

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS**

**LUCAS AUGUSTO COSTA TEIXEIRA**

**CARACTERIZAÇÃO DE *PAYLOADS* VIA TELEMETRIA**

**PORTO ALEGRE  
2016**

**LUCAS AUGUSTO COSTA TEIXEIRA**

**CARACTERIZAÇÃO DE *PAYLOADS* VIA TELEMETRIA**

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia.**

**Orientador: Prof. Dr. Jair Carlos Koppe**

**PORTO ALEGRE  
2016**

**LUCAS AUGUSTO COSTA TEIXEIRA**

**CARACTERIZAÇÃO DE PAYLOADS VIA TELEMETRIA**

**Esta dissertação foi analisada e julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.**

**Aprovado em: 19/12/2016**

**Prof. Dr. Jair Carlos Koppe**

---

**Nome do Prof. Orientador**

**Prof. Dr. Carlos Pérez Bergmann**

---

**Nome do Prof. Coordenador**

**BANCA EXAMINADORA:**

**Prof. Dr. Enrique Munaretti – DEMIN/UFRGS**

**Prof. Dr. Jorge Dariano Gavronski – DEMIN/UFRGS**

**Prof. Dr. Raul Oliveira Neto - UNIPAMPA**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta conquista aos meus pais que sempre me apoiaram e incentivaram a estudar, buscar novos conhecimentos e acreditar em um futuro melhor.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela minha saúde e força cedida nesta jornada. Aos meus pais pela excelente educação e paciência nos momentos difíceis. A minha querida esposa pela compreensão e torcida. A minha filha pela doçura e carinho.

Sou agradecido também pela total ajuda desprendida pelo meu professor orientador e pela oportunidade oferecida pela empresa Vale. S.A.

*“O correr da vida embrulha tudo...  
A vida é assim: esquenta e esfria,  
aperta e daí afrouxa,  
sossega e depois desinquieta.  
O que ela quer da gente é coragem!”*

Guimarães Rosa

## RESUMO

O preço atual do minério de ferro obrigou as empresas a reduzirem os custos operacionais na fase mina. O carregamento e transporte de materiais com utilização de escavadeiras e caminhões grande porte representam grande parcela do custo total, particularmente com pneus, diesel, manutenção e mão de obra. Metas de movimentação anual são divididas durante os meses e as condições climáticas podem influenciar na produtividade e desempenho dos equipamentos. O banco de dados da movimentação mensal está condicionado com a capacidade de cada caminhão. Cada frota possui o payload característico e este representa a capacidade de transporte, sendo o valor da massa transportada o único parâmetro extraído em cada ciclo, sem considerar o posicionamento do material sobre a caçamba dos equipamentos. Forças de cisalhamento e torção são aplicadas constantemente no chassi e pneus dos caminhões e, quando as cargas estão descentralizadas, potencializam estes eventos. O transporte de cargas descentralizadas agride os pneus diminuindo a vida útil causando danos como deslocamento da banda de rodagem e separação do flanco. Este trabalho teve como objetivo diminuir as ocorrências de cargas descentralizadas e os custos operacionais. Para incrementar o posicionamento do material sobre as caçambas, a telemetria foi a ferramenta utilizada. Análises de pressões de suspensões indicam o posicionamento das cargas e através desses valores foi criado um banco de dados. Este banco de dados pode indicar qual operador de carga precisa de reciclagem, contribuindo para a redução de cargas descentralizadas e custos, uma vez que cargas deste perfil sucateiam precocemente pneus e suspensões. O estudo foi realizado em Itabira, em uma mina de minério de ferro a céu aberto. A metodologia comprovou ser capaz diminuir as ocorrências de cargas descentralizadas assim como aumentar a vida útil de pneus. Uma possível economia foi apresentada para ano de 2014, período em que a média das horas trabalhadas de pneus ficou abaixo da meta aumentando os custos fase mina.

Palavras-chave: Carregamento e transporte. Caminhões grande porte. Cargas descentralizadas. Custos de mineração. Pneus.

## ABSTRACT

The actual iron ore price forces the companies to reduce costs in all production steps of the mining operation. Loading and hauling materials using shovel-truck system represents the highest mining costs, particularly tires, diesel, maintenance and workforce. Annual goals of materials movement are split by months were weather conditions can affect productivity and performance of the fleet. The data file of the monthly material movement is based on the scale of each truck. Every fleet has a payload and it represents the capacity of hauling, being the value of loading a unique input extracted in each duty cycle, without taking into account the position of the material over the truck's dump. Shear forces and torsion are applied all time at the frames trucks and, when the truckloads are unbalanced, increases the forces over the frame and tires. Transport unbalanced truckloads into long distances attack the tires and decrease its end of life, causing damages like displacement of tread and flank separation. The objective of this study is to propose a methodology to decrease unbalanced truck loads reducing the mining costs. In this mission of incorporating a material position on the truck's dump, the telemetry was taking into consideration. The analysis of the suspension pressures data values shows the truckloads positions and with this data was created a databank. This databank indicates that the operators need truck load training to reduce unbalanced loads and truck costs in the mining operation, since unbalanced loads leads to early tires and suspensions scrap. The case study was carried out at Itabira Iron Ore Mine Complex, Brazil. This methodology was able to reduce the number of unbalanced truck loads as well as the tires life was increased. An economic saving estimate is presented based on 2014 scrapped tires data bank, in this year the tires life cycle was underneath, burdening operational costs.

Key-words: Load and haul. Off road trucks. Unbalanced truckloads. Mining costs. Off road tires.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Imagem de carga descentralizada de itabirito .....	16
Figura 2 - Distribuição dos custos na fase operação de mina.....	18
Figura 3 - Imagem da correta distribuição de carga sobre caminhão .....	22
Figura 4 - Interferência entre os dois primeiros cones de cargas realizadas sobre a caçamba .....	23
Figura 5 - Posicionamento correto para operação com escavadeira tipo <i>shovel</i> a cabo .	24
Figura 6 - Possível ponto de referência adotado para realização do restante .....	25
Figura 7 - Referência utilizada durante carregamento para centralização das cargas ....	25
Figura 8 - Posicionamento das cargas sobre o caminhão .....	26
Figura 9 - Exemplo de escavadeira tipo <i>shovel</i> a cabo.....	27
Figura 10 - Escavadeira a cabo – estrutura de roldanas com cabos de aço .....	28
Figura 11 - Sequência de lavra realizada por uma <i>shovel</i> hidráulica .....	29
Figura 12 - Exemplo de limpeza de pé da bancada em rampa com uma escavadeira tipo <i>shovel</i> hidráulica – encosto de caminhões em aclave. ....	30
Figura 13 - Comparação entre condições de lavra aceitáveis para pá carregadeira e ....	31
Figura 14 - Lavra em piso irregular com pá carregadeira .....	32
Figura 15 - Ilustração da relação entre os valores das pressões das suspensões para rack .....	33
Figura 16 - Ilustração da relação entre os valores das pressões das suspensões para <i>pitch</i> .....	34
Figura 17 - Ilustração da relação entre os valores das pressões das suspensões para <i>roll</i> .....	36
Figura 18 - Leitura de pressões de suspensões de um caminhão em operação .....	37
Figura 19 - Exemplo de posicionamento de carga registrado por câmera de leitura.....	38
Figura 20 - Estrutura funcional de um sistema de telemetria .....	39
Figura 21 - Apresentação da tela do sistema <i>Minecare – Modular System</i> .....	41
Figura 22 - Especificações operacionais Cat 793 D .....	42

Figura 23 - Especificações operacionais Cat 793 D .....	43
Figura 24 - Divisão das etapas construtivas de uma típica estrada de mina.....	44
Figura 25 - Layout de estrada de mina mostrando fortes raios de curvatura em rampas	46
Figura 26 - Trincas no flanco de pneus devido a operação com baixa pressão.....	47
Figura 27 - Ciclo de trabalho de um pneu .....	48
Figura 28 - Resumo dos fatores que influenciam na longevidade dos pneus.....	50
Figura 29 - Exemplo de cálculo do TKPH operacional.....	51
Figura 30 - Exemplo da tela demonstrativa dos dados do MEMS .....	52
Figura 31 - Carcaça típica de um pneu .....	54
Figura 32 - Situação de encontro entre caminhões em pista estreita.....	55
Figura 33 - Apresentação do dano – corte inicial com evolução no flanco do pneu.....	56
Figura 34 - Pista de rolamento de acesso à praça de carregamento .....	57
Figura 35 - Exemplo de flexão no pneu dianteiro esquerdo em pista irregular.....	58
Figura 36 - Corte transversal de um pneu expondo o deslocamento térmico entre lonas .....	59
Figura 37 - Localização das britagens do Complexo Itabira .....	60
Figura 38 - Ponto 1 de monitoramento de cargas de ROM. Foto aérea e imagem gráfica do despacho .....	61
Figura 39 - Ponto 2 de monitoramento de cargas de ROM. Foto aérea e imagem gráfica do despacho .....	62
Figura 40 - Ponto 3 de monitoramento de cargas de ROM. Foto aérea e imagem gráfica do despacho .....	62
Figura 41 - Modelo de tendência criada no sistema Minecare para leitura dos parâmetros de interesse .....	63
Figura 42 - Exemplo de alarmes gerados de cargas descentralizadas – Minecare .....	64
Figura 43 - Registro das suspensões traseiras de uma carga centrada.....	64
Figura 44 - Registro das pressões de suspensões de uma carga descentralizada para direita.....	65

Figura 45 - Registro das pressões de suspensões de uma carga descentralizada para esquerda .....	66
Figura 46 - Exemplo de parâmetros armazenados no banco de dados .....	66
Figura 47 - Sequência para realização da manobra .....	68
Figura 48 - Sequência proposta para carregamento do ROM .....	69
Figura 49 - Diferença entre volumes formados entre o ROM (esquerda) e o estéril (direita) .....	70
Figura 50 - Informativo da operação de mina .....	71
Figura 51 - Evolução das ocorrências de cargas descentralizadas .....	73
Figura 52 - Plano de lavra da EM2970 mostrando ponto de estreitamento .....	74
Figura 53 - Evolução de cargas descentralizadas da operação com a EM2970 .....	74

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Total de massa ofertada nas britagens e porcentagem de cargas descentralizadas .....	72
Tabela 2: Relação entre sobrecarga e redução da longevidade de pneus .....	76
Tabela 3: Distribuição da sobrecarga sobre os eixos do caminhão .....	76

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 IMPORTÂNCIA E JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	17
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	20
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	21
2.1 CARREGAMENTO – <i>PAYLOAD</i> E PRODUTIVIDADE .....	21
2.2 MANOBRA E CENTRALIZAÇÃO DE CARGAS .....	24
2.3 CARACTERÍSTICAS DO CARREGAMENTO.....	26
2.3.1 ESCAVADEIRA SHOVEL A CABO.....	26
2.3.2 ESCAVADEIRA TIPO SHOVEL HIDRÁULICA .....	28
2.3.3 PÁ CARREGADEIRA .....	30
2.4 DETERMINAÇÃO DOS KPI'S .....	32
2.4.1 <i>RACK</i> - Torção.....	32
2.4.2 <i>PITCH</i> – Diferença entre eixos .....	34
2.4.3 <i>ROLL</i> – DIFERENÇA LATERAL .....	35
2.5 O USO DA TELEMETRIA.....	38
2.6 MINECARE – SOFTWARE DE ANÁLISE.....	40
2.7 O CAMINHÃO CATERPILLAR 793 D.....	42
2.8 ESTRADA DE MINA .....	43
2.9 PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DE PNEUS.....	47
2.9.1 PRESSÃO DE ENCHIMENTO .....	47
2.9.2 TEMPERATURA DE OPERAÇÃO .....	48
2.9.3 DISTÂNCIA MÉDIA DE TRANSPORTE E VELOCIDADE.....	49
2.9.4 TKPH .....	50
2.10 PRINCIPAIS CAUSAS DE DETERIOZAÇÃO DE PNEUS.....	53
2.10.1 CORTE.....	53

2.10.2 TRINCAS.....	55
2.10.3 DESLOCAMENTO E SEPARAÇÃO .....	57
3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO - METODOLOGIA .....	60
3.1 ESCOLHA DA ROTA – CICLO DE TRANSPORTE .....	60
3.2 CRIAÇÃO DE REGRA NO SISTEMA MINECARE.....	63
3.3 COMPARAÇÃO ENTRE <i>PAYLOADS</i> – VERIFICAÇÃO DA TEORIA .....	64
3.4 CRIAÇÃO DO BANCO DE DADOS.....	66
3.5 PLANO DE AÇÃO PROPOSTO .....	67
3.5.1 MELHORIA NA MANOBRA DOS CAMINHÕES.....	67
3.5.2 ESTUDO DO CARREGAMENTO .....	68
3.5.3 DIVULGAÇÃO PARA AS EQUIPES .....	70
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	72
4.1 ESTUDO DO MÊS DE OUTUBRO .....	73
4.2 ESTIMATIVAS DE GANHO – REDUÇÃO DE GASTO COM PNEUS .....	75
5. CONCLUSÃO.....	80
REFERÊNCIAS .....	82

## 1 INTRODUÇÃO

O controle dos custos na fase de carregamento e transporte, assim como em toda a cadeia produtiva, tornou-se muito importante em um período de baixo valor de mercado das commodities em classe mundial. Em minas de alta produção, onde a prática comum de movimentação de materiais é realizada por escavadeiras e caminhões de grande porte, podemos citar como importante parcela do custo o gasto com pneus, componentes, suspensões e reforma de chassis de caminhões danificados por trincas. (CHAMANARA, 2013).

Nesse contexto, uma prática comum para o controle dos custos na fase de transporte e para cumprir os orçamentos gerenciais é a definição de horas trabalhadas que os pneus utilizados devem atingir. Este patamar a ser atingido de horas trabalhadas é importante, pois, juntamente com diesel, os pneus OTR (*off the road*) somam grande parcela dos insumos na fase mina. A definição dessas metas de atingimento pela empresa detentora da operação e entre os fornecedores deve ser repassada para todos os colaboradores envolvidos, o que propõe desafios e planos de ação para o alcance dos objetivos, dentre eles, a minimização de custos com insumos.

Diante disso, o consumo de pneus em uma mina a céu aberto está diretamente ligado às condições de operação às quais eles estão submetidos. As características de cada mina contemplam o tipo de material utilizado na construção das estradas, tais como granulometria e abrasividade. Em períodos de chuva, e com as características mineralógicas da camada de material utilizado superficialmente para acabamento dos acessos, encontramos condições mais propícias para corte e desgaste da banda de rodagem. Além disso, cargas mal centradas e pneus em operação com baixa pressão levam ao deslocamento ou à separação das camadas internas dos pneus por aquecimento de suas estruturas internas. (MICHELIN, 2012).

Um fator importante que deve ser levado em consideração durante a especificação de pneus de produção é o TKPH (*ton kilometer per hour*). Para o cálculo deste fator, três variáveis devem ser consideradas: a distância percorrida, a carga transportada e a velocidade média praticada.

Assim, para a especificação deste parâmetro, deve-se admitir que o material transportado durante os ciclos esteja uniformemente distribuído sob a estrutura do

caminhão. A correta centralização da carga sob a caçamba do caminhão apresenta sua importância neste ponto, na garantia que cada pneu esteja transportando uma carga aproximada de sua capacidade máxima, sem que ocorram prejuízos à produção. Caso grandes quantidades de cargas descentralizadas sejam submetidas a um conjunto de pneus em ciclos constantes, estes estarão submetidos a condições mais severas, o que diminui a sua vida útil. A Figura 1 evidencia uma carga descentralizada.

Figura 1: Imagem de carga descentralizada de itabirito



Fonte: Dados da pesquisa.

Destaca-se que a busca pela centralização de cargas envolve um amplo estudo, o qual se inicia no treinamento de operadores e estende-se ao entendimento das condições de lavra e também dos diversos perfis de operação, tais como *match* entre frotas e horários de trabalho (revezamento de turno). O carregamento diferenciado existente entre a pá mecânica, as escavadeiras hidráulicas tipo *shovel* e a cabo devem ser analisados. A diferença de densidade entre o ROM (no presente estudo hematitas e itabiritos) e o estéril (gnaisse, xistos intemperizados e compactos, solo e argila) conferem diferentes volumes, os quais devem ser tratados individualmente durante o carregamento.

Não se pode deixar de incluir os riscos que as pessoas estão expostas em operações deste perfil. Tratando-se de pneus OTR, estes podem ser considerados como vasos de alta pressão e as condições operacionais em que são submetidos devem ser monitoradas para minimizar estes efeitos. Assim, acidentes envolvendo estouro de pneus de grande porte geralmente trazem graves consequências, podendo ocasionar sérias lesões e até mesmo óbito.

Cabe ressaltar que dados de temperatura e pressão são dois itens de extrema importância a serem controlados. Softwares que usam a telemetria, tal como o MEMS da fabricante de pneus Michelin, transmitem esses valores em tempo real e, aliado ao sistema de Despacho da mina, enviam o equipamento para a manutenção de pneus para os devidos ajustes, como tempo de parada para resfriamento e calibração. (MICHELIN, 2012).

Uma vez que o consumo de pneus em minas de grande porte representa um alto custo de operação, todas as condições em que são submetidos devem ser levadas em consideração para a especificação correta e estimativa de orçamentos gerenciais. Sendo assim, o controle da centralização de cargas sob a caçamba de caminhões, além de fazer parte de índices de treinamento de novos operadores e reciclagem para os veteranos, adicionam mais parâmetros pela criação de banco de dados, possibilitando análises históricas e comparação entre perfis de carregamento.

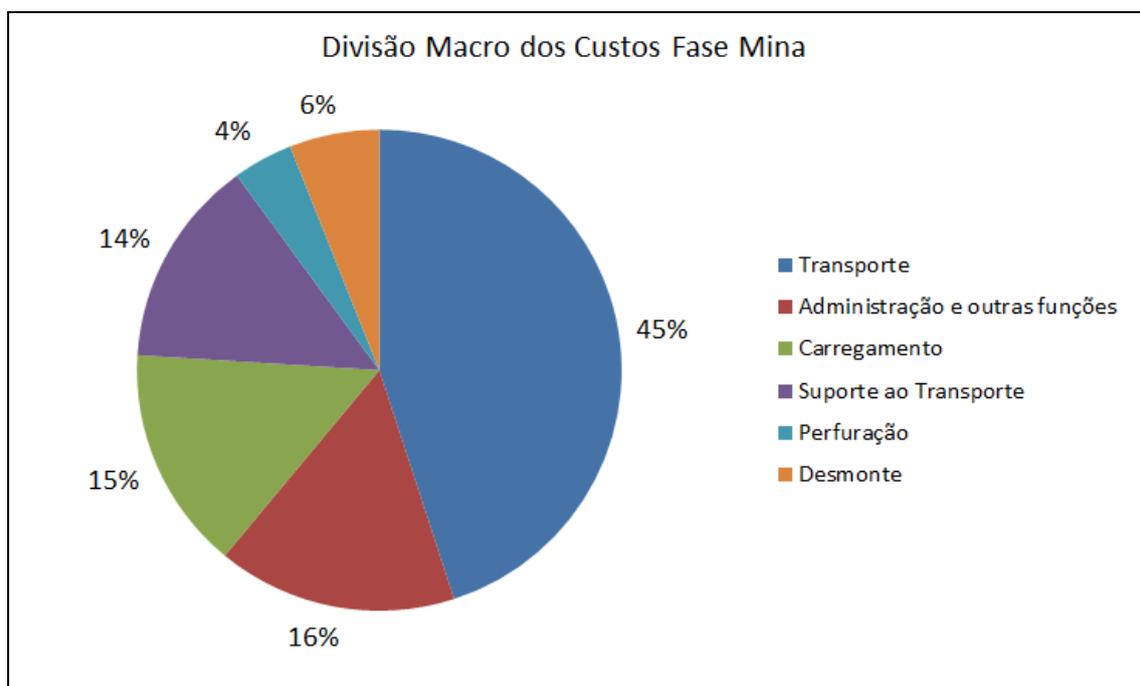
Diante disso, é importante mencionar que esta pesquisa fundamenta-se nas análises do perfil de carregamento e transporte de ROM do Complexo Itabira, da Mineradora Vale S.A. com o intuito de expor a importância da centralização de cargas no aumento da vida útil de pneus de grande porte.

