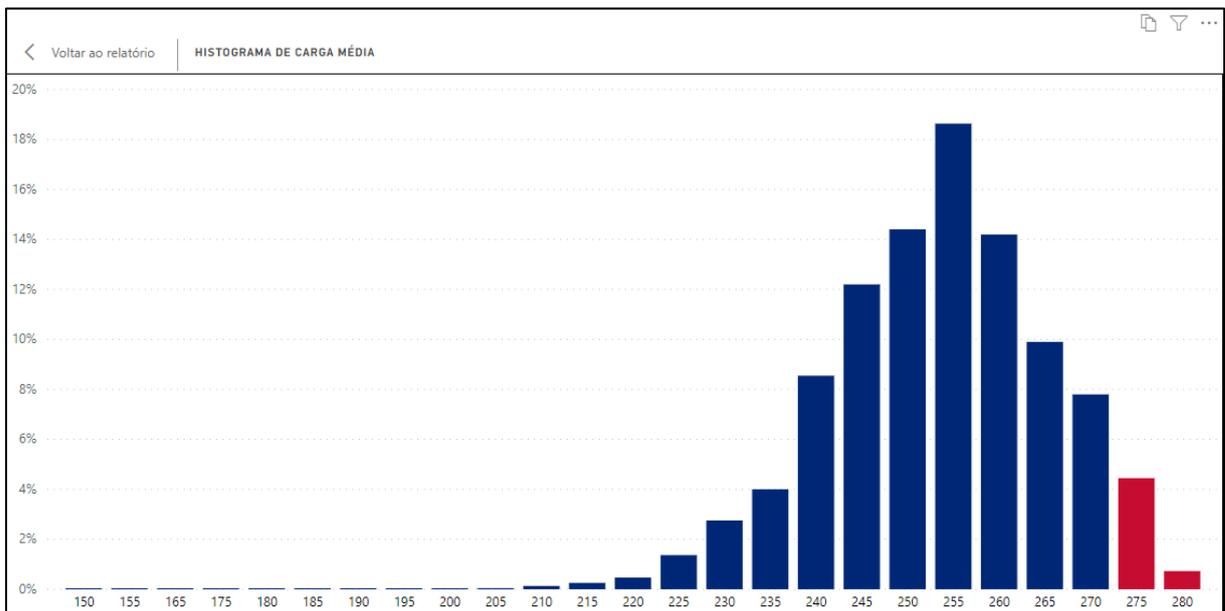


Figura 17: Histograma de carga média

Ao olharmos para as sobrecargas indevidas, quanto maior o *payload* maior a probabilidade de tal evento ocorrer. O histograma da figura 18 reforça tal afirmação, onde claramente quanto maior o valor de *payload*, maior a ocorrência de sobrecarga indevida devido à sensibilidade da leitura das suspensões.

