

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Departamento de Engenharia de Minas
Curso de Especialização em Engenharia de Recurso Mineral

Marina Cunha Galvão de França

**PROPOSIÇÃO DE REDUNDÂNCIA PARA VALIDAÇÃO DE DADOS DOS
SISTEMAS DE DESPACHO PARA EQUIPAMENTOS DE INFRAESTRUTURA DE
MINA**

Belo Horizonte

2024

Marina Cunha Galvão de França

**PROPOSIÇÃO DE REDUNDÂNCIA PARA VALIDAÇÃO DE DADOS DOS
SISTEMAS DE DESPACHO PARA EQUIPAMENTOS DE INFRAESTRUTURA DE
MINA**

Monografia de especialização apresentada ao
Curso de Especialização em Engenharia de
Recursos Minerais da Universidade Federal de
Minas Gerais como requisito parcial para a
obtenção de título de Especialista em
Engenharia de Recurso Mineral.

Orientadora: Profa. Dra. Viviane Borges
Barbosa

Belo Horizonte

2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

UFMG

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS MINERAIS

ATA DA DEFESA DO ARTIGO DA ALUNA MARINA CUNHA GALVÃO DE FRANÇA

Realizou-se, no dia 12 de dezembro de 2023, às 8:00 horas, na plataforma MS TEAMS da Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa do artigo intitulado "PROPOSIÇÃO DE REDUNDÂNCIA PARA VALIDAÇÃO DE DADOS DOS SISTEMAS DE DESPACHO PARA EQUIPAMENTOS DE INFRAESTRUTURA DE MINA", apresentado por MARINA CUNHA GALVÃO DE FRANÇA, número de registro 2021698860, graduada em engenharia DE MINAS, como requisito parcial para a obtenção do certificado de Especialista em ENGENHARIA DE RECURSOS MINERAIS, à seguinte Comissão Examinadora: Professora Viviane Borges Barbosa- Orientadora, Professor Michel Melo Oliveira (Universidade Federal de Minas Gerais), Engenheira Janaina Gonçalves Santos (Vale).

A comissão considerou a defesa do artigo:

Aprovada

Reprovada

Nota: 90

Finalizando os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.

Belo Horizonte, 12 de dezembro de 2023.

Viviane Borges Barbosa
Professora do Departamento de
Engenharia de Minas/UFMG

Professora Viviane Borges Barbosa (Doutora)

Michel Melo Oliveira
Secretaria do Curso de Especialização
em Engenharia de Recursos Minerais

Professor Michel Melo Oliveira (Doutor)

Documento assinado digitalmente
gov.br
MICHEL MELO OLIVEIRA
Data: 2023.12.12 08:00:00
URL: <http://portal.ufmg.br>

Professor Michel Melo Oliveira (Doutor)

RESUMO

Em um cenário de crescente competitividade no mercado da mineração, espera-se que as empresas tenham resultados constantes e previsíveis, sendo essencial que elas acompanhem o desempenho de seus ativos. Os Indicadores-Chave de Desempenho, conhecidos por sua sigla em inglês KPIs, são utilizados no gerenciamento da frota de equipamentos móveis como referências a serem alcançadas. Os dados que são monitorados por diversos sistemas devem ser fidedignos à realidade operacional para que possam ser utilizados em análises que envolvam medições de desempenho. A Utilização é um dos principais KPIs acompanhados. É calculada através dos apontamentos em sistemas de despacho, feitos manualmente pelo operador do equipamento e, conseqüentemente, seu cálculo está sujeito a erros. O presente trabalho visa apresentar um método comparativo entre dados provenientes do sistema de despacho e do sistema de telemetria das frotas de infraestrutura de mina, de modo a estabelecer um indicador de aderência entre esses dados. Os objetivos são permitir a identificação de inconsistências e possibilitar a tratativa de desvios, e aumentar a confiabilidade da Utilização para, conseqüentemente, melhor representar a realidade operacional. Finalmente, são propostas duas formas para se calcular a aderência entre os dados de despacho e os dados de telemetria e é escolhido o trator de esteiras para mostrar, teoricamente, como o cálculo pode ser realizado.

Palavras-chave: Indicadores de desempenho; Confiabilidade; Despacho; Telemetria; KPI.