## 1.1 IMPORTÂNCIA E JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Tratando-se da indústria de mineração, onde o principal objetivo é o fornecimento de matérias primas para as demais atividades, a competitividade e a sobrevivência nos momentos de crise estão diretamente ligadas à capacidade de redução do custo de produção, uma vez que os preços das commodities são de controle global.

Assim, explicitado o contexto atual, na fase operação de mina pode-se, resumidamente, ter a seguinte distribuição dos custos (Figura 2):

Figura 2 - Distribuição dos custos na fase operação de mina



Fonte: CATERPILLAR, 2013 (Adaptado).

A Figura 2 revela que o transporte de materiais representa aproximadamente 45% dos custos totais. Inserido nessa atividade, pode-se citar o consumo de diesel e de pneus como sendo os principais insumos necessários nesta etapa.

Portanto, conhecer e descrever os principais parâmetros de operação é de extrema importância para compreendermos as principais causas de sucateamento ou de retirada precoce de pneus em operação. Sendo assim, podem-se citar alguns:

- Pressão de inflação e operação;
- Temperatura;
- Condições dos acesos – presença de blocos, ondulações, sub e sobre- elevação das vias;
- Velocidade de transporte;
- Distância média percorrida por ciclo;
- Centralização da carga sobre a caçamba dos caminhões.

Além disso, a longevidade dos pneus em mineração torna-se duplamente importante, pois, além de participar com grande parcela do custo fase mina, ela diminui

a geração de resíduos de grande potencial – sucatas após a retirada, ora por terem atingido as horas trabalhadas ou por sucateamento precoce dos pneus.

Esta preocupação em aumento da vida útil de pneus e atingimento dos valores preestabelecidos pelo fabricante e operações se tornam ambientalmente importantes pelo quantitativo de unidades descartado em minerações grande porte. A necessidade de compra de novos pneus além de onerar os custos implica na demanda maior de um componente que após o descarte se torna um problema ambiental e muitas das vezes não são reciclados de forma correta.

Cabe frisar que a última causa mencionada anteriormente, qual seja, a centralização das cargas sobre as caçambas dos caminhões, é a variável de estudo do presente trabalho. Desse modo, esse item torna-se importante, uma vez que influencia negativamente todos os outros fatores citados. Além disso, as demais causas de sucateamento de pneus são agravadas quando cargas mal centradas são transportadas, a depender da distância de transporte e das condições de operação, pode-se sucatar um pneu com poucos ciclos de trabalho (CHAMANARA, 2013).

Tendo em vista que a prática atual das minerações é a de apenas extrair os dados de balança de caminhões para compor o total de movimentação no final de cada mês, ano, ou outro período de tempo de interesse, este trabalho justifica-se porque pretende expor uma metodologia para registrar a distribuição de cargas sobre as caçambas dos caminhões e, também, criar um banco de dados com estes registros.

Esse banco de dados contemplará algumas informações que descrevem bem o perfil da lavra, tais como:

- Escavadeira/carregadeira que realizou o carregamento;
- Banco de operação – largura e condições da praça de manobra poderão ser consultadas;
- Material escavado e transportado – estéril ou minério;
- Qual operador estava na máquina;
- Qual distância transportada;
- Tempo de ciclo;
- O horário do dia (para operações constantes dia e noite) e as cargas que acontecem com mais frequência;
- Recorrência de transporte de cargas por caminhão.

Assim, após analisar as informações acima, podem ser criados, mensalmente, relatórios que mostram a evolução dos operadores, a preferência de local de ocorrências, o material mais frequente, o tempo de ciclo e a frequência que cada pneu sofreu com cargas mal centradas. Isso pode auxiliar a inferir o quão prejudicial é o transporte destas cargas na vida útil dos pneus e criar uma gestão mais precisa de treinamentos para equipe de instrução de equipamentos.

## 1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

O presente trabalho apresenta como objetivo geral a formulação de uma metodologia para a o registro da distribuição de cargas sobre as caçambas dos caminhões e a criação de um banco de dados com parâmetros de posicionamento de cargas com uso de telemetria.

E, como objetivos específicos, pretende-se:

- Diminuir as ocorrências de cargas descentralizadas no Complexo Itabira;
- Estimar uma possível economia no consumo de pneus com aumento das horas trabalhadas e melhoria na incidência de cargas descentralizadas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentada a fundamentação teórica que norteou essa pesquisa.

### 2.1 CARREGAMENTO – *PAYLOAD* E PRODUTIVIDADE

A capacidade de carga dos caminhões é considerada um dos itens principais na escolha da frota a ser adotada para atendimento das necessidades da operação de mina, uma vez que está diretamente ligada ao porte dos equipamentos que influenciarão no planejamento de lavra. Nesse quadro, chamamos de capacidade de carga ou *payload* da frota de transporte a quantidade de massa (em toneladas) que os equipamentos de transporte levam por ciclo. O conjunto destes valores nas operações mineiras recebe o nome de carga média e entra no cálculo de produtividade dos equipamentos sendo de fundamental importância nos orçamentos mensais das empresas de mineração. (ATKINSON, 1992, p. 1312).

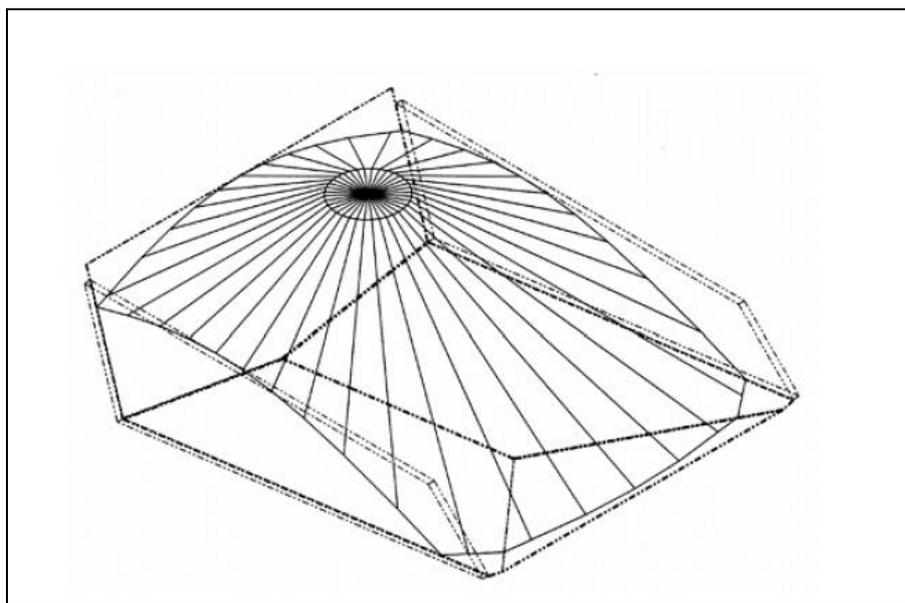
Assim como a carga média, as velocidades alcançadas por ciclo são fatores determinantes no alcance da produtividade dos caminhões, pois quando liberados das frentes de lavra com pouco material sobre as caçambas, eles perdem produtividade e, quando mal posicionadas, influenciam no conforto durante o traslado do equipamento forçando os operadores a diminuir a velocidade para não absorverem os impactos durante o transporte (CHAMANARA, 2013).

A correta centralização das cargas sobre as caçambas dos caminhões é de responsabilidade dos operadores de carga, e, como o posicionamento ou a forma como é conduzida a manobra (encosto) dos caminhões influenciará na concepção de uma carga centralizada, isso também deve ser verificado.

Desse modo, quando a manobra do caminhão é realizada de forma errônea e ele fica mal posicionado para receber o carregamento, o escavadeirista ou operador da pá mecânica encontra maiores dificuldades em centrar a carga, exigindo maior grau de experiência ou, até mesmo, um aumento no tempo de carregamento devido à exigência de maior atenção nos passes necessários para o fechamento da massa estipulada por ciclo.

De modo geral, e possuindo o *match* correto entre as frotas de carregamento e o transporte, a finalização da carga é dada com quatro ou, no máximo, cinco passes e a posição de descarga passe a passe será determinante no posicionamento da massa alocada sobre a estrutura do caminhão. A Figura 3 evidencia, conforme Chamanara (2013), a correta distribuição de carga:

Figura 3 - Imagem da correta distribuição de carga sobre caminhão



Fonte: CHAMANARA, 2013.

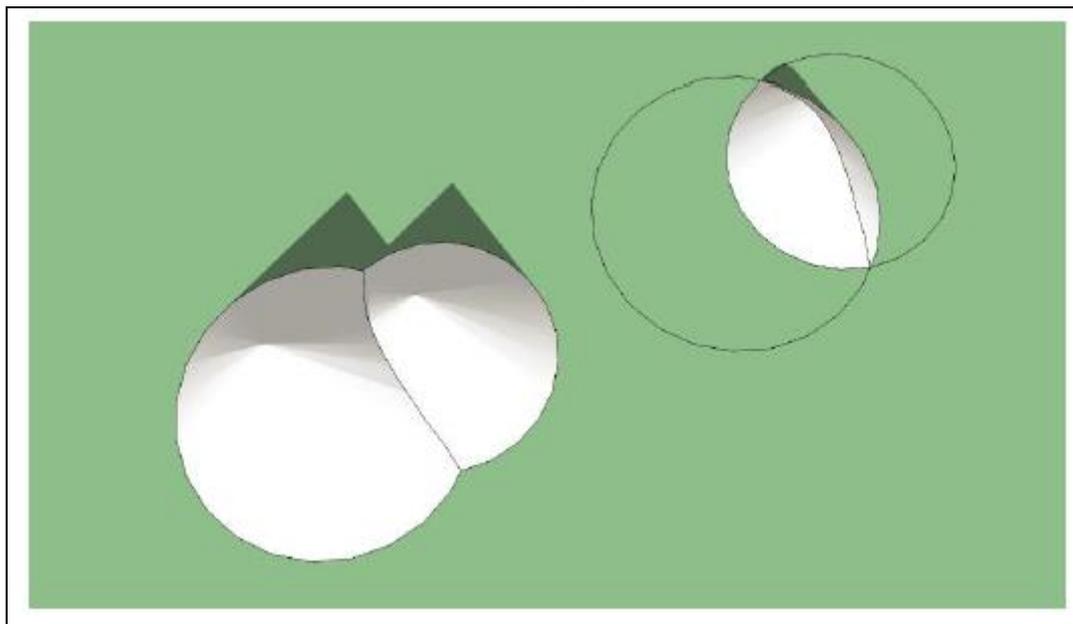
É comum encontrarmos em minas de minério de ferro mais de um tipo de equipamento de carga. Dentre eles, podemos citar:

- Escavadeira tipo *shovel* a cabo;
- Escavadeira tipo *shovel* hidráulica;
- Pá carregadeira.

E para cada tipo de máquina de carga encontramos diferentes formatos de caçambas, que por sua vez, irão influenciar na conformação final do cone de material alocado sobre as caçambas dos caminhões no término de cada carga.

Conforme Chamanara (2013), esta particularidade é importante devido à influência entre os cones formados passe a passe durante o carregamento. Como cada passe gera um cone sobre a caçamba do caminhão, pode haver interações de massa entre eles e, assim, isso pode modificar a conformação do volume total, conforme pode ser visto na Figura 4:

Figura 4 - Interferência entre os dois primeiros cones de cargas realizadas sobre a caçamba de um fora de estrada.



Fonte: CHAMANARA, 2013.

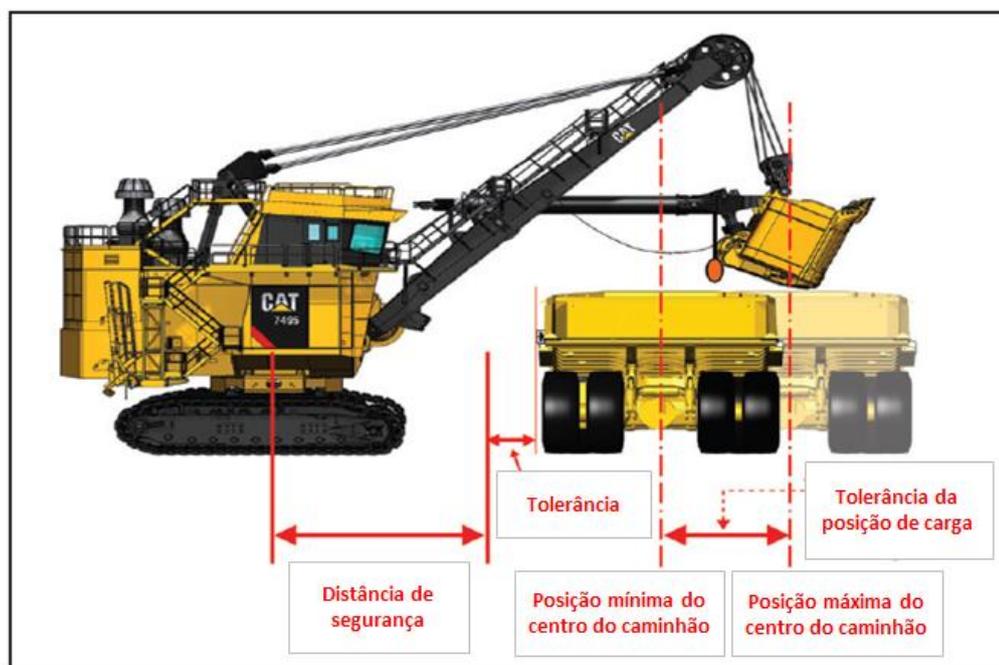
Portanto, a importância do conhecimento por parte do operador de máquinas de carga sobre qual posição deve se realizar o próximo passe, ou, qual a melhor posição deve despejar o material escavado passe a passe é determinante no posicionamento correto da carga final (CHAMANARA, 2013).

Além disso, como cada máquina possui uma particularidade e as frentes de mina são variáveis com os tipos de materiais (estéril e minério) com densidades diferentes, o volume gerado, também, influenciará, uma vez que os cones formados por aqueles mais densos são menores do que os materiais com menores densidades relativas.

## 2.2 MANOBRA E CENTRALIZAÇÃO DE CARGAS

Em relação à correta centralização de cargas na fase mina, pode-se afirmar que ela não depende apenas dos operadores de carga. É importante levar em consideração o espaço útil das frentes de lavra e observar as necessidades de área que cada frota demanda para uma correta operação. Ressalta-se que praças de carregamento com pouco espaço físico apresentam maiores dificuldades no encosto dos caminhões e forçam uma operação cautelosa na busca da centralização das cargas, podendo levar a um acréscimo no tempo de carregamento e assim perda na produtividade das frotas. A Figura 5 evidencia essa situação:

Figura 5 - Posicionamento correto para operação com escavadeira tipo *shovel* a cabo



Fonte: CATERPILLAR, 2013.

Ao iniciar a manobra, após visualizar a máquina de carga na frente de lavra, a locomoção é realizada em marcha ré e tem-se, neste momento, a parte mais importante para o encosto do caminhão, já que o operador admite um ponto de referência para se posicionar sob a caçamba da máquina de carga. Esse ponto de referência é, muitas vezes, pessoal e cada operador usa uma parte da máquina ou toma como base algum elemento do local. Um exemplo de possível ponto de referência adotado para realização do restante da manobra do caminhão é evidenciado na Figura 6.

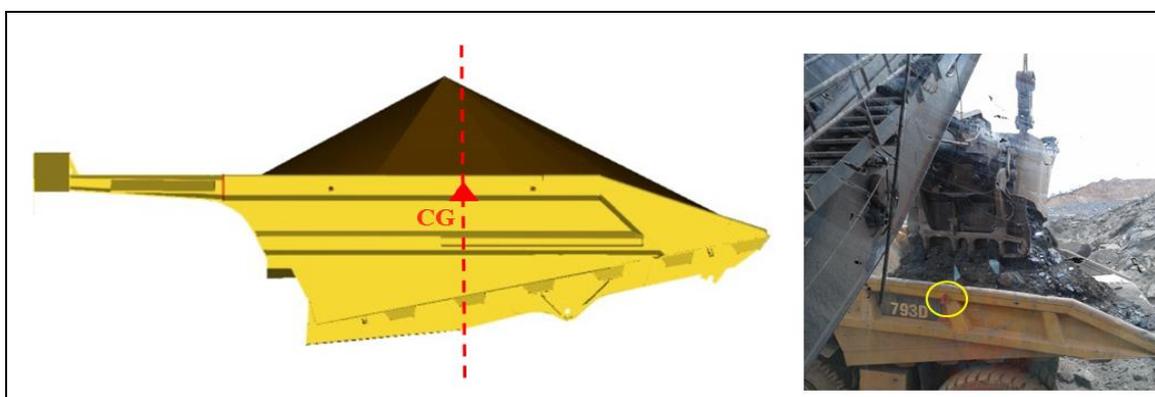
Figura 6 - Possível ponto de referência adotado para realização do restante da manobra do caminhão



Fonte: Dados da pesquisa.

Para os operadores de carga, é comum encontrarem nas caçambas dos caminhões a referência do centro de carga que deverá nortear a sequência de passes até o término do carregamento. Quando o material a ser carregado apresenta grande densidade e, por consequência, menor volume, a preocupação em alocar os passes um sobre outro aumenta, tornando o primeiro lote aquele de extrema importância na assertividade do carregamento. Esse ponto de referência pode ser visto na Figura 7:

Figura 7 - Referência utilizada durante carregamento para centralização das cargas



Fonte: Dados da pesquisa.

Todo este esforço despendido por ambos os operadores de carga e transporte para realizar uma boa manobra e para terem referências para o carregamento está no fato de que a influência de cargas mal centralizadas danifica não apenas a estrutura dos equipamentos, mas também atuam negativamente em suspensões e pneus. Isso é evidenciado pela Figura 8:

Figura 8 - Posicionamento das cargas sobre o caminhão



Fonte: Dados da pesquisa.

Quando transportamos cargas centralizadas, as forças estão bem distribuídas sobre o chassi e os demais componentes do caminhão, não havendo sobrepeso para nenhum componente. Caso não esteja centralizada, gastos com recuperação de chassi e riscos de acidente aumentam, pois a estabilidade do conjunto caminhão/carga fica desigual durante o transporte em rampas e raios de curvatura (CHAMANARA, 2013).

No próximo item deste capítulo serão descritas as diferentes características de cada tipo de máquina e suas particularidades de carregamento.

## 2.3 CARACTERÍSTICAS DO CARREGAMENTO

### 2.3.1 ESCAVADEIRA SHOVEL A CABO

As duas primeiras classes citadas no final do capítulo anterior são máquinas elétricas, de grande porte, com maiores capacidades de carga e que ficam fixas em frentes de lavra pelo fato de apresentarem baixa velocidade de locomoção e por necessitarem constantemente de atualização de rede elétrica para grandes locomoções.

Nesse contexto, a escavadeira tipo *shovel* a cabo é largamente utilizada em grandes minerações, tais como de cobre, de carvão e de minério de ferro. Isso acontece porque a relação entre custo operação versus manutenção é, nesse caso, a menor entre

elas e geralmente apresentam maiores valores de vida útil. A Figura 9 ilustra uma escavadeira tipo *shovel* a cabo em operação na mina de Itabira.