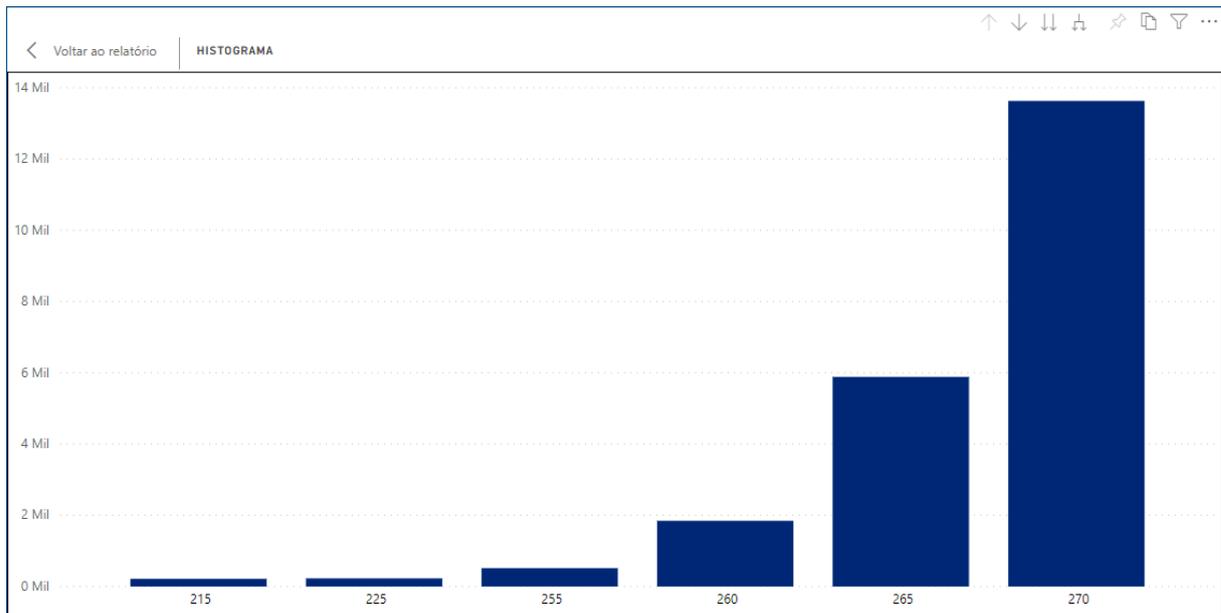


Figura 18: Histograma de sobrecargas indevidas

Com essas informações, repassou-se aos coordenadores a importância de os operadores buscarem valores de *payload* próximo ao valor objetivo de 252 toneladas em seus carregamentos. Ao se reduzir a grande variabilidade das cargas, a operação estará em equilíbrio e a carga média continuará próxima do valor objetivo, pois desta forma passa a evitar cargas rasas para aproveitar ao máximo a capacidade do equipamento, ao mesmo tempo em que estará reduzindo as chances de ocorrerem sobrecargas.

As sobrecargas indevidas, embora não sejam falha do operador e sim da leitura das pressões nas suspensões, podem ser evitadas pela operação, enquanto as sobrecargas devidas, em teoria, não deverão acontecer em hipótese alguma.

#### 5.4. Comparação entre meses

Durante o mês de janeiro a ferramenta ainda estava sob desenvolvimento e divulgação. Desta forma, o acompanhamento efetivo iniciou-se em fevereiro, onde é possível observar algumas melhorias imediatas.

Em janeiro, cerca de 2,9% dos carregamentos foram classificados como SBC, totalizando 169.588 toneladas, uma média de 5.471 toneladas por dia. É possível notar que a turma B destacou-se das demais com relação à quantidade de ciclos de sobrecarga, totalizando 4,3% dos seus ciclos. Tal informação foi repassada para o coordenador de turno, para que ele

pudesse atuar junto com a sua equipe. As informações referentes ao mês de janeiro podem ser vistas na figura 19.

Em fevereiro, com a utilização da ferramenta e abordagem do assunto nas reuniões diárias, 2,3% dos ciclos foram destinados a SBC, o que totaliza 134.377 toneladas, uma média de 4.634 toneladas por dia. A turma B, responsável pelo maior impacto no mês anterior, teve apenas 2,2% dos seus ciclos destinados a SBC, quase metade do mês de janeiro. Dessa forma, pode-se concluir que o acompanhamento do coordenador de turno é essencial para promover a redução das sobrecargas durante seu turno de trabalho. O mês de fevereiro é apresentado na figura 20.

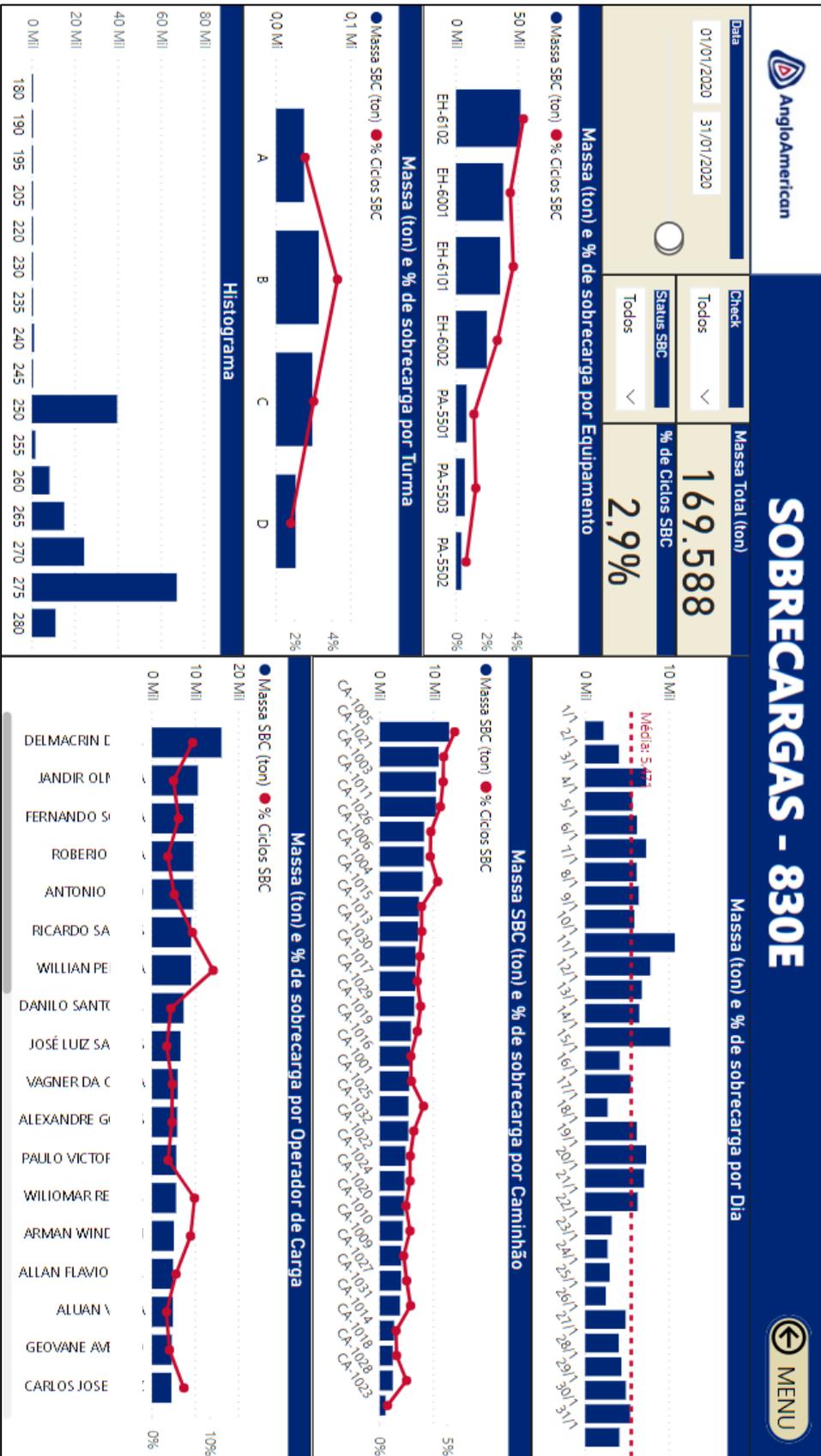


Figura 19: Sobrecargas em janeiro de 2020.