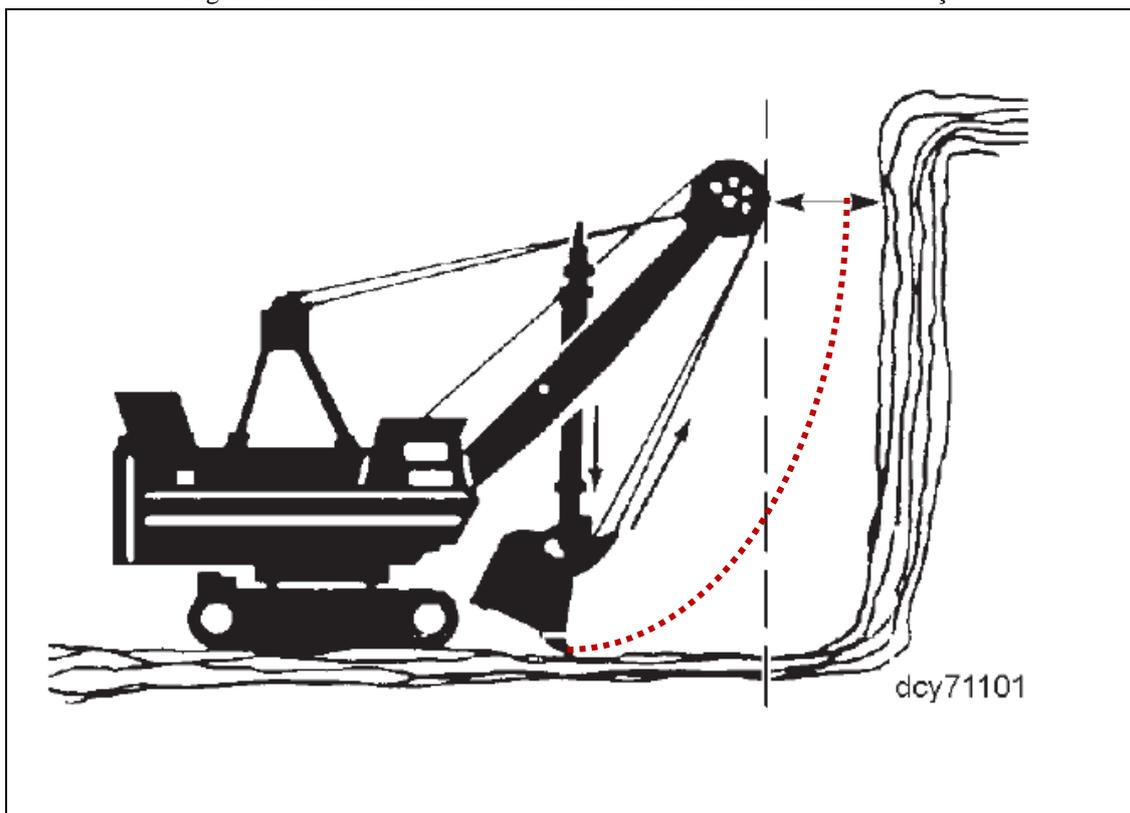
Figura 9 - Exemplo de escavadeira tipo *shovel* a cabo.



Fonte: Dados da pesquisa.

Por utilizarem sistema de roldanas acopladas a lanças e as forças aplicadas de escavação e elevação das estruturas da máquina serem através de cabos de aço, tem-se o nome *shovel* a cabo. Esta classe de equipamento possui grande força de escavação e essas escavadeiras podem ser utilizadas em bancadas com alturas de até 20m, apresentando grande produtividade quando em lavra com altura da massa desmontada satisfatória para enchimento total da caçamba. Ou seja, maior a bancada, maior a produtividade para este perfil de carregamento. A Figura 10 mostra uma escavadeira.

Figura 10 - Escavadeira a cabo – estrutura de roldanas com cabos de aço

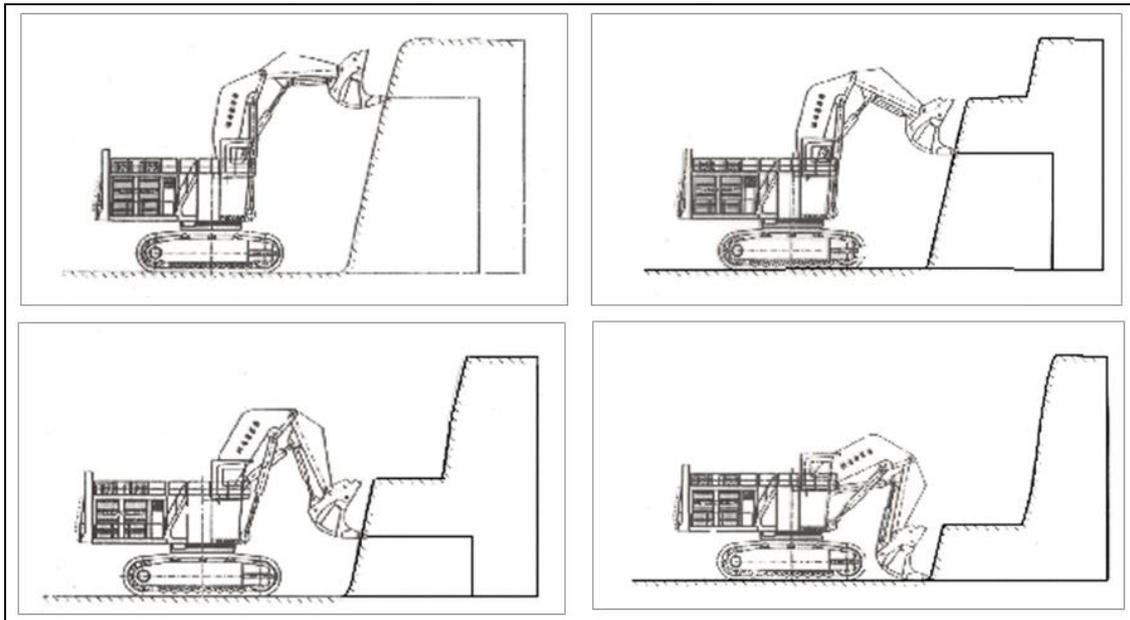


Fonte: BUCYRUS 295 HR MANUAL, 2000.

É importante destacar que a limitação para este tipo de máquina é o perfil de escavação. Já que possui uma linha fixa de ataque nas frentes de lavra isso limita o ângulo de recuo, formando em perfil um arco devido ao fato de o sistema ser a cabo e roldanas acopladas a lanças fixas. Como mostrado na figura acima, quando em desmonte mecânico (frentes de materiais friáveis), a atenção está na possível formação de ângulos negativos na face do banco, o que apresenta grande risco em minas a céu aberto.

### 2.3.2 ESCAVADEIRA TIPO SHOVEL HIDRÁULICA

Assim como citado para a escavadeira tipo *shovel* a cabo, a escavadeira hidráulica possui as mesmas características, porém com maior flexibilidade de escavação, podendo ser operada em ângulos mais agressivos (como em construções de rampas) e são habilitadas a realizarem acabamento nas cristas de talude, o que elimina o risco de formação de ângulos negativos, conforme evidenciado na Figura 11.

Figura 11 - Sequência de lavra realizada por uma *shovel* hidráulica

Fonte: KOMATSU PC5500 MANUAL, 2010.

Por apresentarem maior flexibilidade no sistema de escavação (hidráulico), a liberação do material sobre a estrutura dos caminhões também é mais branda e torna o carregamento mais suave e com maior possibilidade de acerto no carregamento e, na formação de cargas centralizadas.

O que se pode encontrar são frentes de lavra onde o encosto dos caminhões é prejudicado durante a manobra, pelo fato de escavarem em ângulos de pisos mais agressivos. Como citado anteriormente, isso ocorre no caso de confecção de rampas ou em locais com inclinação do terreno, como pode ser visto na Figura 12 a seguir.

Figura 12 - Exemplo de limpeza de pé da bancada em rampa com uma escavadeira tipo *shovel* hidráulica – encosto de caminhões em aclave.



Fonte: Dados da pesquisa.

Nestes casos específicos de lavra, é importante a orientação dos operadores de caminhão no que diz respeito ao posicionamento final da manobra para facilitar o carregamento. Apesar da orientação, os caminhões, ao se posicionarem para receberem carga, ficarão inclinados, o que deve ser compensado pelo escavadeirista.

Além disso, ao encostar o caminhão muito próximo à máquina de carga, a probabilidade de descarga sobre a caçamba do caminhão favorecendo algum lado é alta, e o mesmo ocorre quando a distância é aumentada. Portanto, o pedido por parte dos operadores de carga para a necessidade de se refazer a manobra torna-se importante quando o posicionamento final fica muito ruim. Assim, uma boa interação entre ambas as partes é fundamental neste processo.

### 2.3.3 PÁ CARREGADEIRA

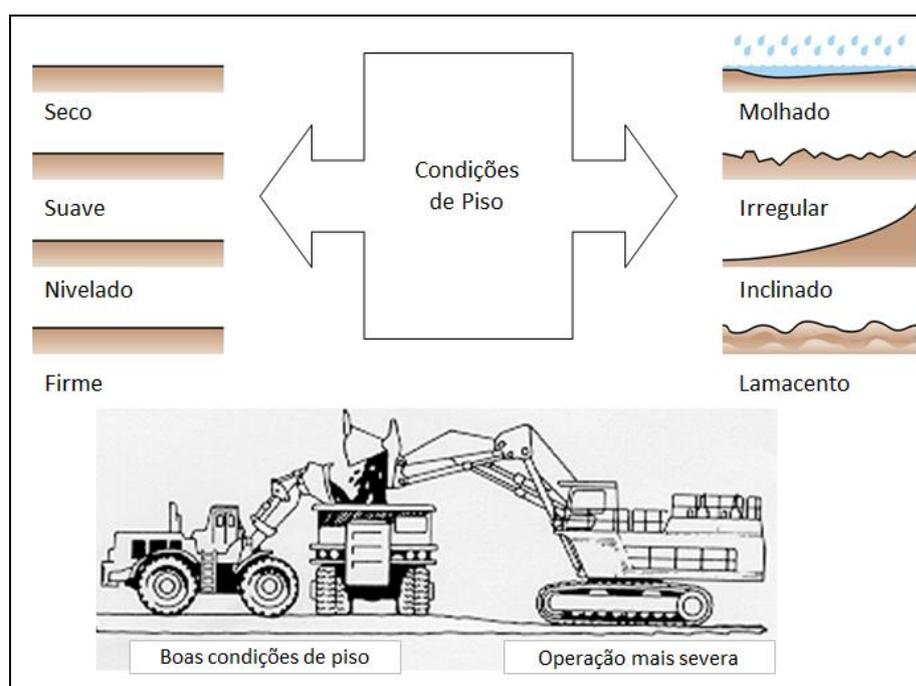
Em minerações de grande porte, como o caso do minério de ferro, é comum encontrarmos pás mecânicas em conjunto com as escavadeiras elétricas sobre esteiras. Como mencionado anteriormente, estas últimas ficam alocadas fixas em frentes de lavra

locomovendo-se apenas para necessidade de atendimento à área de cerco (cumprimento de distância de segurança nos desmontes – particularidade de cada mina/empresa) ou em pequenas locomoções para mudança de litologia, variando em frentes de ROM e estéril quando possível.

Desse modo, a relevância da utilização de pás mecânicas está em sua rápida locomoção, quando comparadas com as escavadeiras elétricas. O ajuste da qualidade do ROM ofertado depende deste tipo de equipamento. Quando há quebras de escavadeiras em frentes prioritárias ou em períodos de chuva, quando geralmente em minas a céu aberto é danificado os acessos e a oferta de minério direto das frentes de lavra é prejudicada, utilizam-se os estoques e a oferta é dada com as pás carregadeiras.

Quando comparada com as demais máquinas de carga, a pá carregadeira torna-se a opção mais cara por apresentar altos custos de operação e manutenção (equipamento que consome diesel e pneus, dois principais itens de consumo na mineração), seja de pequeno ou grande porte. Outra restrição é a característica das frentes de lavra passíveis de lavra com pá. Deve-se observar a resistência da frente escavada e as condições de piso, como demonstrado na Figura 13.

Figura 13 - Comparação entre condições de lavra aceitáveis para pá carregadeira e escavadeira tipo *shovel* hidráulica.



Fonte: Dados da pesquisa.

Tem-se na Figura 14, um exemplo de lavra de maior dificuldade em centralização de carga, já que é em piso irregular e com alta influência no posicionamento final da massa sobre a caçamba do equipamento:

Figura 14 - Lavra em piso irregular com pá carregadeira



Fonte: Dados da pesquisa.

Não apenas para a pá carregadeira, mas para os demais tipos de máquinas de carga, as condições de piso e de largura adequada nas frentes de lavra também influenciam no posicionamento das cargas. Praças estreitas que não comportam máquina e caminhão com as distâncias de segurança e também necessárias para a realização correta da manobra são itens críticos para a execução de cargas centralizadas.

## 2.4 DETERMINAÇÃO DOS KPI'S

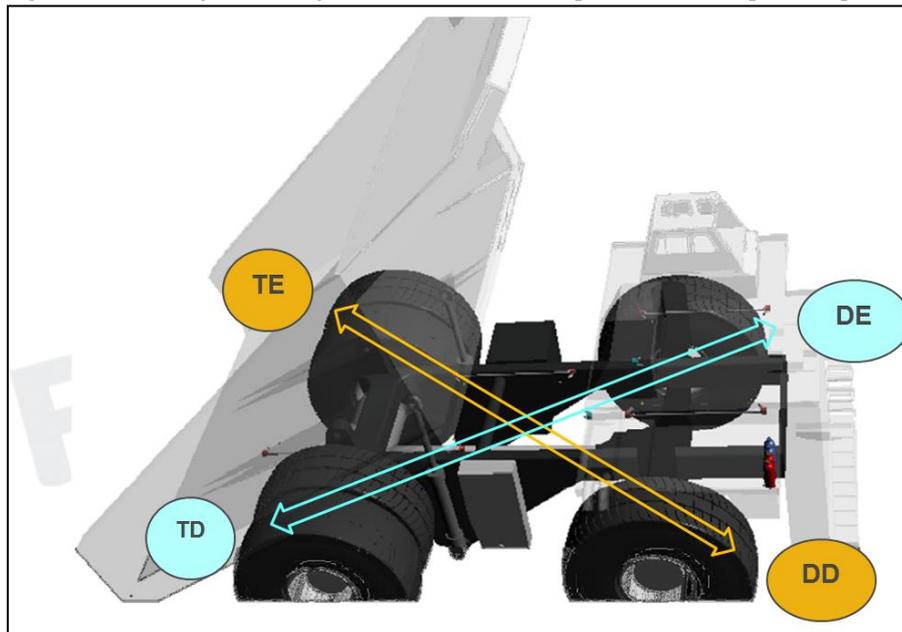
### 2.4.1 RACK - Torção

A definição deste primeiro indicador é força de torção, e em inglês é comum encontrarmos o termo *twisting (torsional) motion* para descrição de *rack*. Forças de torção aplicadas constantemente nas estruturas de caminhões levam a trincas e, com repetições potenciais, podem diminuir a vida útil dos equipamentos, sendo isto uma das

principais causas de quebras prematuras de componentes e chassis (CHAMANARA, 2013).

Admitindo-se que a suspensão dianteira direita e dianteira esquerda tem abreviatura de DD e DE, respectivamente, e que as traseiras são TD e TE, temos a Figura 15 como ilustração para *rack*.

Figura 15 - Ilustração da relação entre os valores das pressões das suspensões para *rack*



Fonte: Dados da pesquisa.

Então, podemos calcular o valor de *rack* como sendo:

$$\text{RACK} = (\text{DE} + \text{TD}) - (\text{DD} + \text{TE})$$

Como se busca cargas centralizadas e se pode calcular os valores para *rack* em cada ciclo de transporte, se espera encontrar valor nulo ou próximo de zero, refletindo, assim, pouca força de torção aplicada sobre o equipamento durante as horas de operação.

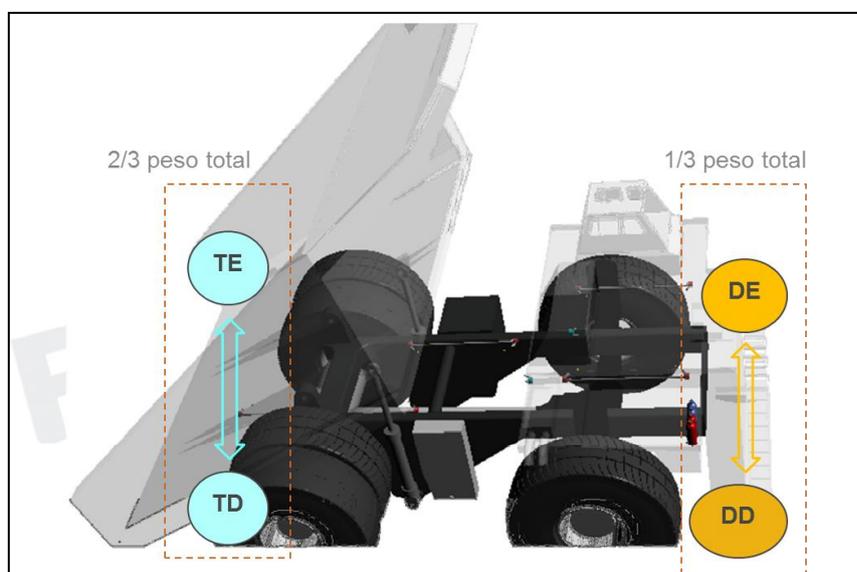
É importante destacar que forças de torção aplicadas constantemente nas estruturas dos equipamentos podem levar a trincas, ao sucateamento precoce de suspensões e ao aquecimento anormal de fluidos, como óleo de freio e de sistema de basculamento. Aliada ao movimento de rotação do conjunto de rodas causa danos aos

pneus com forças de arraste em curvas e em rampas, o que leva ao aquecimento anormal de seus constituintes (Teixeira, 2016).

#### 2.4.2 PITCH – Diferença entre eixos

Para *pitch*, o valor encontrado é igual à diferença entre eixos, subtraindo-se a somatória das pressões encontradas no eixo dianteiro pelos valores de ambas as suspensões traseiras, conforme evidencia a Figura 16.

Figura 16 - Ilustração da relação entre os valores das pressões das suspensões para *pitch*



Fonte: Dados da pesquisa.

Como regra geral, para cada pneu transportar ou suportar a mesma carga, a divisão do peso bruto total de operação deve ser 1/6 por pneu. Dessa forma, como o conjunto de pneus tem uma relação de um para dois, comparando os eixos dianteiro e traseiro, tem-se que 2/3 (67%) da carga centralizada é esperada no eixo traseiro e os restantes 1/3 (33%) sobre o eixo dianteiro.

Sendo assim, para o cálculo usa-se a seguinte expressão:

$$PITCH = (DE + DD) - (TE + TR)$$

Essa diferença entre eixos, quando a carga transportada está uniformemente distribuída sobre a estrutura do caminhão, é 1/3 negativo da somatória dos valores

encontrados em todas as quatro suspensões, o que demonstra que a carga entre eixos transversalmente está equilibrada (CHAMANARA, 2013).

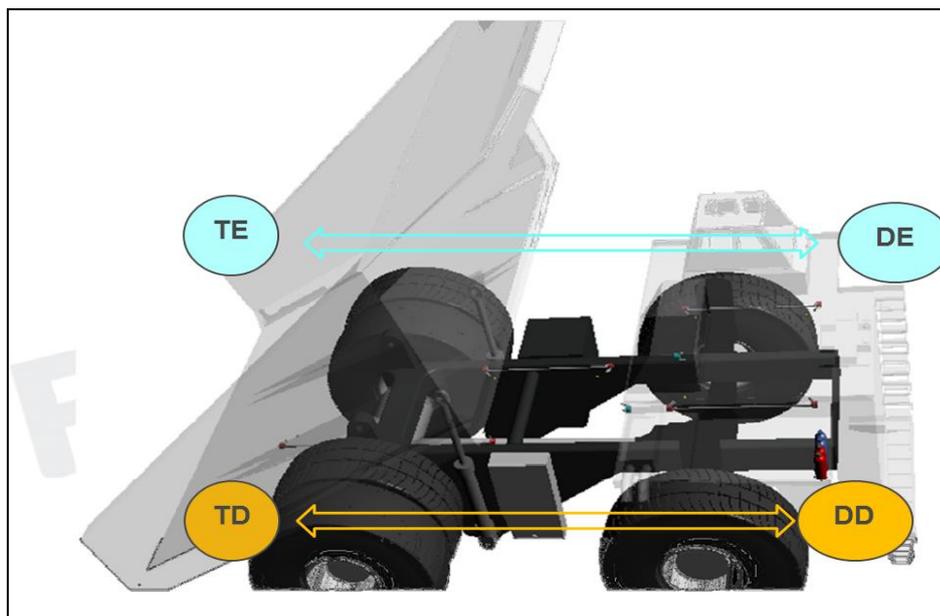
A estrutura preparada do caminhão CAT 793 D em estudo é a de transportar 33% do peso bruto sobre o eixo dianteiro. Cargas que estejam descompensadas e que sobrecarregam a dianteira levam a esforços maiores a esta parte do caminhão e ocasionam, também, um desconforto para o operador devido ao aumento da vibração do equipamento.