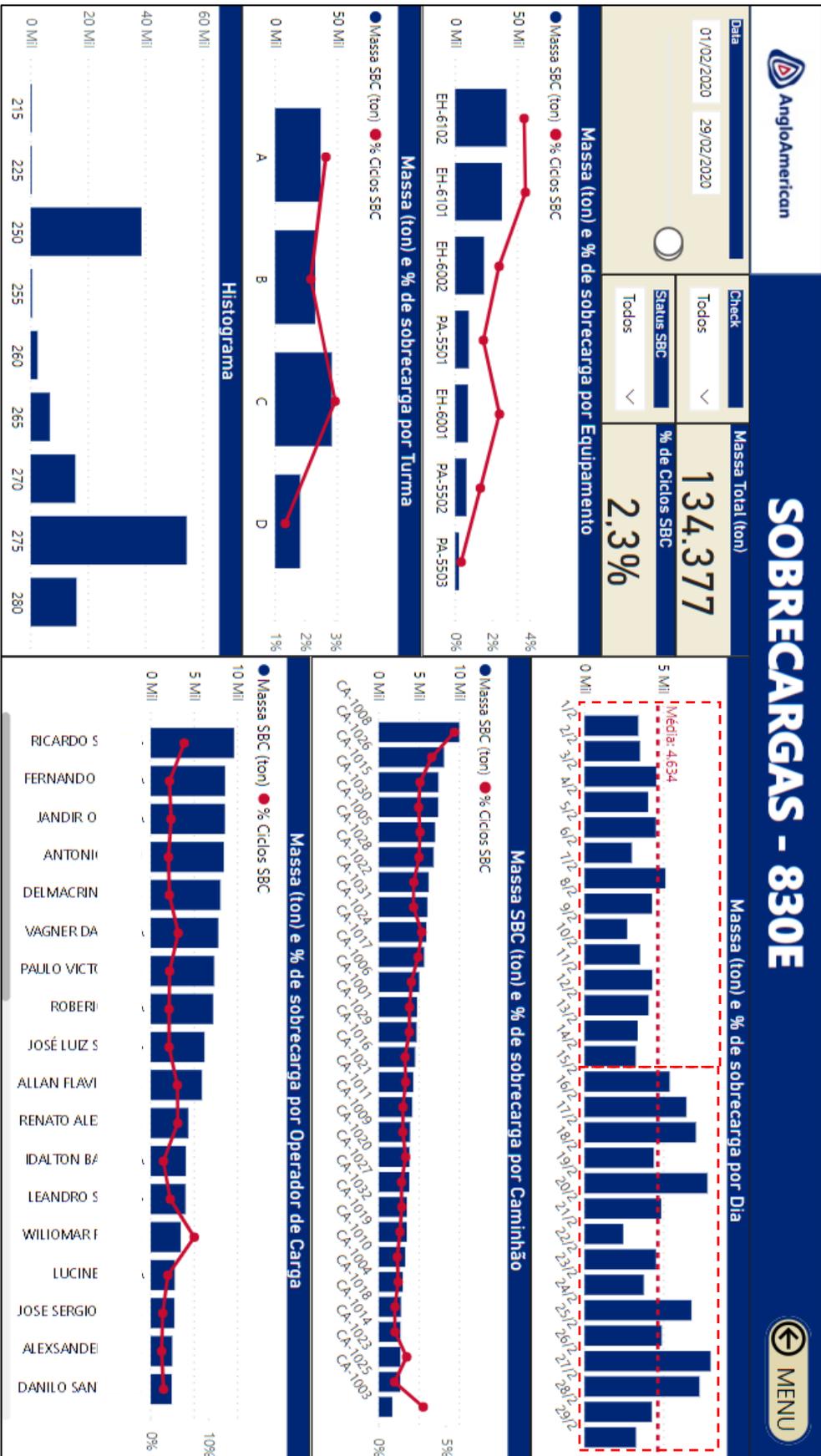


Figura 20: Sobrecargas em fevereiro de 2020.

Ao analisar o gráfico diário de sobrecarga, observa-se que existem dois possíveis períodos de análise em fevereiro – 1 a 14 de fevereiro e 15 a 29 de fevereiro.

Até o dia 14 de fevereiro, a média diária de sobrecargas foi de 3.818 toneladas, cerca de 2,0% dos ciclos. Do dia 15 em diante houve um pico de sobrecargas, tendo uma média de 5.395 toneladas por dia, chegando a realizar 7.969 toneladas no dia 26 de fevereiro. Quando olhamos para os períodos, nota-se que houve uma mudança significativa de comportamento na turma A.

Entre os dias 1 e 14 de fevereiro, esta turma possuía um dos melhores desempenhos com relação à sobrecarga, sendo que 1,5% de seus ciclos eram destinados para SBC, conforme figura 21:

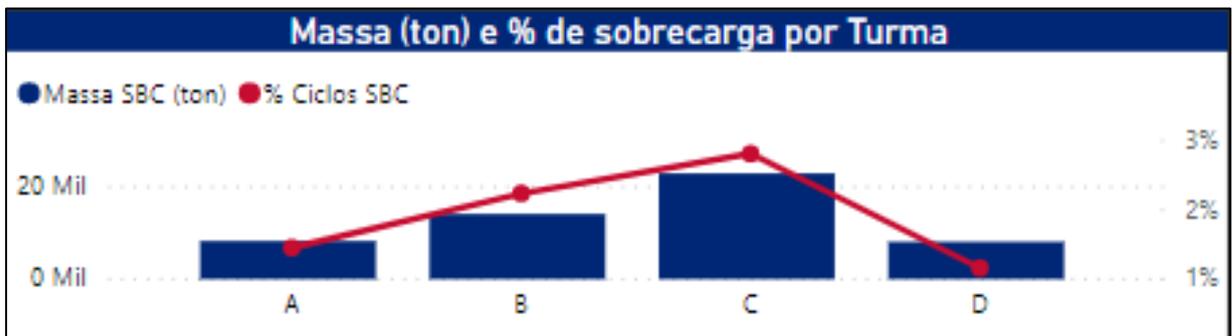


Figura 21: Performance por turma entre os dias 01 e 14 de fevereiro.

No período que abrange o dia 15 ao dia 29 de fevereiro, o período onde houve um pico de sobrecargas conforme visto anteriormente, esta turma destacou-se das demais, tendo cerca de 3,6% dos ciclos destinados a SBC – mais que o dobro - conforme figura 22 abaixo:

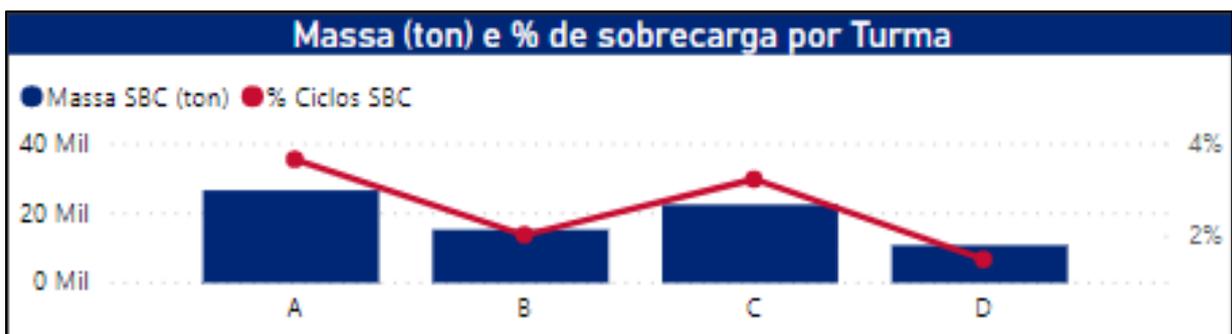


Figura 22: Performance por turma entre os dias 15 e 29 de fevereiro.

Tal mudança de comportamento pode estar ligada ao fato de o coordenador desta turma ter entrado de férias neste período, o que reforça a importância do acompanhamento e instrução por parte do coordenador de turno.

No mês de março, após a análise apresentada no tópico 5.3, houve melhorias significantes que resultaram na redução das sobrecargas. Conforme visto anteriormente, esta análise foi feita até o dia 26 de fevereiro e, em seguida, apresentada para que ações fossem tomadas pelos coordenadores. Os resultados obtidos até o presente momento são apresentados abaixo, na figura 23.