Nesse sentido, durante o percurso nos acessos de mina, ao se deparar com curvas, rotatórias e situações de pisos irregulares, a descentralização de cargas agrava as forças atuantes durante estas passagens e interfere na produtividade do equipamento, pois imprime a necessidade de redução de velocidade por parte do operador.

#### 2.4.3 *ROLL* – DIFERENÇA LATERAL

Completando os três KPI's para análise da centralização de cargas, tem-se o *roll (bias)*, entendido como a diferença da somatória das suspensões do lado direito pela somatória das suspensões do lado esquerdo. Este indicador reflete de forma direta o posicionamento de cargas devido à comparação entre as laterais, conforme evidencia a Figura 17.

Figura 17 - Ilustração da relação entre os valores das pressões das suspensões para *roll*



Fonte: Dados da pesquisa.

O cálculo de *roll* é feito da seguinte maneira:

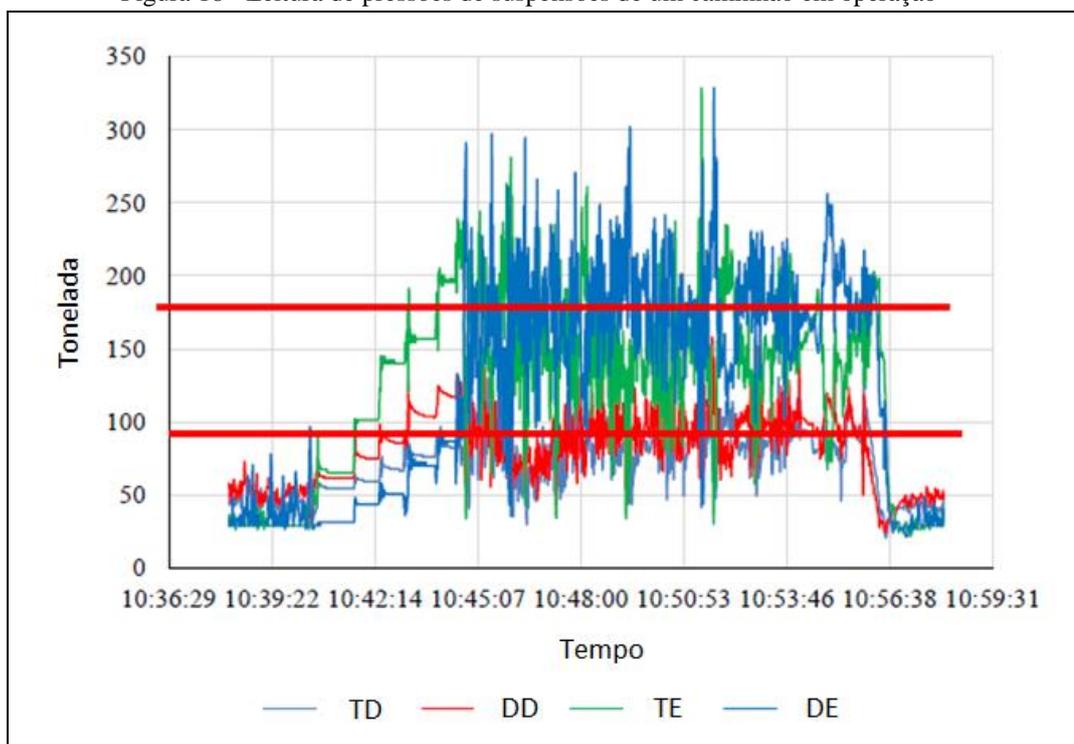
$$ROLL = (DE + TE) - (DD + TD)$$

Desse modo, pode-se concluir que, assim como para *rack* (torção), espera-se, também, para *roll* o valor nulo ou bem próximo a este patamar quando o volume de material transportado está bem distribuído sobre o caminhão. Sendo o valor de *roll* zero, isso reflete que a carga está uniformemente centralizada longitudinalmente e que as laterais do caminhão transportam a mesma massa.

Conforme Teixeira (2016), a centralização de cargas pode ser identificada por meio das análises dos três indicadores acima e possui grande importância pelo fato de ser o agravante das principais causas de sucateamento e redução de vida útil de pneus grande porte. O ideal é que cada pneu suporte, durante o transporte, o equivalente a 1/6 da carga total do equipamento (*tara* e *payload*). Desse modo, equipamentos alocados em longos percursos e com cargas descentralizadas penalizam não apenas a estrutura dos equipamentos, mas também os pares de pneus que estão suportando maior peso. Isso nos leva a entender esse fato como sendo uma sobrecarga para o pneu.

Chamanara (2013) em sua obra *Enhancing mine haul truck KPI's via payload balance* descreve como é possível comparar os dados de pressão de suspensões através da coleta de dados via telemetria e, em forma gráfica, expõe os valores no decorrer do tempo de um ciclo de transporte, como mostra a Figura 18.

Figura 18 - Leitura de pressões de suspensões de um caminhão em operação



Fonte: CHAMANARA, 2013.

A comparação visual entre as suspensões dianteiras e, também, entre as traseiras nos revela que as mesmas oscilam próximas a valores médios (linha de tendência evidenciada em vermelho), mas não distanciam muito entre os pares. Assim, seguindo a distribuição regular de carga, sendo  $2/3$  do total no eixo traseiro e o restante  $1/3$  sobre o eixo dianteiro para cargas centradas, esperamos sempre encontrar maiores valores de pressões sobre o par traseiro de suspensões dos caminhões.

Diante do exposto, para suprir o anseio da criação de um banco de dados que seja representativo da operação e que seja abastecido de informações automatizadas provenientes do campo e armazenadas a todo o momento da operação, é necessário buscar apoio da automação através uso da telemetria. Para tanto, o acompanhamento *online* de alguns ciclos da mina deverá ser realizado para a criação de parâmetros de comparação e verificação em campo. A automatização do sistema de coleta de dados, o

uso da telemetria com criação de regras de tendência torna-se uma ferramenta indispensável, a qual será discutida a seguir.

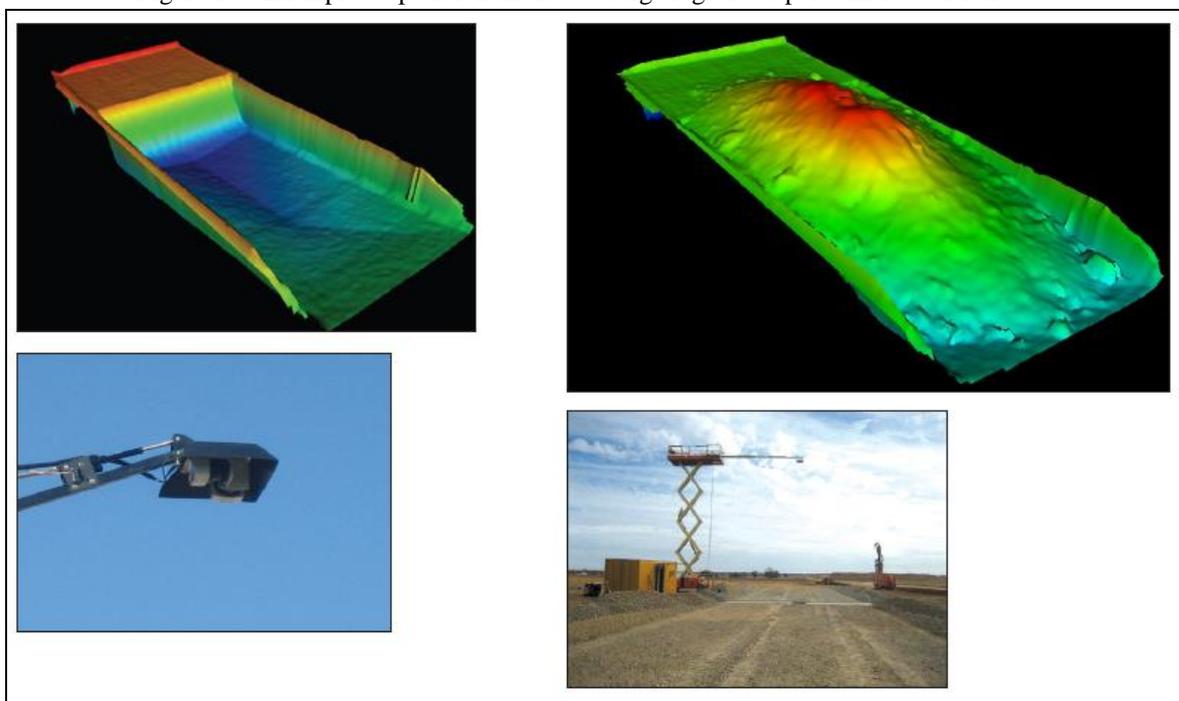
## 2.5 O USO DA TELEMETRIA

Uma maneira de se conhecer o posicionamento da massa escavada pelas máquinas de carga e alocada sobre as caçambas dos caminhões é a utilização de câmeras que registram as suas imagens e fazem a contagem durante as operações. Nesse quadro, a dificuldade encontrada nessa metodologia é a necessidade de instalação em todas as saídas de praças de carregamento ou nas entradas dos pontos de basculamento (praças de pilhas de estéreis ou britagem).

Além disso, sabem-se que o ambiente externo das minas é agressivo pelas condições impostas pelas intempéries e, muitas vezes, os locais não oferecem condições de instalação para os equipamentos de filmagem, bem como para a transmissão de dados, que se torna complicada por diversos aspectos.

A Figura 19 exemplifica o uso deste tipo de câmera e o resultado obtido.

Figura 19 - Exemplo de posicionamento de carga registrado por câmera de leitura



Fonte: CATERPILLAR, 2013.

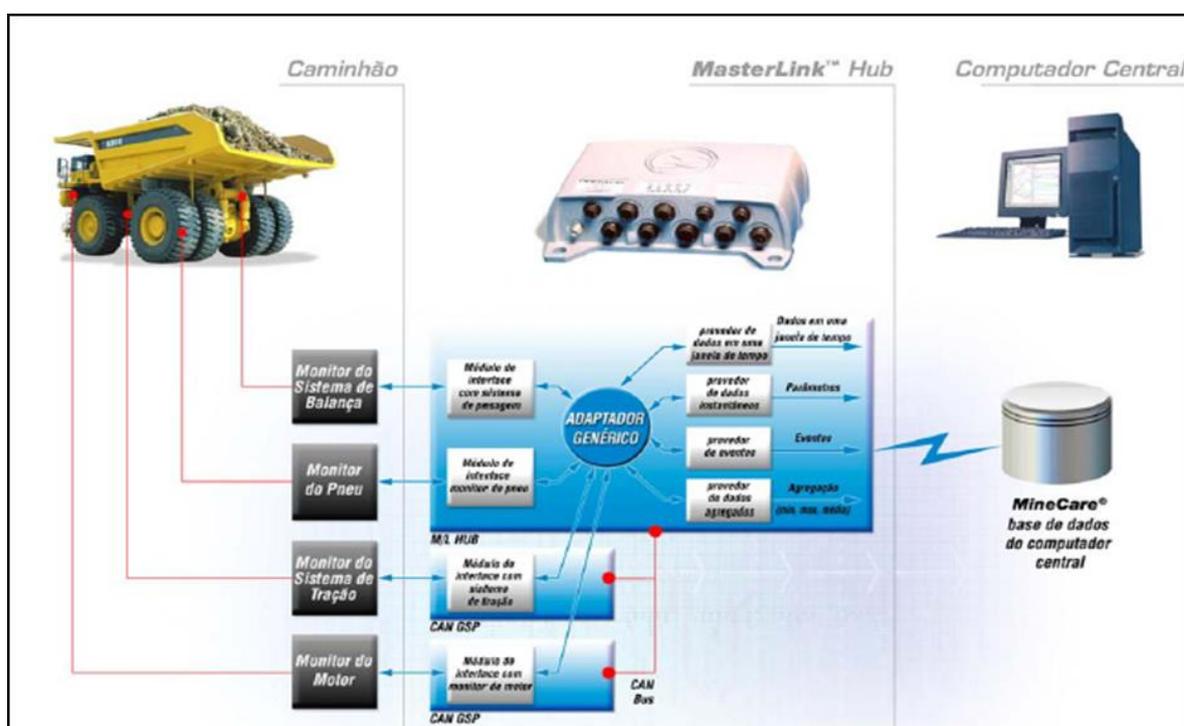
Outra forma de se mensurar o posicionamento das cargas sobre as caçambas dos caminhões é através das medições *online* das pressões de suspensões dos equipamentos. (CHAMANARA, 2013).

Comparando as diferenças existentes entre as pressões aplicadas e juntamente com um gabarito previamente calculado e esperado para a frota em estudo, pode-se prever, então, a posição da massa transportada. Nesse contexto, a frota majoritária utilizada na operação de transporte do Complexo de Itabira é o CAT 793 D e será descrita no próximo capítulo.

No que diz respeito à telemetria, essa é uma tecnologia que permite a medição e a comunicação de informações de interesse da operação. A palavra tem origem grega em que *tele* significa remoto e *metron* significa medida. Geralmente, este termo refere-se a comunicações sem fio, usando um sistema de rádio para implementar um enlace de dados. Porém, pode também referir-se aos dados transferidos sobre outras mídias, tais como telefone, redes de computadores ou através de um enlace óptico (Fernandes, 2013, p. 68).

A Figura 20 demonstra como é a estrutura instalada de telemetria nos caminhões fora de estrada:

Figura 20 - Estrutura funcional de um sistema de telemetria



Fonte: MODULAR MINING SYSTEMS, 2015.

Conforme Fernandes (2013), o sistema instalado nos caminhões fora de estrada recebe informações dos módulos que utilizam múltiplos sensores para captação dos dados. Também, são utilizados métodos para agregar esses dados em um pacote e enviá-los via rádio frequência.

Diante do exposto, percebe-se que o uso da telemetria vem ganhando força em diversas áreas industriais pela praticidade de coleta e transmissão de dados operacionais *online*. Neste estudo, iremos usá-la para a verificação das pressões de suspensões dos caminhões durante o transporte de cargas de ROM nas operações de mina do Complexo Itabira.

No tópico a seguir será apresentado o software de análise Minecare e seus principais aplicativos utilizados para diagnósticos de dados de telemetria.

## 2.6 MINECARE – SOFTWARE DE ANÁLISE

O Minecare é um sistema informatizado de telemetria desenvolvido pela empresa Modular Mining com o objetivo de auxiliar as empresas de mineração a manter a integridade da frota de equipamentos de produção. Sua principal função é fornecer dados em tempo real do estado do equipamento e converter esses dados em informações para manutenção e operação de mina.

Além disso, o sistema coleta os dados dos sensores instalados nos equipamentos continuamente, e quando ocorre uma condição de alarme predefinida, esta informação é enviada através de ondas de rádio frequência até o banco de dados do sistema. Em seguida, o alarme vai para o servidor de aplicativos a fim de que o usuário seja notificado.

Os aplicativos do sistema permitem aos usuários, ainda, executarem várias funções, tais como o tratamento de atividades de manutenção, o monitoramento das condições operacionais dos equipamentos em tempo real e a análise de tendências (Fernandes, 2013).

A Figura 21 a seguir apresenta a tela do sistema Minecare e as ferramentas que ele oferece:

Figura 21 - Apresentação da tela do sistema *Minecare – Modular System*



Fonte: MINECARE, 2015.

A Figura 21 apresenta as funcionalidades do sistema *Minecare*, que coleta os dados da telemetria por meio de sensores e geram relatórios para tratamento dos usuários. Nesse estudo, foi utilizado o tratamento de tendências, uma vez que as entradas dos dados no sistema foram condicionadas anteriormente e os locais de coleta de dados escolhidos em pontos específicos da mina (que serão apresentadas no capítulo 3).

Uma vez criado o modelo de tendência, é necessário associá-lo aos equipamentos que se deseja monitorar. Designado um modelo de tendência para um equipamento ou uma frota e ativando-a, o aplicativo começará a coletar dados e emitir alarmes ou desempenhar outros comportamentos definidos no modelo. A qualquer momento é possível exibir um gráfico de tendência em um período específico para analisar as condições de operação.

O aplicativo não coleta e registra os dados a não ser que a condição da tendência configurada seja verdadeira. Quando a tendência torna-se verdadeira, os dados são coletados e enviados para o computador central para processamento posterior (Teixeira, 2016).

Para o presente trabalho, os dados de interesse foram os valores registrados por uma tendência de leitura das suspensões dos caminhões em operação. Realizando algumas operações simples entre os quatro valores (registros em KPa das suspensões) pode-se afirmar a posição preferencial da massa sobre o equipamento ou registrá-la como carga centrada.



Figura 23 - Especificações operacionais Cat 793 D

Transmission			Tires	
Forward 1	11.8 km/h	7.3 mph	Standard Tire	40.00R57
Forward 2	15.9 km/h	9.9 mph	<ul style="list-style-type: none"> <li>Productive capabilities of the 793D truck are such that, under certain job conditions, TKPH (TMPH) capabilities of standard or optional tires could be exceeded and, therefore, limit production.</li> <li>Caterpillar recommends the customer evaluate all job conditions and consult the tire manufacturer for proper tire selection.</li> </ul>	
Forward 3	21.5 km/h	13.4 mph		
Forward 4	29 km/h	18.1 mph		
Forward 5	39.4 km/h	24.5 mph		
Forward 6	54.3 km/h	33.7 mph		
Reverse	10.9 km/h	6.8 mph		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Maximum travel speeds with standard 40.00-R57 tires.</li> </ul>				

Fonte: MANUAL CATERPILLAR – CAT 793 D MINING TRUCK, 2010.

As especificações mencionadas, também, serão importantes nas análises aqui apresentadas, como por exemplo, a porcentagem de distribuição de carga sobre o equipamento entre os eixos quando o mesmo está carregado, sendo 67% do peso bruto (GMOW – *Gross Machine Operation Weight*) sobre o eixo traseiro e os restantes 33% sobre o eixo dianteiro.

Ainda em relação aos pneus e sendo este o único elemento do caminhão em contato com o solo, deve-se ter o máximo de cuidado e atenção na construção e manutenção das pistas de rolamento em mineração. Raios de curvaturas acentuados, sobre-elevações de pista, *grades* de rampas e abrasividade de materiais devem ser levadas em consideração para a escolha do pneu ideal para cada site e ponto de atenção em épocas de necessidade de redução de custo de produção. Sendo assim, uma típica estrada de mina será descrita brevemente no próximo item.

## 2.8 ESTRADA DE MINA

A extração mineral, sendo realizada em cavas a céu aberto ou em mina subterrânea, impõe a utilização de pneus em estradas que têm períodos de tempos determinados de utilização devido ao avanço da lavra e às necessidades de liberação de ROM, sendo constantemente realocados para atendimento aos planos de extração mineral.

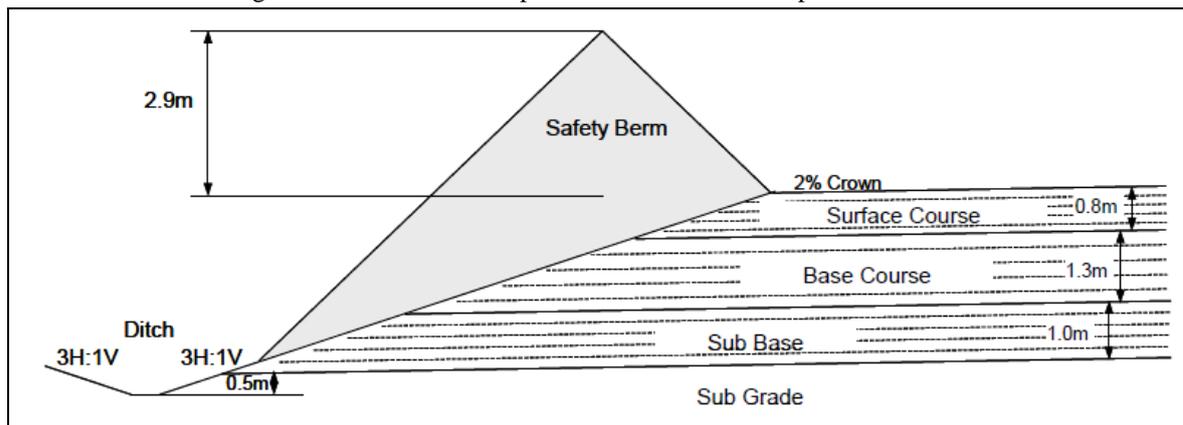
Em muitos casos não há disponibilidade de materiais com granulometria correta para confecção dos acessos de mina seguindo uma metodologia de construção ideal para o suporte das cargas aplicadas para a passagem dos equipamentos.

O fator tempo para construção das estradas, assim como o custo embutido no fornecimento do material com as granulometrias de acordo com as especificações, faz com que a prática comum seja o reaproveitamento dos materiais provenientes das

frentes detonadas, as quais não obedecem a uma distribuição granulométrica compatível com a necessidade da confecção das vias de transporte.

A Figura 24 ilustra as camadas constituintes de uma típica estrada de mina quando é confeccionada seguindo os padrões técnicos dos materiais para atendimento as tensões exercidas pelos equipamentos. Segue a descrição das etapas que constituem a estrada:

Figura 24 - Divisão das etapas construtivas de uma típica estrada de mina



Fonte: TANNANT; REGENSBURG, 2001.

1. *Safety berm*: banqueta de segurança tem a finalidade de proteção contra quedas de equipamentos de bancos e sinalização delimitando acessos na mina. Usa-se tanto estéril como minério em sua construção, dependendo da litologia local. Como padrão, deve ter 2/3 da altura do maior pneu em circulação na mina e deve ser confeccionada utilizando-se material fino, evitando blocos entre o material.

2. *Sub grade*: é o material *in situ*, encontrado na forma natural do terreno e acima do qual a estrada será construída. Caso este material seja de baixa resistência, há necessidade de reforçá-lo, de realizar corte no terreno e, posteriormente, de fazer aterro com material granular e competente.

3. *Sub base*: considerada a primeira camada a ser construída da estrada, representa o material mais granulado proveniente das frentes de lavra, podendo ser minério de baixo teor (como é o caso do itabirito compacto) ou estéreis resistentes, como por

exemplo em minas de minério de ferro, o gnaisse. Exerce papel de reforço para a base e impede a transição do material constituinte do *in situ* e da base, e vice-versa.

4. *Base course*: é a principal parte da estrada em função estrutural e apresenta o material com maior resistência mecânica, sendo menos granulada que a sub-base pelo fato de diminuir espaços vazios entre os blocos e as futuras ondulações nos acessos por compactação e acomodação em decorrência do peso aplicado na camada superficial.

5. *Surface course*: é a última camada da estrada e o material que a constitui deve ter menor granulometria, geralmente um cascalho mais fino, para possibilitar direcionamentos de drenagem da pista e agredir menos os pneus, uma vez que é a camada de material que está diretamente em contato com este componente. Essa camada conhecida como pista de rodagem ou rolamento.

Geralmente, em mineração de minério de ferro as operações encontram grandes dificuldades no fornecimento de material específico para a última camada, a de acabamento (pista de rolamento).

Como as detonações na mina são para produção, frentes de ROM para abastecimento das usinas de beneficiamento e estéril para recorrências, a malha de perfuração utilizada visa ao atendimento das britagens (no caso do minério – *top size* de acordo com a planta instalada) e o ganho de produtividade da fase de carregamento e transporte no caso dos estéreis.

Assim, produzir materiais em granulometrias distintas e, geralmente, de tamanhos menores, onera o custo de detonação, sendo que, para algumas faixas granulométricas, há a necessidade de britagem para bitolar todo o volume suficiente de rocha. Aliado ao tempo de confecção necessário para a entrega de uma estrada padrão, a prática comumente utilizada em minas de alta produção, como o caso do minério de ferro, é a utilização do material descartado em frentes de ROM pelo controle de qualidade, por apresentarem maiores competências mecânicas e estruturais.

Esse tipo de material atende a confecção da base e da sub-base, e como geralmente o material *in situ* apresenta boas características, a falta de material específico passa a ser apenas a do acabamento, utilizado na pista de rolamento, justamente a camada em contato direto com os pneus dos equipamentos.

Mas não é apenas a estrutura das estradas que interfere na vida útil dos pneus dos caminhões. Raios de curvatura, o próprio *layout* da estrada e até mesmo as distâncias percorridas por ciclo são exemplos de outros fatores determinantes na extensão das horas trabalhadas dos pneus. (Michelin (2012) – Guia de Utilização e Manutenção).

Na figura 25 apresenta-se um exemplo de rampa em formato “s”, que deve ser evitada. Fortes raios de curvatura em plano inclinado agravam as forças atuantes nos pneus, os chamados esterçamentos. Estes são forças de arraste que atuam nas diversas estruturas dos pneus quando em curva, suportando a carga total de operação do equipamento (tara + *payload*).

Figura 25 - Layout de estrada de mina mostrando fortes raios de curvatura em rampas



Fonte: Dados da pesquisa.

Um fator relevante e que é foco de interesse do presente trabalho são as potencializações das causas de sucateamento de pneus quando a carga transportada está descentralizada, o que penaliza algum lado do caminhão. Aliado aos demais fatores que se descreve no próximo capítulo, o transporte de cargas descentralizadas reforça as agressões impostas aos pneus ciclo a ciclo e oneram a operação na fase de transporte.

## 2.9 PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DE PNEUS

### 2.9.1 PRESSÃO DE ENCHIMENTO

Um fator importante a ser considerado em pneus de grande porte é a pressão de enchimento e de operação desses constituintes. A pressão de operação afeta diretamente a longevidade de um pneu, que pode ser consideravelmente alterada em caso de enchimento insuficiente ou excessivo (GUIA DE UTILIZAÇÃO E MANUTENÇÃO MICHELIN, 2012), os quais possuem as seguintes características:

- Enchimento insuficiente: aumento da flexão dos flancos provocando a elevação de sua temperatura interior e um desgaste irregular (Figura 26);
- Enchimento excessivo: desgaste prematuro da banda de rodagem, maior sensibilidade aos choques e aos cortes, e também, desgaste irregular.

Figura 26 - Trincas no flanco de pneus devido a operação com baixa pressão



Fonte: MCGARRY, 2007, p. 68.

Os danos causados nos pneus cuja pressão não esteja adequada são potencializados com o transporte de cargas mal centralizadas. Assim, a importância de diminuir as ocorrências de ciclos longos e sobre cargas em um determinado lado do

equipamento interfere diretamente na longevidade dos pneus e, como já mencionado anteriormente, no custo operacional fase mina (McGarry, 2007, p. 68).

Além dos custos, a segurança das operações de grande porte deve ter grande atenção de todos envolvidos no processo, e pressão e temperatura são parâmetros fundamentais para assegurar a normalidade da utilização de pneus.

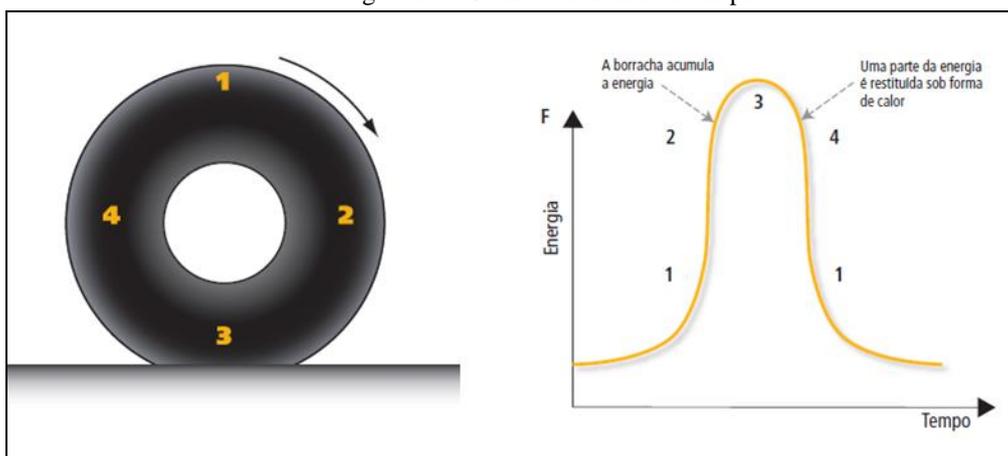
## 2.9.2 TEMPERATURA DE OPERAÇÃO

Assim como a pressão, a temperatura de operação dos pneus é de extrema importância para a longevidade dos mesmos. Pneus em operação com temperaturas maiores do que suas capacidades de suporte tendem a sobreaquecer as estruturas e podem sofrer separações térmicas e rompimentos de cabos internos, levando ao sucateamento (Michelin (2012) – Guia de Utilização e Manutenção).

Quando em transporte de cargas mal centralizadas e, de acordo com o movimento de rotação, os pneus geram flexões cíclicas chamadas de ciclo de trabalho do pneu, sendo que estas forças atuantes são agravadas pelo sobrepeso suportado na base dos pneumáticos, o que conduz ao aumento anormal de temperatura.

Para se entender o ciclo de trabalho de um pneu, apresentam-se, na figura 27 as etapas da rotação.

Figura 27 - Ciclo de trabalho de um pneu



Fonte: MICHELIN, 2012.

Nas etapas evidenciadas, tem-se:

1. Pneu sem restrição de carga;
2. À medida que o pneu gira, os flancos são flexionados, acarretando o aquecimento de seus constituintes;
3. Em contato com o solo, a intensidade do aquecimento é máxima, diminuindo progressivamente (posição 4) até regressar à posição inicial (posição 1).

Se o ciclo de trabalho estiver sendo penalizado por sobrecarga (exemplo de uma carga mal distribuída), a temperatura ótima de funcionamento é ultrapassada, o que acarreta a degradação irreversível de seus constituintes. (Michelin (2012) – Guia de Utilização e Manutenção).

### 2.9.3 DISTÂNCIA MÉDIA DE TRANSPORTE E VELOCIDADE

A distância média de transporte (DMT) é o ciclo carregado médio de operação dos caminhões. Essa distância é importante para a determinação do ciclo de trabalho suportando carga nos pneus, considerando que, quando em locomoção vazio, eles têm um período de resfriamento e alívio das tensões suportadas durante o ciclo cheio dos equipamentos.

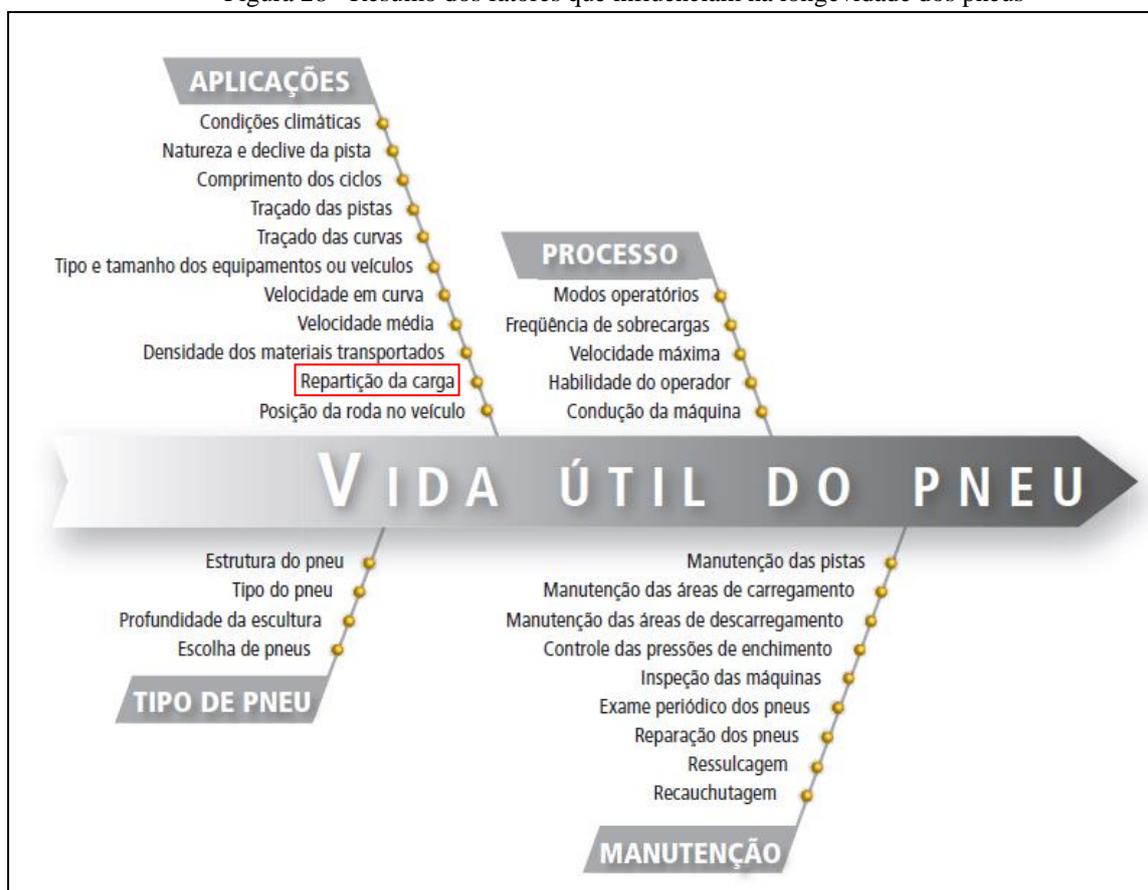
Nesse contexto, longas distâncias de transporte penalizam os pneus no sentido de não apresentarem intervalo de tempo suficiente (durante o ciclo de trabalho – movimento de rotação) para resfriamento e, em algumas operações, torna-se necessário dividir o ciclo de transporte ou praticar algum tipo de revezamento de caminhões em ciclos longos.

Outro fator relevante na produtividade dos caminhões e que, também, interfere na longevidade de pneus é a velocidade média imprimida entre as frentes de lavra e de basculamento. Índices que são diretamente proporcionais, uma vez que o ciclo de trabalho é repetido em menores espaços de tempo, isto é, há um aumento das rotações por minuto.

Diante disso, esses parâmetros devem ser analisados em cada perfil de operação para atingir as horas trabalhadas meta dos pneus e a aderência aos orçamentos operacionais.

Em resumo, pode-se citar como os principais itens a serem controlados para a longevidade dos pneus OTR os que estão indicados na Figura 28.

Figura 28 - Resumo dos fatores que influenciam na longevidade dos pneus



Fonte: MICHELIN, 2012.

Portanto, são vários os fatores que interferem na vida útil dos pneus, e inserida em aplicações, encontra-se o objeto de estudo deste trabalho, qual seja, a repartição de carga sobre a caçamba dos caminhões. Esta repartição irá influenciar no cálculo de um parâmetro que resume carga transportada, velocidade e distância percorrida, o TKPH (sigla que significa *ton-kilometer per hour* em inglês) ou tonelada-quilômetro por hora operacional, que será descrita no próximo item.

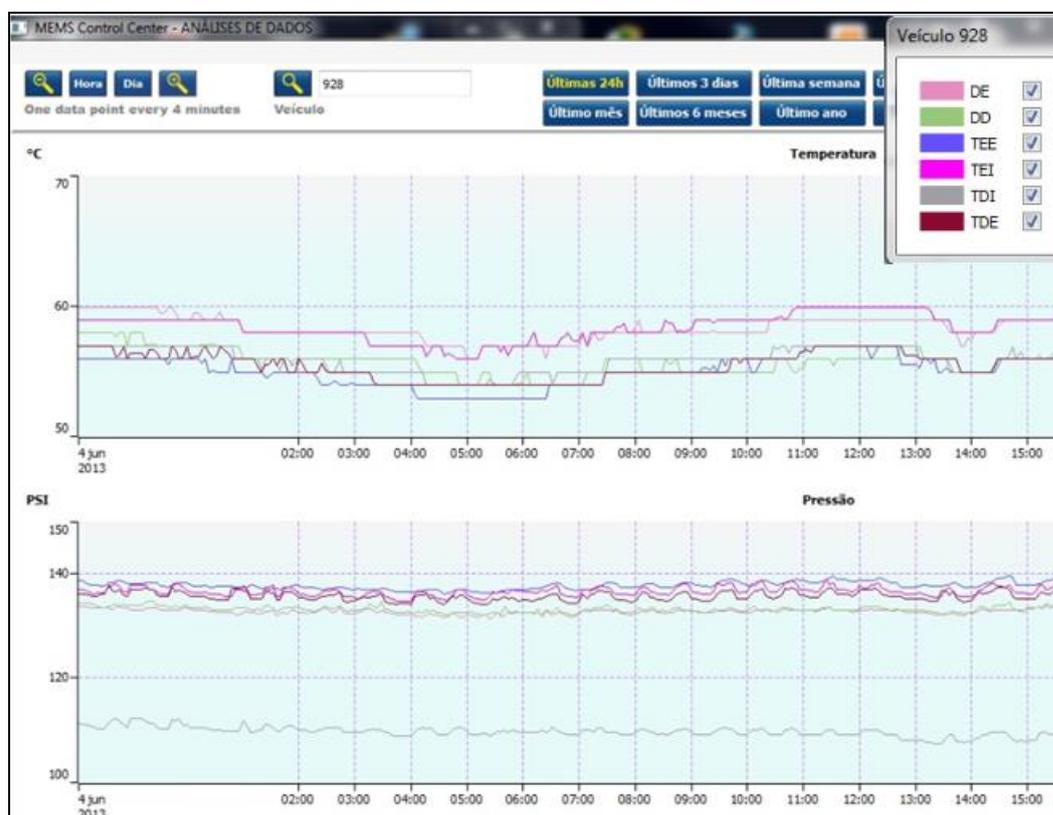
#### 2.9.4 TKPH

Os pneus utilizados em mineração têm se tornado cada vez mais importante com o desenvolvimento de grandes veículos de transporte. A função principal destes pneus de maquinaria pesada é suportar grandes volumes de materiais durante ciclos dos caminhões em velocidade apropriada e distâncias maiores. Isto gera, inevitavelmente,



que obtém leituras *online* de pressão e temperatura dos pneus em operação, o chamado MEMS (*Michelin Earthmover Management System*), e que é utilizado na operação de mina do complexo Itabira. A Figura 30, mostra os dados do MEMS.

Figura 30 - Exemplo da tela demonstrativa dos dados do MEMS



Fonte: Dados da pesquisa.

O MEMS é um sistema de vigilância e monitoramento à distância da pressão e da temperatura dos pneus de equipamentos mineiros. Este sistema fornece aos operadores de despacho uma ferramenta de gerenciamento permanente desses parâmetros para tomadas de decisão juntamente com a manutenção, como exemplo a parada do equipamento para resfriamento.

Ele envia sinais de alerta quando a temperatura e/ ou a pressão saem dos valores limites preestabelecidos. Além da tomada de dados e das funções de alerta, o sistema transfere as informações para o centro de comando para processamento e análise. Juntamente com o sistema de despacho da operação, envia para a manutenção de pneus os caminhões que necessitarem de ajustes na pressão ou, até mesmo, alocam os equipamentos em rotas mais curtas com orientação de diminuição de carga para o seu resfriamento. Na Figura 30 acima, pode-se perceber, pela leitura da legenda, que o pneu

TDI (traseiro direito interno) do caminhão 928 estava em operação com pressão bem inferior aos demais pneus. Neste caso, é necessário o envio do caminhão para manutenção para ajuste da pressão.