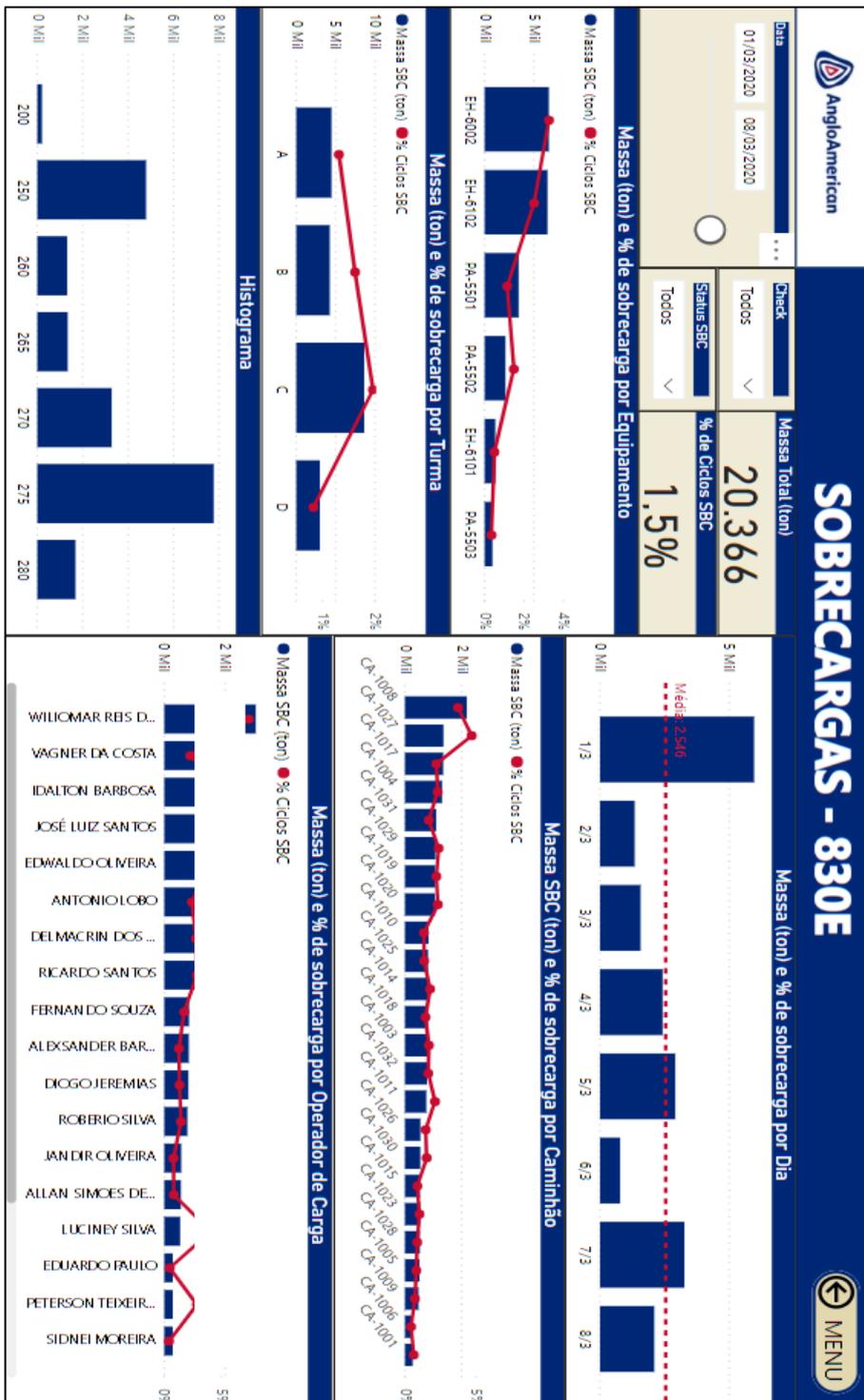


Figura 23: Sobrecargas no mês corrente.

Até o momento, cerca de 1,5% dos ciclos foram destinados a SBC, o que representa um valor muito baixo se comparado aos meses de janeiro (2,9%) e fevereiro (2,3%). A média diária é de 2.546 toneladas, sendo que no dia 06 de março apenas 0,8% dos ciclos foram de sobrecargas. Neste mesmo dia, a carga média performada foi de 252,1 toneladas, em linha com o valor objetivo, mostrando-se eficaz o acompanhamento por parte da operação de mina no controle das sobrecargas.

## 5.5. ScoreCard

Foi desenvolvida, também em Microsoft Power BI, uma ferramenta de avaliação de desempenho individual dos operadores, chamada *ScoreCard*. Nesta ferramenta, a performance do operador é avaliada por dois fatores:

- Desempenho operacional: o operador é avaliado pelos parâmetros que influenciem a produtividade, de forma que o estimule a evoluir e, no caso dos operadores com menor pontuação, serem treinados para que todos estejam nivelados;
- Eventos de telemetria: o operador é avaliado pelos eventos apontados na telemetria, de forma que o estimule a respeitar os limites do equipamento a fim de preservar a integridade estrutural e manter a segurança em primeiro lugar;

No *ScoreCard*, os eventos de sobrecarga impactam negativamente na pontuação do operador. Deste modo, é importante que eles evitem as sobrecargas para que suas pontuações sejam maximizadas. Obtivemos um *feedback* positivo por parte dos operadores, que se sentem motivados e desafiados a desempenhar seu trabalho da melhor maneira, buscando evoluir constantemente, sempre respeitando os limites de segurança e dos equipamentos.

Um operador de PC5500 foi selecionado aleatoriamente para demonstrar o funcionamento do *ScoreCard*, conforme figura 24. Os sobrenomes estão ocultos por questões de privacidade e preservação da identidade.

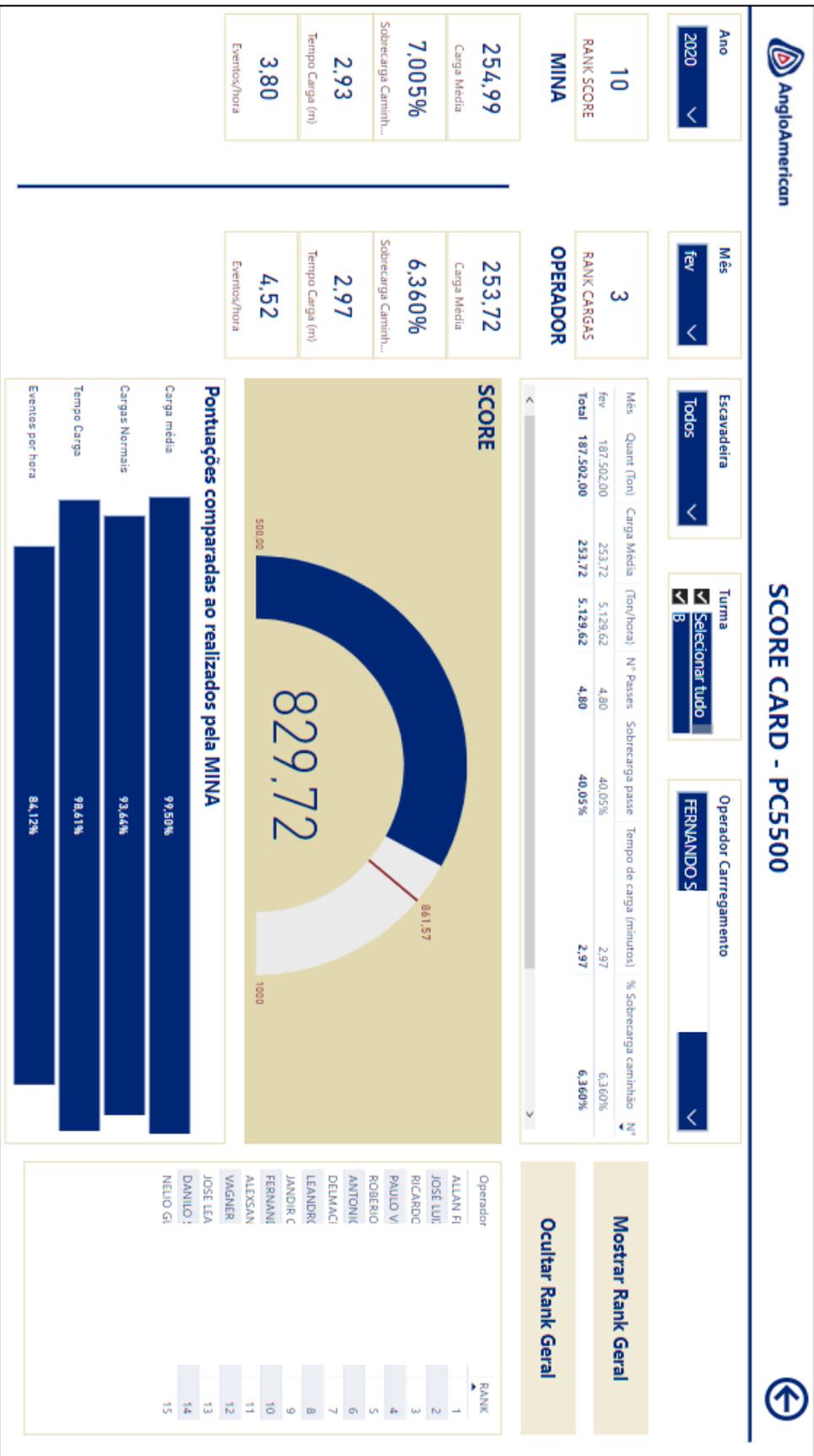


Figura 24: ScoreCard – PC5500

## 5.6. Possíveis medidas e estudos futuros

Além das medidas expostas acima, algumas outras ações simples e estudos podem ser conduzidos para promover a redução e o controle das sobrecargas. Cita-se, como exemplo:

- Reforçar a importância em se atentar para as sobrecargas durante os Diálogos Diários de Segurança (DDS);
- Propor uma faixa ideal de *payload* para que os operadores tenham uma melhor referência de quais valores são aceitáveis, evitando assim as cargas rasas e sobrecargas;
- Caracterizar o posicionamento do cone formado sobre a balança do caminhão, a fim de acompanhar a incidência de cargas descentralizadas que possam resultar na leitura enviesada das balanças e suspensões;
- Treinamento mensal dos operadores de máquina de carga que tenham maior incidência de sobrecargas, a fim de manter todos nivelados;
- Definir um valor ótimo de passes a serem dados pelos equipamentos de carga, evitando passes com baixo fator de enchimento, prática muito comum entre os operadores para buscar um maior *payload* - o que muitas vezes causa sobrecarga;

## 6. CONCLUSÕES

Conforme evidenciado ao longo do trabalho, as sobrecargas causam impactos em diversos aspectos que abrangem a operação, sendo de suma importância reduzir suas ocorrências a fim de aumentar a eficiência operacional. Porém, este era um problema não caracterizado. Conhecia-se o problema, entretanto não era acompanhado nem quantificado.

Ao desenvolver um relatório automático em Microsoft Power BI, as informações puderam ser exibidas e acompanhadas pelas partes responsáveis, facilitando assim a identificação dos principais pontos a serem atacados para que a operação reduza, de forma significativa, a ocorrência das sobrecargas.

Diversas medidas podem ser tomadas para promover tais reduções, sendo algumas exibidas anteriormente. Todavia, o mais importante é o controle e acompanhamento constante por parte da Operação de Mina, em conjunto com a equipe de manutenção dos equipamentos de mina, para evitar que tais eventos voltem a ocorrer com maior frequência.