Todos esses parâmetros de operação dos pneus que foram discutidos são agravados ou tornam-se mais críticos quando se transporta cargas mal centralizadas. Um pneu estando mal calibrado, com temperatura anormal, em ciclo de transporte longo com raios de curvaturas pesados e, sobretudo, com maior carga no eixo, tem sua hora trabalhada média afetada no decorrer das operações.

Assim, a centralização de cargas em caminhões de grande porte é forte aliada na redução de custos fase mina nesse quesito, ou seja, agride menos os pneus durante os ciclos de trabalho e poupa este insumo oneroso da atividade mineradora.

No próximo item serão descritas as principais causas de sucateamento de pneus, os quais são potencializados pelo transporte de cargas descentralizadas.

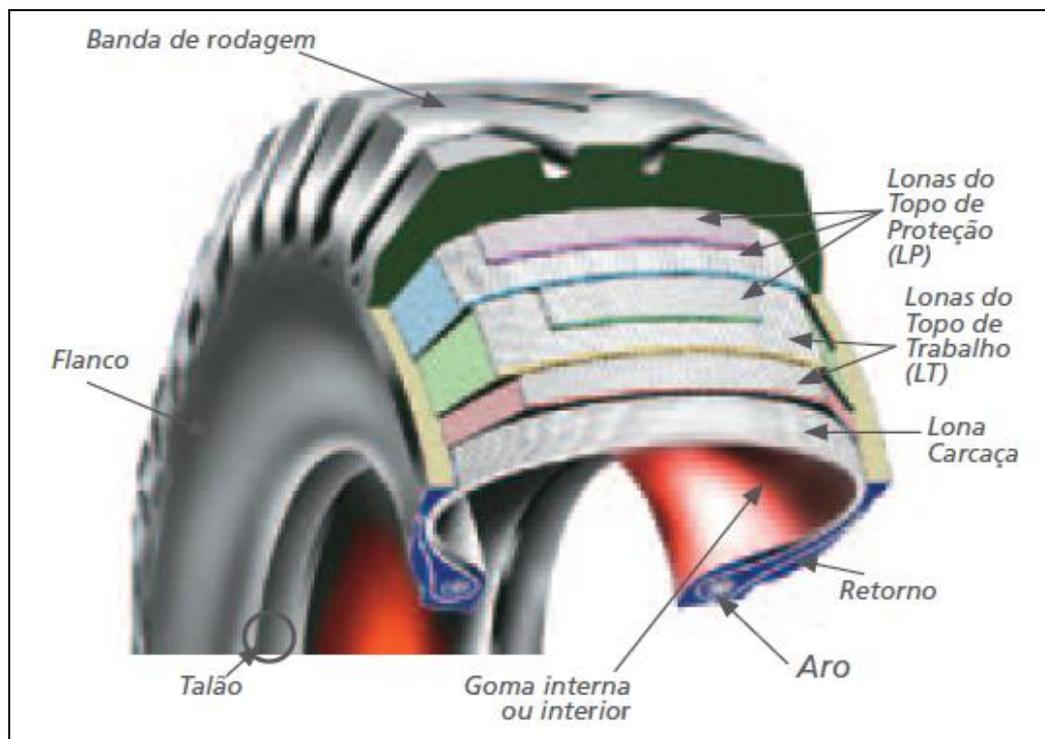
## 2.10 PRINCIPAIS CAUSAS DE DETERIOZAÇÃO DE PNEUS

### 2.10.1 CORTE

Um dos principais danos causados durante operações de transporte é o corte de pneus. Estes podem ocorrer tanto na banda de rodagem como na lateral, chamados de flancos do pneu, em decorrências da passagem do equipamento próximo à banquetta de proteção da estrada.

Basicamente, os componentes da estrutura de um pneu estão descritos na Figura 31.

Figura 31 - Carcaça típica de um pneu



Fonte: MICHELIN, 2012.

Em situações de estreitamento de pista, em que a largura para passagem de dois caminhões simultaneamente (mão e contramão) é atendida, mas de forma mínima, ou quando um equipamento deve paralisar a operação para passagem do segundo e este se encontra obrigado passar próximo ao material, tem-se o contato do pneu com o material usado na confecção da leira de segurança. A Figura 32 evidencia esta situação.

Figura 32 - Situação de encontro entre caminhões em pista estreita



Fonte: Dados da pesquisa.

Nessa condição, pequenos cortes acarretados no flanco do pneu podem evoluir para outra causa de sucateamento, qual seja, as trincas que serão descritas no próximo item.

### 2.10.2 TRINCAS

As trincas podem ser consideradas cortes superficiais que evoluíram de maneira circunferencial na estrutura lateral do pneu. Em cada ciclo ou revolução completa do pneu, existem pontos de carga e descarga, sendo estas chamadas de ciclo de trabalho. Nesse contexto, a evolução das trincas causa a separação entre capas na zona alta dos flancos com agressão exterior, o que é evidenciado na Figura 33.

Figura 33 - Apresentação do dano – corte inicial com evolução no flanco do pneu



Fonte: TREINAMENTO MICHELIN – VALE, 2012.

Algumas das possíveis causas do surgimento das trincas são: excesso de flexão (sobrecarga, ondulações na pista de rolamento, operação com baixa pressão) e agressões nos flancos, como pequenos cortes e avarias.

Em relação à manutenção das pistas de rolamento, além de evitar sobrecargas e estar com pressão de operação ajustada, é fator determinante para a longevidade dos pneus. A Figura 34 mostra um acesso à praça de carregamento com forte presença de ondulações, que prejudicam a operação no sentido de aumentar a resistência ao rolamento, aumentando, conseqüentemente, o consumo de diesel e maior flexão dos pneus, e potencializando o surgimento de trincas nos flancos.

Figura 34 - Pista de rolamento de acesso à praça de carregamento



Fonte: Dados da pesquisa.

### 2.10.3 DESLOCAMENTO E SEPARAÇÃO

A separação dos constituintes dos pneus (banda de rodagem/carcaça) é geralmente o resultado de um aquecimento excessivo. Diante disso, as consequências de tais separações são bastante danosas aos pneus e levam ao rápido sucateamento. É por isso que, quando aparecem, é imperativo realizar um exame aprofundado do pneu para compreender as causas e poder remediá-las evitando novas ocorrências na operação.

A Figura 35 evidencia a passagem de um equipamento em uma ondulação da estrada de mina e consequente flexão recebida pelo pneu. Conforme Figura 27 do item 2.9.2, este ponto representa o momento de acúmulo de energia e maior esforço recebido por este componente em seu ciclo de trabalho.

Figura 35 - Exemplo de flexão no pneu dianteiro esquerdo em pista irregular



Fonte: Dados da pesquisa.

Excesso de flexões com sobrecargas elevam a temperatura e a pressão interna dos pneus e geram danos irreversíveis às estruturas dos mesmos. Desse modo, a continuidade da operação com pneus nestes patamares agressivos de temperatura podem evoluir para deslocamento térmico entre as lonas de trabalho e proteção, gerando possíveis bolhas e sucateamento precoce dos pneus, como pode ser verificado na Figura 36:

Figura 36 - Corte transversal de um pneu expondo o deslocamento térmico entre lonas



Fonte: MICHELIN, 2012.

Portanto, as operações que utilizam pneus grande porte devem ser conduzidas e administradas com bastante responsabilidade, tanto no quesito da segurança como no econômico, levando em consideração esse cenário de necessidade de redução de custo, com bastante foco e engajamento de todos os envolvidos no processo. Nesse sentido, propõe-se a adição, no banco de dados de cargas transportadas de ROM do complexo Itabira, a localização da massa sobre a caçamba de caminhões.

Por conseguinte, será apresentada, no próximo capítulo, a verificação da teoria em campo para a coleta dos dados de pressão de suspensão e como é possível caracterizar as cargas transportadas via análise desses dados.

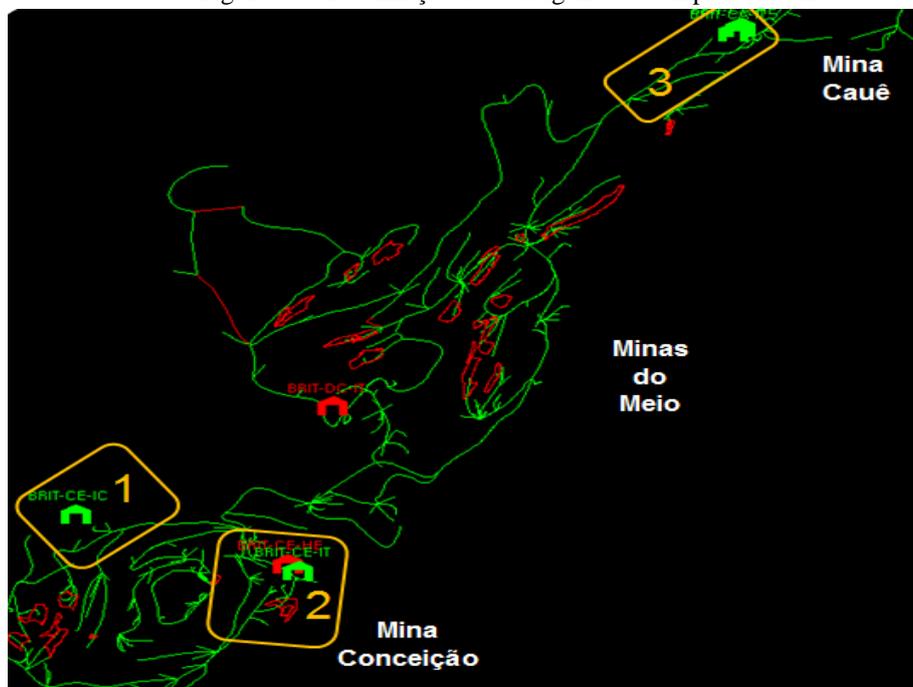
### 3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO - METODOLOGIA

#### 3.1 ESCOLHA DA ROTA – CICLO DE TRANSPORTE

A utilização da telemetria para coleta e armazenamento de dados de pressão de suspensões de caminhões é realizada em conjunto com o sistema de despacho da mina. Nesse contexto, para o presente estudo foi utilizado o sistema Modular de despacho, usado na operação de mina do complexo Itabira.

Primeiramente, é necessário escolher trechos para a criação da tendência do sistema Minecare com a utilização de *beacons* de chamada do próprio sistema Modular. Os chamados *beacons* são pontos de referência criados na área gráfica do despacho que contém o mapa eletrônico da mina. Esses pontos são utilizados pelo sistema para a localização e a otimização dos equipamentos, fornecendo os próximos locais de carga do caminhão. Assim, a otimização tem como objetivo evitar filas de caminhões nas praças de carregamento bem como nos britadores e demais pontos de descarga. Tem-se na Figura 37 a localização das britagens do Complexo Itabira:

Figura 37 - Localização das britagens do Complexo Itabira

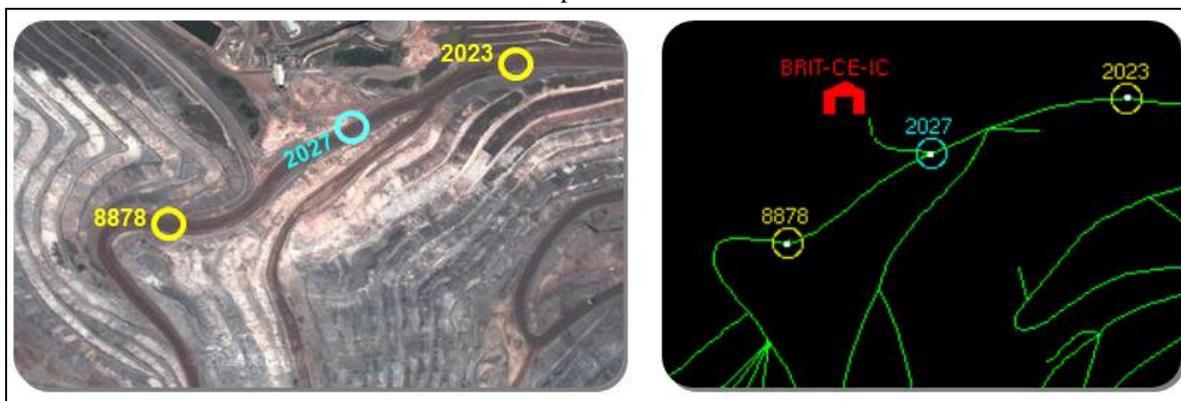


Fonte: Sistema de Despacho Modular – Complexo Itabira (2014)

A Figura 37 representa o mapa gráfico do Complexo Itabira e, em destaque, têm-se os seus três pontos de britagem. Nesse complexo há duas instalações de beneficiamento para Conceição e uma planta para Minas do Meio.

Cabe ressaltar que o presente trabalho focou no monitoramento das cargas de ROM, que, para o caso do minério de ferro, são os itabiritos e hematitas. Por apresentarem maiores densidade relativas, as cargas de minério de ferro possuem menor volume e, conseqüentemente, menor cone formado sobre as caçambas dos fora de estrada, apresentando maior dificuldade na centralização quando comparada com o estéril. A Figura 38 evidencia o Ponto 1 de monitoramento de cargas ROM:

Figura 38 - Ponto 1 de monitoramento de cargas de ROM. Foto aérea e imagem gráfica do despacho



Fonte: Dados da pesquisa.

É possível ver na Figura 38 que o acesso ao britador BRIT-CE-IC de Conceição foi cercado por ambos os lados, tornando o monitoramento efetivo dos caminhões que trafegarem entre os *beacons* 8878 e 2027 (provenientes do pico da mina) e entre os *beacons* de numeração 2023 e 2027 para aqueles que vieram pela via contrária. No sistema Minecare, foi criada a tendência de telemetria para leitura das suspensões dos caminhões ao passarem entre essas rotas e, automaticamente, a comparação entre os valores dos KPI's (*rack, pitch e roll*) discutidos no capítulo 2.4.

Ainda, para monitoramento das cargas destinadas para o BRIT-CE-IT e BRIT-CE-HE, foram realizados os mesmos procedimentos. Uma vez criada a tendência com os números dos *beacons* no sistema Minecare, todo caminhão tem suas pressões de suspensões registradas durante o transporte entre os pares de *beacons*.

Na Figura 39 têm-se os pontos de monitoramento para as britagens de hematita e itabirito da Usina de Conceição I.

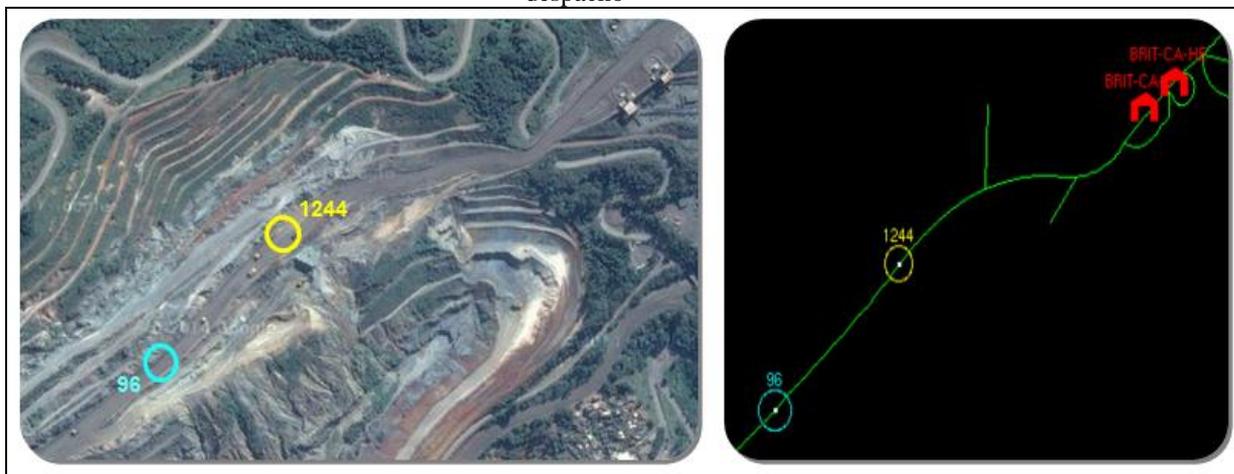
Figura 39 - Ponto 2 de monitoramento de cargas de ROM. Foto aérea e imagem gráfica do despacho



Fonte: Dados da pesquisa.

O terceiro e último trecho monitorado foi o acesso aos britadores da mina do Cauê. As três regras de tendência foram criadas no sistema de monitoramento e os dados coletados para verificação da evolução mensal das ocorrências, o que é evidenciado na Figura 40:

Figura 40 - Ponto 3 de monitoramento de cargas de ROM. Foto aérea e imagem gráfica do despacho



Fonte: Dados da pesquisa.

Para todos os três pontos de monitoramento, tomou-se o cuidado em manter a estrada em boas condições de rolamento para evitar interferências nas leituras das pressões de suspensões. Outro ponto importante foi o comprometimento da manutenção em manter as suspensões em boas condições. Ressalta-se que suspensões mal calibradas

ou com defeitos poderiam afetar e mascarar as análises dos KPI's, uma vez que estes dependem de interações entre os valores encontrados durante o transporte.

### 3.2 CRIAÇÃO DE REGRA NO SISTEMA MINECARE

Após definidos os trechos com os respectivos *beacons* no sistema de despacho, passou-se para avaliação em campo e acompanhamento dos gráficos gerados com as respectivas pressões de suspensões. Para tanto, foram criadas as regras no sistema Minecare, que podem ser verificadas no exemplo da regra criada para o trecho 1 na Figura 41.

Figura 41 - Modelo de tendência criada no sistema Minecare para leitura dos parâmetros de interesse

Modelo de tendência					
Geral		Condição	Modelos de predição	Descritor de comportamento	Segurança
Expressão:					
loc_beacon2beacon(8878,2027,240) OR loc_beacon2beacon(2023,2027,300) AND \$1>17000 AND \$1<30000 AND \$2<30000 AND (\$1-\$2>12500 OR \$2-\$1>12500) AND \$3>100 AND \$4>5					
Parâmetros:					
	Índice	Id	Nome	Unidade	
▶	1	84607492	Left Rear Suspension Cylinder	kPa	
	2	84607494	Right Rear Suspension Cylinder	kPa	
	3	84607499	Payload	tonelada	
	4	84607496	Ground Speed	kph	

Fonte: Dados da pesquisa.

Além disso, foram definidas as regras para leitura das suspensões, da carga transportada (*payload*) e da velocidade no momento de captura. Os ajustes para calibração do sistema foram definidos após comparação entre cargas centralizadas (tomadas como padrão) e, no segundo momento, foram solicitadas cargas descentralizadas para determinar a diferença existente entre ambas.

Ao percorrer qualquer um dos trechos pré-definidos, inicia-se as leituras das pressões das suspensões e, ocorrendo as diferenças de valores calibrados anteriormente entre elas, tem-se o registro de alarmes, que são registrados em bancos de dados. Com as interações realizadas entre os valores em KPa das pressões, obtém-se os eventos de *rack*, *pitch* e *roll* em cada ciclo de transporte. A Figura 42 evidencia alguns alarmes gerados nos trechos 1 e 2.