Por ser um trabalho ainda em fases iniciais, pode-se concluir que as medidas tomadas até o presente momento foram eficazes para reduzir as sobrecargas. No mês corrente as sobrecargas estão em patamares baixos, sendo que aproximadamente 1,5% dos ciclos foram destinados a SBC, uma redução de 44% com relação à média praticada no ano de 2019.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, I. C. **Projeto de Melhoria de Indicadores de Caminhões Fora de Estrada**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Minas), Universidade Federal de Ouro Preto, 2017. 25p.
- ALONSO, J. B.; GÓMEZ, J. C.; HERBERT, J. H. **Perforación y Voladura de Rocas en Minería**. Politécnica, Madrid, 2013. 264p.
- BOHNET, E. **Comparison of Surface Mining Methods**. SME Mining Engineering Handbook, Volume 3, Estados Unidos da América, 2011, p. 405-413
- COSTA, B.; GANGA, G. M. D. **Benefícios da Implantação de um Sistema de Despacho: Estudo de Caso em uma Empresa de Mineração**. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos, SP, Brasil. 2010.
- COUTINHO, H. L. **Melhoria Contínua Aplicada para Carregamento e Transporte na Operação de Mina a Céu Aberto**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto, 2017. 86p.
- DARLING, P. **SME MINING ENGINEERING HANDBOOK**. 3rd Edition. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. Colorado, 2011.
- HARTMAN, Howard L.; MUTMANSKY, Jan M. **Introductory mining engineering**. John Wiley & Sons, 2002.
- HUSTRULID, W. **Open Pit Mine Planning & Design**. Edição 3, Vol 1. Rotterdam: Balkema, 2013. 295p.
- KOMATSU, **Komatsu 830E-AC Electric Drive Truck**, US, 2012. Disponível em: <https://www.komatsuamerica.com/equipment/trucks/electric/830e-1ac> . Acesso em: 12 fev. 2020.
- KOMATSU, **Komatsu 980E-4 Electric Drive Truck**, USA, 2016. Disponível em: < <https://www.komatsu.com.au/getattachment/c5aaabae-179a-4fe4-9aaf-b6aada4cea35/980E-4>>. Acesso em: 12 fev. 2020.
- LOPES, J. R. **Viabilização Técnica e Econômica da Lavra Contínua de Minério de Ferro com Uso de Sistema de Britagem Móvel “In Pit” Auto Propellido**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto, 2010. 90p.
- MORAIS, J. L. **Simulação da Fragmentação dos Desmontes de Rochas por Explosivos**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, 2004. 224p

- PEREIRA, B. I. **Seleção e Dimensionamento de Frota de Carregamento via Simulação Estudo de Caso Mina Ferro+ Mineração.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Minas), Universidade Federal de Ouro Preto, 2019. 82p.
- PINTO, E. B. **Despacho de Caminhões em Mineração Usando Lógica Nebulosa, Visando ao Atendimento Simultâneo de Políticas Excludentes.** Dissertação para Obtenção de Título de Mestre em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 108p.
- QUEVEDO, J. M. G.; DIALLO, M.; LUSTOSA, L. J. **Modelo de simulação para o sistema de carregamento e transporte em mina a céu aberto.** Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. 2009.
- RACIA, I. N. **Desenvolvimento de um Modelo de Dimensionamento de Equipamento de Escavação e de Transporte em Mineração.** Dissertação para Obtenção de Título de Mestre em Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016. 107p.
- RODRIGUES, L. F. **Análise comparativa de metodologias utilizadas no despacho de caminhões em minas a céu aberto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.
- RICARDO, H. S; CATALANI, G. **Manual Prático de Escavação: Terraplenagem e Escavação de Rocha.** 3. ed. São Paulo: PINI, 2007. 656 p.
- SOUSA, M. L. **O uso de Sistemas de Automação para Gestão do Processo de Carga e Transporte na Mineração: Proposta de um Modelo para Gestão de Mina /** Marcelo Loli de Sousa -- Belém-PA, 2017.
- TEIXEIRA, L. A. C. **Caracterização de Payloads via Telemetria.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016. 83p.
- TRUEMAN, E. **In Pit Crushing: The Application and Benefits os Track Mounted Crushing Equipment.** In: Goldfields Mining Expo. Western Australia, 2001. 26p. In: National Seminar on New Trends in Cost Effective Iron Ore Mining. Noamundi, Bhar, Índia. 2001. 27p.