Figura 42 - Exemplo de alarmes gerados de cargas descentralizadas – Minecare

Unidade	Evento	Fonte de Evento	Primeiro	Último	Snapshot	Contagem d...
CA65928	OP - Carga Descentralizada a ESQ T2		22-Jan-2015 15:57:32	22-Jan-2015 15:57:34	<input type="checkbox"/>	3
CA65914	OP - Carga Descentralizada a ESQ T1		22-Jan-2015 17:11:46	22-Jan-2015 17:11:46	<input type="checkbox"/>	1
CA65789	OP - Carga Descentralizada a DIR T2		22-Jan-2015 19:49:25	22-Jan-2015 19:49:25	<input type="checkbox"/>	2
CA65789	OP - Carga Descentralizada a DIR T1		22-Jan-2015 20:18:29	22-Jan-2015 20:18:30	<input type="checkbox"/>	2
CA65779	OP - Carga Descentralizada a DIR T1		22-Jan-2015 22:56:50	22-Jan-2015 22:56:50	<input type="checkbox"/>	1
CA65793	OP - Carga Descentralizada a DIR T1		23-Jan-2015 12:28:48	23-Jan-2015 12:28:48	<input type="checkbox"/>	1
CA65928	OP - Carga Descentralizada a DIR T1		23-Jan-2015 13:37:37	23-Jan-2015 13:37:38	<input type="checkbox"/>	2
CA65785	OP - Carga Descentralizada a ESQ T1		23-Jan-2015 19:34:54	23-Jan-2015 19:34:54	<input type="checkbox"/>	1

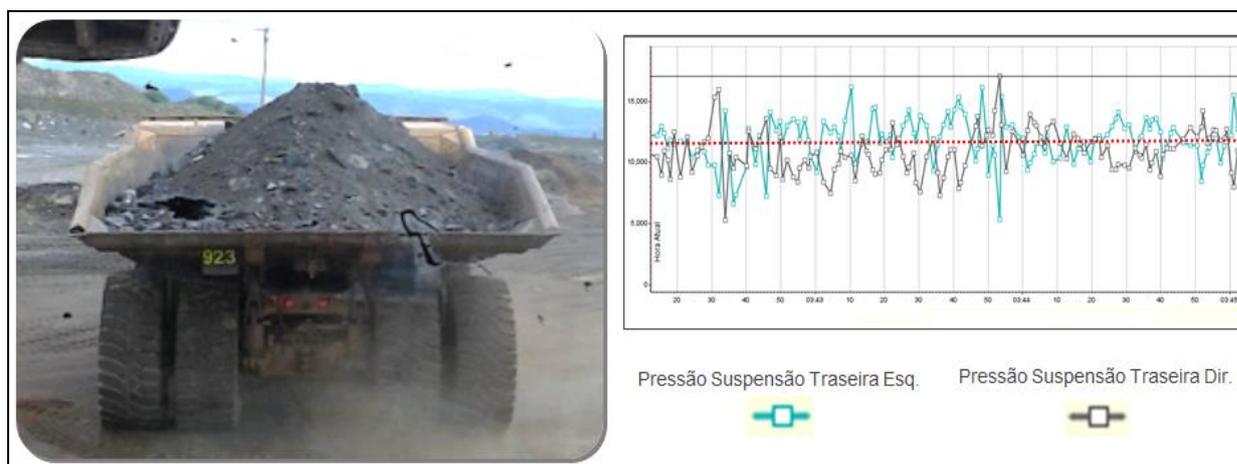
Fonte: Dados da pesquisa.

Assim, o banco de dados completo com nome dos operadores (carga e transporte), distância percorrida, carga transportada e valores individuais das suspensões podem ser baixados no sistema para análise mais detalhada.

### 3.3 COMPARAÇÃO ENTRE *PAYLOADS* – VERIFICAÇÃO DA TEORIA

Para a calibração das regras de telemetria e a classificação refinada das cargas de ROM para oferta das britagens, foram realizadas comparações entre os posicionamentos das massas sobre as caçambas dos caminhões (Figura 43).

Figura 43 - Registro das suspensões traseiras de uma carga centrada

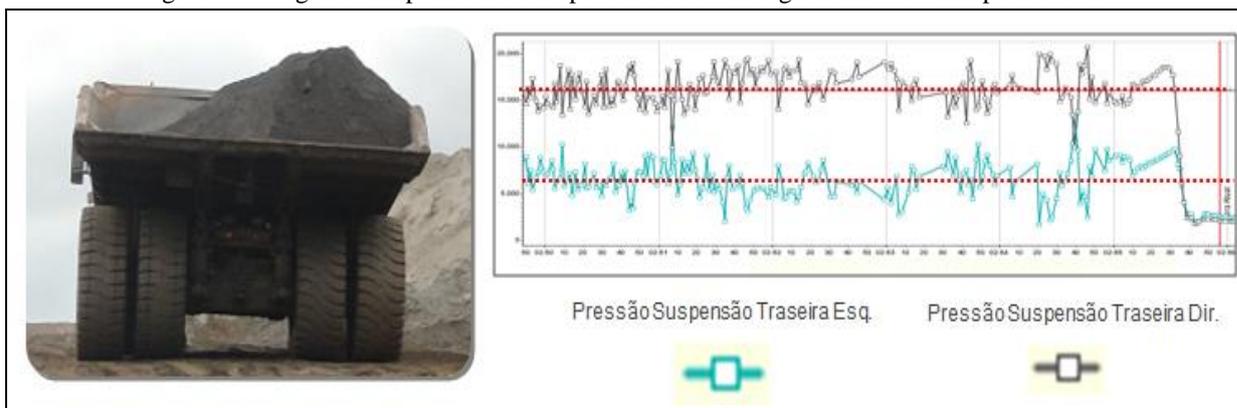


Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 43 apresenta o registro de uma carga centrada que, ao percorrer um dos trechos pré-definidos, teve as pressões traseiras registradas pelo sistema. Percebemos que as pressões oscilam dentro de uma linha média, em torno de 12 KPa (apresentada pela linha tracejada vermelha). As oscilações são decorrentes da locomoção do caminhão e de irregularidades nos acessos da mina, tais como raios de curvatura, rampas e depressões ou lombadas.

Com o intuito de comparação e calibração das regras de telemetria no sistema Minecare, solicitou-se a realização de cargas descentralizadas e as mesmas foram registradas em campo, assim como graficamente. Ambos os lados foram testados e a diferença entre as pressões constatadas nas análises. Tal registro pode ser visto na Figura 44.

Figura 44 - Registro das pressões de suspensões de uma carga descentralizada para direita



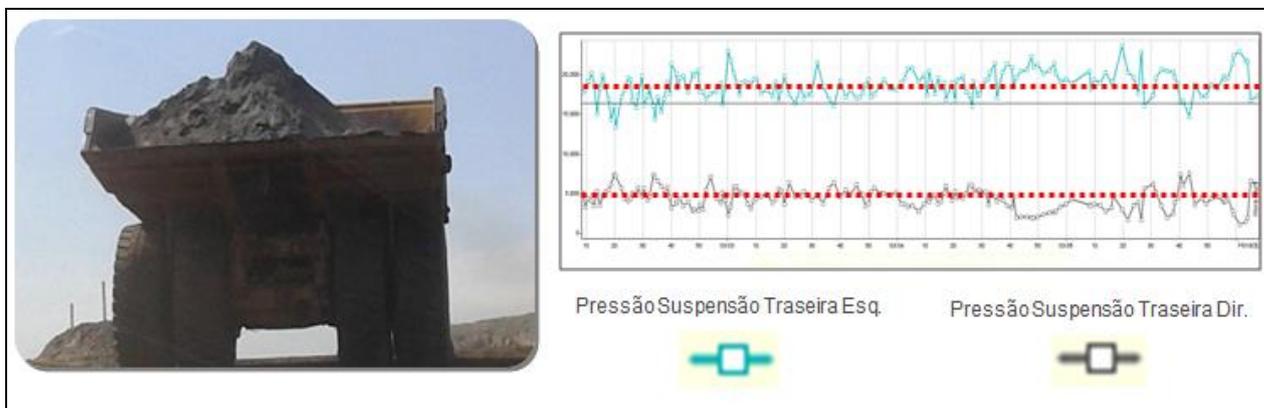
Fonte: Dados da pesquisa.

A análise visual do gráfico gerado das pressões revela que a suspensão do lado direito, lado em que está concentrado o maior volume da carga transportada, está sendo penalizada. Assim como a suspensão, todos os demais componentes, e inclusive o conjunto de pneus, são sobre carregados durante o transporte de cargas deste perfil e devem ser evitados. A pressão da suspensão direita apresentou valor médio de 16 KPa, enquanto a da esquerda oscilou em torno de 6 KPa, sendo então, com valor médio, a diferença de 10 KPa, penalizando o lado preferencial da carga.

Os carregamentos solicitados para análises primárias dos valores das pressões foram extremas, forçando uma descentralização para definição das diferenças máximas atingidas no momento do transporte destas cargas. A Figura 45 mostra uma carga descentralizada para a esquerda com as respectivas pressões das suspensões. A

suspensão direita registrou valor médio de 5 KPa e a esquerda, valor médio oscilando em torno de 17 KPa.

Figura 45 - Registro das pressões de suspensões de uma carga descentralizada para esquerda



Fonte: Dados da pesquisa.

Diante do exposto, vê-se que, de acordo com a intensidade ou grau de descentralização da carga, a diferença entre as pressões acompanha as variações, sendo que a carga centrada sempre deverá ser o alvo durante as operações. Desse modo, para o presente trabalho, focou-se no registro de cargas descentralizadas e, assim, criou-se o banco de dados para acompanhamento mensal das ocorrências.

### 3.4 CRIAÇÃO DO BANCO DE DADOS

Para alcançar o objetivo específico do trabalho, reduzir as ocorrências de cargas descentralizadas no Complexo Itabira, foi necessária a criação de um banco de dados para análise da evolução do estudo mensalmente. Esse banco de dados possui as informações descritas na Figura 46.

Figura 46 - Exemplo de parâmetros armazenados no banco de dados

Data Inicio	Data Fim	Turno	Turma	Evento	Carga	Operador Carga	Transporte	Operador Transporte	Balança
3/2/2015 6:42	3/2/2015 7:26	03-FEV-15-ITA-Manhã	Turma C	OP - Carga Descentralizada a ESQ T3	PE3788	Nome do Operador de Carga	CA65922	Nome do Operador de Transporte	244
12/2/2015 22:28	12/2/2015 23:11	12-FEV-15-ITA-Noite	Turma B	OP - Carga Descentralizada a DIR T2	EC3258	Nome do Operador de Carga	CA65787	Nome do Operador de Transporte	245
12/2/2015 23:48	13/2/2015 0:41	13-FEV-15-ITA-Madrugada	Turma E	OP - Carga Descentralizada a ESQ T3	EM2466	Nome do Operador de Carga	CA65930	Nome do Operador de Transporte	238
13/2/2015 0:31	13/2/2015 1:01	13-FEV-15-ITA-Madrugada	Turma E	OP - Carga Descentralizada a DIR T2	EC3257	Nome do Operador de Carga	CA65787	Nome do Operador de Transporte	259
13/2/2015 10:57	13/2/2015 11:37	13-FEV-15-ITA-Manhã	Turma C	OP - Carga Descentralizada a ESQ T1	PE3781	Nome do Operador de Carga	CA65771	Nome do Operador de Transporte	241
13/2/2015 11:05	13/2/2015 11:56	13-FEV-15-ITA-Manhã	Turma C	OP - Carga Descentralizada a ESQ T1	PE3781	Nome do Operador de Carga	CA65919	Nome do Operador de Transporte	242

Fonte: Dados da pesquisa.

As seguintes informações estão contidas no banco de dados:

1. Data Início – possui horário do início do ciclo de transporte (final da carga);
2. Data Fim – possui horário do término do ciclo de transporte (basculamento);
3. Turno – horário de ocorrência da carga descentralizada;
4. Turma em que ocorreu o evento;
5. Descrição do evento – qual trecho e posição do evento;
6. Equipamento de carga em que a carga foi realizada;
7. Operador da máquina de carga;
8. Transporte – caminhão que transportou a carga descentralizada;
9. Operador do caminhão;
10. Carga (*payload*) transportada;
11. Material transportado (ROM ou estéril);
12. Local de origem – bancada de operação;
13. Local de basculamento – destino.

Tendo em vista os dados que foram expostos, o objetivo geral do trabalho foi atendido. As regras criadas no sistema de telemetria e ajustadas com as comparações entre os diferentes *payloads* apresentaram o resultado esperado e os dados foram confiavelmente coletados a partir de junho de 2015.

No próximo item, será apresentado o plano de ação desenvolvido para a mitigação do problema.

### 3.5 PLANO DE AÇÃO PROPOSTO

#### 3.5.1 MELHORIA NA MANOBRA DOS CAMINHÕES

Um dos parâmetros observados em campo e que tem forte influência no posicionamento dos caminhões para recebimento da carga é a forma de conduzir a manobra para encosto na praça de carregamento. Uma manobra mal realizada, na qual deixa o caminhão muito próximo ou afastado da máquina de carga, dificulta os passes e,

consequentemente, a centralização da carga final. A Figura 47 abaixo exemplifica as etapas para realização de uma boa manobra:

Figura 47 - Sequência para realização da manobra



Fonte: Dados da pesquisa.

Na parte 1, o operador do caminhão antecipa a manobra enquanto o escavadeirista busca o primeiro passe de material na frente de lavra. Na segunda parte, o operador do caminhão aguarda o posicionamento da escavadeira com o braço de escavação suspenso e obtém um ponto de referência para manobra em marcha ré. Finalizando, ele realiza o encosto de acordo com as distâncias exigidas da frente de lavra e é orientado pelo seu ponto de referência.

Como o ponto de referência é individual, uma boa prática é a instalação de um cone no cilindro das máquinas para padronização deste ponto, em busca do nivelamento de todos os operadores. Alguns cones de referência foram instalados em algumas escavadeiras e o resultado foi positivo, os quais serão apresentados no próximo capítulo.

### 3.5.2 ESTUDO DO CARREGAMENTO

Durante a operação de carregamento com máquinas grande porte, deve-se levar em consideração o posicionamento de cada passe (cargas) sobre a caçamba dos caminhões. De forma geral, a granulometria do material escavado interfere na concepção final do cone formado. Os levantamentos realizados em campo comprovaram que, para o ROM do Complexo Itabira, a melhor forma de buscar a centralização da massa final é o posicionamento uma carga sobre a outra na estrutura do caminhão, como pode ser visto na Figura 48.

Figura 48 - Sequência proposta para carregamento do ROM



Fonte: Dados da pesquisa.

Como mencionado anteriormente, o foco do trabalho foi o levantamento das cargas do minério, por apresentar maior densidade relativa e, assim, menor cone formado. Para carregamento e transporte do estéril, o volume da carga é maior, diminuindo a necessidade de acerto do primeiro passe e os demais seguintes (Figura 49). Por ocupar praticamente toda a área útil da caçamba, a centralização do estéril apresenta menor dificuldade de centralização.

Figura 49 - Diferença entre volumes formados entre o ROM (esquerda) e o estéril (direita)



Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 49 exemplifica uma carga típica de ROM e uma de estéril. O operador de máquina de carga tem maior liberdade no posicionamento dos passes quando em frentes de estéreis. Alguns materiais, por apresentarem baixa densidade, não atingem a carga média prevista para o CAT 793 D (240 toneladas) e podem ser escavados até atingimento do volume total útil da caçamba.

### 3.5.3 DIVULGAÇÃO PARA AS EQUIPES

Para o nivelamento de todos os envolvidos no processo e a divulgação da importância do controle e diminuição das ocorrências de cargas descentralizadas, foram distribuídos informativos nos turnos de revezamento para o conhecimento de todos os operadores.

Esses informativos, tal como o da Figura 50, são concebidos pela equipe de Instrução da operação de mina e visam sempre ao aperfeiçoamento das operações, variando o assunto semanalmente. Ele também abrange questões operacionais bem como as de segurança.

Figura 50 - Informativo da operação de mina



Fonte: Dados da pesquisa.

#### 4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Após os ajustes necessários no sistema Minecare para coleta e armazenamento dos dados, iniciou-se as análises da evolução dos registros dos alarmes gerados da operação.

Na Tabela 1, segue a apresentação dos dados do total de material ofertado nas três plantas do Complexo Itabira entre os meses de junho a outubro de 2015.

Tabela 1: Total de massa ofertada nas britagens e porcentagem de cargas descentralizadas

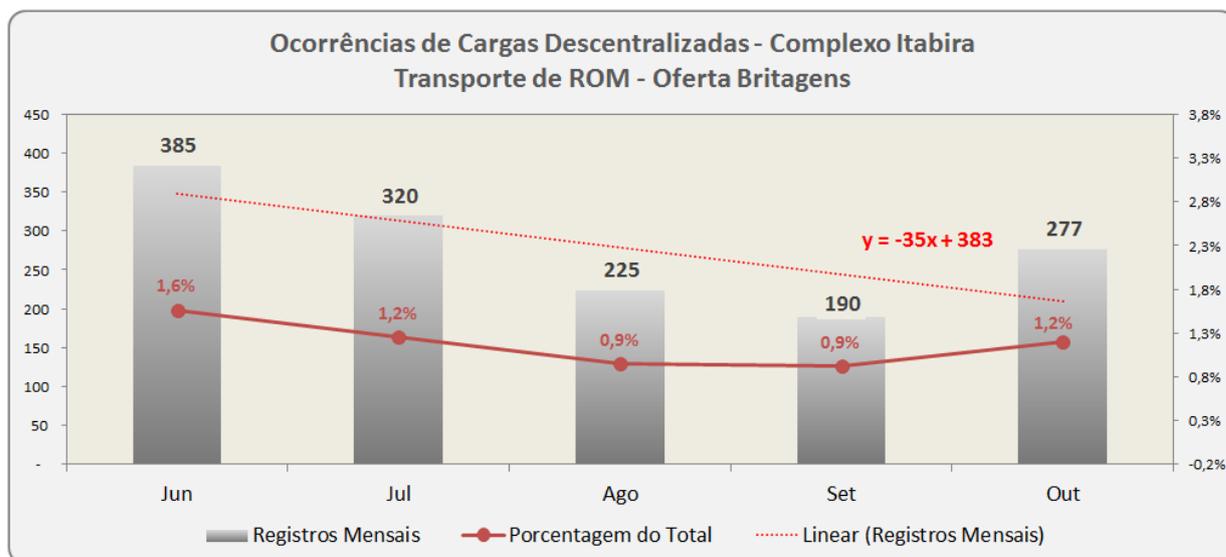
Mês	Oferta de ROM (t) Complexo Itabira	Viagens totais	Cargas Descentralizadas Mês	% do Total Cargas ROM Descentralizadas
Jun	5.809.063	24.692	385	1,6%
Jul	6.007.377	25.614	320	1,2%
Ago	5.818.168	23.842	225	0,9%
Set	5.217.746	20.738	190	0,9%
Out	5.780.306	22.998	277	1,2%

Fonte: SISTEMA DE DESPACHO E MINECARE, 2015.

Os acessos às plantas de beneficiamento do Complexo Itabira foram monitorados por meio das regras criadas no sistema para coleta e armazenamento dos dados das pressões de suspensões dos caminhões de junho a outubro. Todo equipamento de transporte, ao transitar nestes trechos, foram monitorados e as respectivas cargas classificadas. Assim, organizando os dados em forma gráfica (Figura 51), tem-se:

- a) No mês de junho, um total de 385 cargas descentralizadas no transporte de ROM em Itabira. Este número representa 1,6% do total de cargas do minério naquele mês (24.692 cargas ofertadas nas britagens). Com o andamento do plano de ação e o acompanhamento diário turma a turma, obteve-se bons resultados, mantendo nos meses de agosto e setembro a porcentagem em 0,9% do total de cargas.
- b) Em outubro, a porcentagem das cargas descentralizadas subiu em relação ao total, sendo de 1,2%. Algumas possíveis causas deste aumento foram levantadas e serão apresentadas no próximo item.

Figura 51 - Evolução das ocorrências de cargas descentralizadas



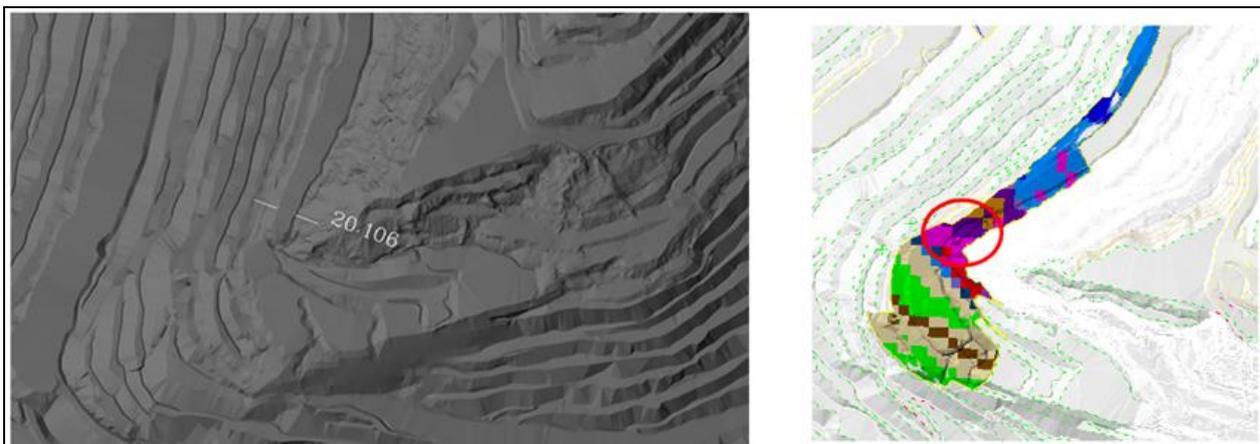
Fonte: SISTEMA DE DESPACHO E MINECARE – OPERAÇÃO DE MINA ITABIRA, 2015.

#### 4.1 ESTUDO DO MÊS DE OUTUBRO

No mês de outubro houve uma interferência na lavra de uma escavadeira tipo *shovel* hidráulica, uma PC5500 da Komatsu, equipamento de tag EM2970. Como foi mencionada na revisão bibliográfica (conforme item 2.2), a área de operação ou praça de carregamento deve respeitar o porte dos equipamentos, sendo esta uma particularidade de cada frota. Além disso, áreas estreitas dificultam as manobras dos caminhões e prejudicam o posicionamento dos mesmos, tornando mais complicada a centralização de cargas e a produtividade da mina.

Ainda, espaços confinados forçam os operadores, algumas vezes, a carregarem caminhões pela traseira, prática não comum e que eleva os riscos operacionais. Tal situação deve ser evitada, mas, neste caso particular, foi necessária a realização da lavra para oferta de hematita as britagens, sendo uma das poucas frentes de oferta deste tipo de material disponível naquele mês (Figura 52).

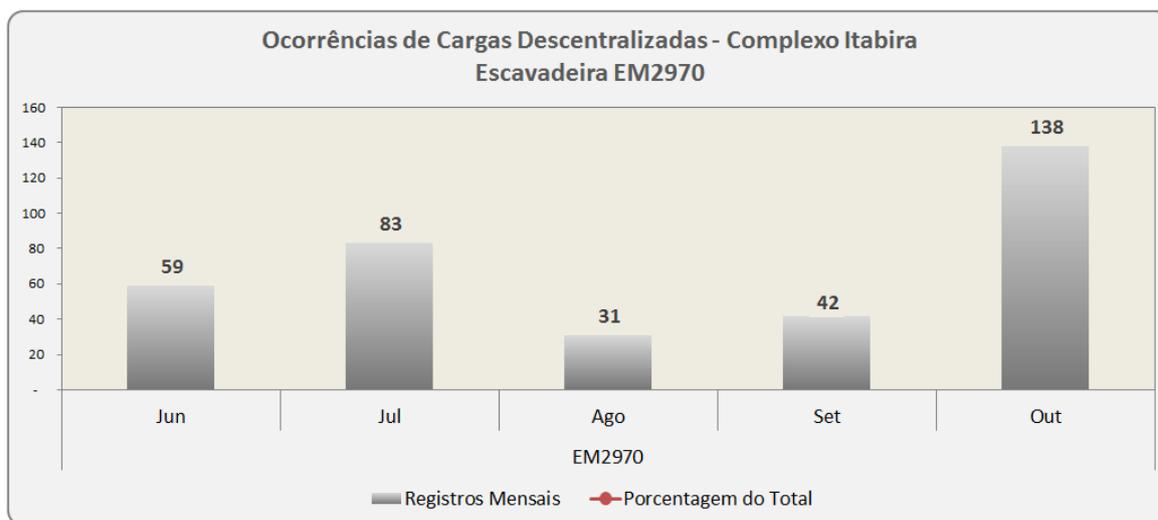
Figura 52 - Plano de lavra da EM2970 mostrando ponto de estreitamento



Fonte: PLANO DE LAVRA DE OUTUBRO, PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO ITABIRA, VALE S.A, 2015.

O resultado dessa necessidade foi refletido em uma maior geração de cargas descentralizadas pela escavadeira, sendo representada no gráfico apresentada na Figura 53.

Figura 53 - Evolução de cargas descentralizadas da operação com a EM2970



Fonte: SISTEMA DE DESPACHO E MINECARE – OPERAÇÃO DE MINA ITABIRA, 2015.

Como pode ser visto nesse gráfico acima, a escavadeira EM2970 passou por pontos de estreitamentos durante a lavra na mina de Conceição no mês de outubro e teve influência negativa com o aumento nas ocorrências de cargas mal centralizadas. No total, foram 138 cargas, representando quase 50% do total (277 cargas).

#### 4.2 ESTIMATIVAS DE GANHO – REDUÇÃO DE GASTO COM PNEUS

Utilizando os resultados alcançados pela queda no transporte de cargas descentralizadas no período analisado, pode-se realizar uma estimativa de ganho, ou, possível economia gerada com pneus caso o perfil de cargas transportadas fosse estável próximo a 0,9% das cargas de ROM.

Assumindo como ano base 2014, a operação de mina de Itabira sucateou (retirou dos caminhões por atingimento da vida útil) 307 pneus com hora trabalhada média de 8.375 horas. Como mencionado anteriormente, as horas trabalhadas de pneus OTR são importantes para orçamentos gerenciais e devem ser acordadas entre as partes envolvidas (operação, manutenção e fornecedores) para formulações de planos de ação, visando o atingimento e entrega do custo operacional dentro das faixas estipuladas.

Verificou-se que o transporte de cargas descentralizadas penaliza um dos lados do equipamento e interfere diretamente nas condições de operação dos pneus, como mudança nos parâmetros de temperatura e pressão. Aliados as condições da pista de rolamento e distância percorrida entre as frentes de lavra, as horas trabalhadas média dos pneus podem sofrer variações consideráveis. Segundo o guia de operação e manutenção da fabricante de pneus Michelin (2012), o transporte de sobrecargas pelos caminhões podem ser provenientes:

- Da natureza e/ou do estado do material trabalhado (densidade, tamanho dos fragmentos transportados);
- De carregamento inadequado que leva a repartição desigual das cargas sobre os pneus.

Ainda segundo o guia de utilização, a título indicativo, tem-se a interferência na longevidade dos pneus com as seguintes proporções, relacionando com a porcentagem de sobrecargas transportadas:

Tabela 2: Relação entre sobrecarga e redução da longevidade de pneus

Sobrecarga em %	Redução da Longevidade em %
10	15
20	30
30	50

Fonte: MICHELIN, 2012.

Verificou-se, durante o transporte de cargas descentralizadas, que o potencial de elevação das pressões de suspensões é de 33%, quando assumem valores de 18 KPa em comparação com a normalidade de 12 KPa. Seguindo a distribuição correta da carga para o caminhão caterpillar 793 D, equipamento em estudo, temos que a distribuição da carga deve obedecer a seguinte distribuição, seguindo a proporção 2/1 entre os eixos traseiro e dianteiro (conjunto de pneus):

Tabela 3: Distribuição da sobrecarga sobre os eixos do caminhão

	% Carga	Sobrecarga
Eixo Traseiro	67%	22%
Eixo Dianteiro	33%	11%

Fonte: CATERPILLAR, 2010.

A redução no transporte de cargas descentralizadas de ROM verificada no período entre os meses de junho a outubro demonstrou um potencial de redução de 1,6% (maior incidência de cargas mal centradas) para 0,9%, resultado alcançado em dois meses consecutivos, agosto e setembro. Para realizar a estimativa possível de redução no gasto com pneus em 2014, admitiu-se que a porcentagem de cargas descentralizadas neste ano no transporte de hematitas e itabiritos foi de 1,6%, maior incidência detectada. A redução executada de 43,7% (1,6% para 0,9%) e aliada à

sobrecarga encontrada no eixo traseiro, sendo de 22%, encontra-se na tabela 02 uma relação de redução na longevidade dos pneus em até 30%, pode-se fazer o cálculo:

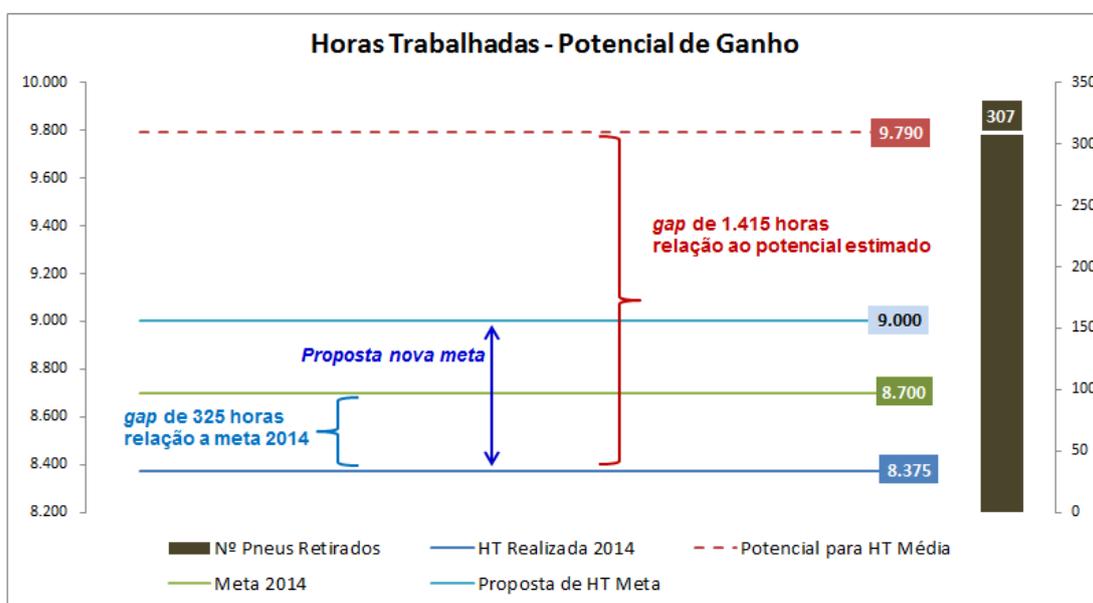
$$\text{Redução} = (1 - 43,7\%) * 30\% = 16,9\% \text{ a menos de influência na redução de longevidade de pneus.}$$

Para efeito de estimativa e assumindo esse patamar em aumento real de horas trabalhadas de pneus, pode-se calcular um potencial de ganho, considerando melhoria nas condições de operação dos pneus:

$$= 8.375 \text{ HT} * 1,169 = 9.790 \text{ horas trabalhadas.}$$

Este patamar de horas potencial encontrada deve ser analisado na prática levando-se em consideração as condições operacionais que os pneus em operação apresentam em níveis de segurança e bem estar das pessoas envolvidas no processo. Algumas práticas de rodízio de pneus podem ser realizadas para garantia da segurança, como utilização de pneus mais rodados na posição interna do eixo traseiro. Para o ano 2014 base de cálculo, tem-se a seguinte situação:

Figura 54 – potencial de ganho de HT de pneus.



Fonte: BANCO DE DADOS OPERAÇÃO DE MINA, ITABIRA, 2015.

O valor estimado potencial de 9.790 horas não leva em consideração todos os demais fatores que influenciam na longevidade dos pneus que foram expostas neste trabalho, podendo estar superestimado. Encontrar um patamar de hora trabalhada máxima que mantém a segurança da operação com pneus grande porte é complexa e pode não representar a realidade da operação.

A meta para o ano de 2014 foi de 8.700 horas, sendo que a média dos pneus retirados foi de 8.375 horas. Sabe-se que há oportunidade de aumento, e que o controle de cargas descentralizadas durante o carregamento representa uma parcela de contribuição. Propõe-se, para efeito de estimativa de redução de gasto com consumo de pneus, uma nova meta para atingimento de horas trabalhadas de pneus, sendo de 9.000 horas (conforme figura 54). Realizando o cálculo para apenas alcance da meta, tem-se:

$$8.700 \text{ horas} - 8.375 \text{ horas} = 325 \text{ horas abaixo da meta}$$

Para encontrar a quantidade de pneus que seria poupada, caso a meta tivesse sido atingida, multiplica-se a diferença entre a meta pela hora realizada e o quantidade de pneus retirados. O resultado divide-se pelo patamar de HT realizada no ano em questão, segue:

$$\text{N}^\circ \text{ pneus} = 325 \text{ horas} * 307 \text{ pneus} = 99.775 \text{ horas de pneus a menos;}$$

$$\text{N}^\circ \text{ pneus} = 99.775 \text{ horas} / 8.375 \text{ horas}$$

$$\text{N}^\circ \text{ pneus poupados} = 11,9 \text{ unidades}$$

Sabendo o preço de cada pneu, calcula-se o valor que seria economizado pela operação em 2014:

$$\text{Economia} = 11,9 \text{ pneus} * \text{R\$ } 120.000,00 = \text{R\$ } 1.429.612,00$$

Este valor representa a possível economia gerada caso as horas trabalhadas média dos pneus em 2014 tivesse sido atingida, em 8.700 horas, meta de 2014.

O presente trabalho revelou a importância em se conhecer o perfil de carregamento no quesito de repartição de carga sobre a caçamba dos caminhões. Com as demais ações necessárias a desenvolver na operação, como melhoria nas vias de acesso,

controle da velocidade média, diminuição do transporte de sobrecargas e menores distâncias, uma nova meta de hora para sucateamento pode ser traçada. Analisando o patamar encontrado do potencial de atingimento, propõe-se uma nova meta e faz-se o cálculo da estimativa de ganho para 9.000 horas:

$$9.000 \text{ horas} - 8.375 \text{ horas} = 625 \text{ horas de aumento}$$

$$\text{N}^\circ \text{ pneus} = 625 \text{ horas} * 307 \text{ pneus} = 191.875 \text{ horas de pneus a mais};$$

$$\text{N}^\circ \text{ pneus} = 191.875 \text{ horas} / 8.375 \text{ horas}$$

$$\text{N}^\circ \text{ pneus} = 22,9 \text{ unidades}$$

$$\text{Economia em relação 2014} = 22,9 \text{ pneus} * \text{R\$ } 120.000,00 = \text{R\$ } 2.748.000,00.$$

O valor de economia estimado acima pela redução na compra de novos pneus se baseia nas condições encontradas em 2014 no site de Itabira e propõe-se um aumento de vida útil para os mesmos em 9.000 horas. A não utilização do patamar máximo encontrado (9.790 horas) pode ser entendida como uma ação conservadora visto que parâmetros de segurança começam a interferir na operação.

A decisão na retirada de pneus deve ser acompanhada por técnicos devidamente treinados que possam passar o laudo real das causas de sucateamento. Lembrando que a manutenção da segurança das pessoas envolvidas no processo é o principal item analisado e, pneus que a ameaçam, mesmo com baixos valores de horas trabalhadas, devem ser sucateados a fim de evitar acidentes.

## 5 CONCLUSÃO

Cargas descentralizadas atuam negativamente na longevidade dos pneus OTR e devem ser combatidas nas operações mineiras. Nesse contexto, os parâmetros de operação afetados diretamente são temperatura e pressão destes componentes. Assim sendo, pneus em operação com estes valores fora das especificações sofrem danos irreversíveis, causando sucateamentos precoces e onerando os custos operacionais e ambientais, além de colocarem em risco a segurança das pessoas e equipamentos envolvidos no processo.

Diante do exposto, o presente trabalho revelou que é possível criar um banco de dados por meio da coleta de parâmetros via telemetria, aumentar a gestão dos ativos e entender as possíveis causas das ocorrências. Os registros das ocorrências podem conter informações valiosas para a operação como local de realização da carga, operadores que necessitam de treinamento, horário dos eventos, equipamentos envolvidos e material transportado. Desse modo, todos estes dados podem ser usados para uma melhor gestão de treinamentos e controle dos custos na fase de carregamento e transporte.

Sendo o mês de junho como referência, uma vez que é o mês inicial de controle efetivo, obteve-se um percentual de 1,6% das cargas de ROM classificadas como descentralizadas. Foram registrados os menores patamares nos meses de agosto e setembro, 0,9%, o que representa uma queda de 43% comparada com o mês de junho. Posteriormente, no mês de outubro obteve-se a interferência (estreitamento da área de manobra) na lavra de uma escavadeira *shovel* hidráulica e, conseqüentemente, uma elevação dos registros para 1,2%.

Estimativas de redução no gasto com aquisição de novos pneus demonstraram a potencialidade das ações propostas e devem ser mantidas para atingimento de novas metas. Sendo o gasto com pneus um dos maiores na operação com utilização do sistema escavadeira-caminhão, o controle dos parâmetros de operação deve ser de domínio da gestão e do corpo técnico. Caso a meta de 2014 tivesse sido atingida, a economia gerada teria sido próximo de R\$ 1.430.000,00, valor considerável em momentos de crise.

Uma boa ferramenta utilizada no desenvolvimento do trabalho é o uso da telemetria para controle dos parâmetros *online* dos equipamentos e se torna cada vez mais presente nas áreas operacionais. Juntamente com a automação, pode se tornar forte

tendência na criação de novos sistemas que eliminam os erros humanos, como a centralização de cargas.

Foi possível concluir, portanto, que a continuidade das ações e o engajamento de todos os envolvidos no processo são de fundamental importância para a manutenção dos patamares abaixo de 1% do valor total de cargas de ROM no Complexo Itabira. Isso pode, posteriormente, possibilitar o cálculo de ganho em horas trabalhadas dos pneus e gerar economia por meio da diminuição das cargas descentralizadas.

## REFERÊNCIAS

ATKINSON, T. *SME Mining Engineering Handbook*. 2 ed. Society for Mining Metallurgy & Exploration, 1992. v. 2.

BUCYRUS. *Bucyrus 295HR Escavadeira de Mineração*: manual de manutenção e operação. Bucyrus International, 2010.

CATERPILLAR. Cat 7295: Electric Rope Shovel: Specifications. 2011. Disponível em: <[www.mining.cat.com](http://www.mining.cat.com)>. Acesso em: 14 mar. 2016.

CATERPILLAR. *A reference guide to surface mining applications*: Field Guide. 2013. Disponível em: <[www.mining.cat.com](http://www.mining.cat.com)>. Acesso em: 14 mar. 2016.

*Manual do caminhão CAT793 D*. 2010. Disponível em: <[www.mining.cat.com](http://www.mining.cat.com)>. Acesso em: 14 mar. 2016.

*Manual da escavadeira PC5500*. 2016. Disponível em: <http://www.komatsuamerica.com/equipment/excavators/miningexcavatorsshovels/pc5500-6>.

CHAMANARA, A. *Enhancing mine haul truck KPI's via payload balance*. Edmonton: Alberta, 2013.

FERNANDES V. *Telemetria aplicada a manutenção de caminhões*: um estudo sobre seus efeitos no setor de manutenção de uma empresa mineradora. Monografia (Bacharelado em Administração). 2013. 68f. Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira: Itabira, 2013.

GOODYEAR. *Tire maintenance manual: off the road*. Disponível em: <[http://www.goodyearotr.com/cfmx/web/otr/info/pdf/otr\\_MaintenanceManual.pdf](http://www.goodyearotr.com/cfmx/web/otr/info/pdf/otr_MaintenanceManual.pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2016.

TEIXEIRA, L. *Payloads analysis using telemetry*. World Mining Congress: Rio de Janeiro, 2016.

MCGARRY, P. *Haul truck tires and open pit mining applications*. Kingston: Ontario, 2007.

MICHELIN. *Guia de utilização e manutenção: pneus engenharia civil*. 2012. Disponível em: <http://www.michelinearthmover.com>. Acesso em: 15 mar. 2016.

MINECARE. *Manual de treinamento do usuário*. Arizona: [s.n.], 2008. Disponível em: <<http://www.modularmining.com/product/minecare-3/#tab-0>>. Acesso em: 16 mar. 2016.

TANNANT, D.D; REGENSBURG, B. *Guidelines for mine haul road design*. University of British Columbia - Okanagan, 2001.

WOODMAN. C. A; CUTLER, A.T. *Tire selection, use and operational issues to maximize tire life.* , 2002, p. 18. Disponível em: <http://www.otraco.com/publications/>.