ABSTRACT

In a scenario of growing competitiveness in the mining market, companies are expected to have constant and predictable results, making it essential that they monitor the performance of their assets. Key Performance Indicators, known by their acronym KPIs, are used in the mining equipment fleet management as references to be achieved. The data that is monitored by different systems must be reliable to operational reality so that it can be used in analyzes involving performance measurements. Utilization is one of the main KPIs monitored. It is calculated through report of the dispatch system, made manually by the equipment operator and, therefore, its calculation is subject to errors. The present work aims to present a comparative method between the data from the dispatch system and the telemetry system of the mine infrastructure fleets, in order to establish an indicator of adherence between these data. The objectives are to allow the identification of inconsistencies and enable the handling of deviations, and increase the reliability of Utilization to, consequently, better represent the operational reality. Finally, two ways are proposed to calculate the adherence between dispatch data and telemetry data and the bulldozer was chosen to demonstrate, theoretically, how the calculation can be carried out.

Keywords: Key performance indicators; Reliability; Fleet management system; Telemetry; KPI.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
1.1 Revisão Bibliográfica	7
1.1.1 Trator de esteira	7
1.1.2 Utilização Física.....	9
1.1.3 Sistemas de despacho e de telemetria	12
2 METODOLOGIA PARA CRIAÇÃO DE REDUNDÂNCIA	13
3 RESULTADOS	15
3.1 Limitações	17
4 CONCLUSÕES	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

1 INTRODUÇÃO

Em geral, quando se considera operações unitárias de uma mina a céu aberto, o transporte é a etapa que representa a maior parcela do custo de lavra, chegando a até 50% do valor total [1]. Sendo o consumo de óleo diesel e os gastos com troca de pneus os principais responsáveis pelo alto custo operacional do transporte, é de extrema importância que as vias e acessos que os equipamentos trafegam estejam em boas condições.

A infraestrutura de mina é a área responsável não só pelos acessos, mas também pelas atividades de suporte às operações unitárias de lavra. Seu principal objetivo é garantir que as operações unitárias executem ciclos seguros e com alta produtividade. A aspersão das vias e acessos para controle de particulados, confecção e manutenção das estradas e drenagens, recebimento de material para formação de pilhas de minério, estéril ou rejeito e sinalização da mina são exemplos de atividades desenvolvidas pela infraestrutura de mina [2].

Tratores de esteira, motoniveladoras, caminhões pipa, retroescavadeiras, carregadeiras auxiliares e tratores de pneu são alguns dos equipamentos que podem compor a frota de infraestrutura de mina para, por exemplo, a indústria do minério de ferro. Assim como para os equipamentos de operação de mina (carregamento e transporte), a frota de infraestrutura de mina também pode ser gerenciada por um sistema de despacho e monitorada por um sistema de telemetria.

Telemetria significa “medir à distância”. A rigor, um sistema de despacho realiza telemetria ao medir dados de produção e uso dos equipamentos, além de usualmente medir localização, velocidade e em alguns casos peso da carga, acionamento de báscula e horímetro, dentre outros. Entretanto, este artigo utiliza o termo telemetria para referir aos sistemas de medição direta de componentes mecânicos e elétricos do equipamento, como comumente é referido pela indústria de mineração; entretanto, um sistema de despacho também poderia ser classificado como um tipo de sistema telemétrico. Para que os termos utilizados correspondam fielmente às ideias apresentadas neste artigo, define-se:

- **Sistemas de Despacho:** instrumentação necessária para monitorar a produtividade do equipamento, dotado, necessariamente, de uma interface que precisa de entradas manuais para registrar dados;

- **Sistemas de Telemetria:** instrumentação necessária para monitorar, à distância, componentes mecânicos e elétricos de um equipamento, o qual dispensa o intermédio do operador para capturar e registrar dados.

O objetivo deste trabalho é propor uma metodologia que combine os dados gerados por sistemas de despacho com os dados gerados por sistema de telemetria, a fim de proporcionar maior confiabilidade aos indicadores de desempenho. Para exemplificar os resultados que podem ser obtidos através da aplicação da metodologia proposta, optou-se pelo equipamento de infraestrutura trator de esteira.

1.1 Revisão Bibliográfica

1.1.1 *Trator de esteira*

Tratores são unidades autônomas que executam tração ou empurram outras máquinas, podendo ter diversos implementos a fim de personalizar seu uso. Para possibilitar sua locomoção, são montados sobre esteiras ou sobre rodas. Atividades que exigem esforços mais elevados, terrenos irregulares e com maior declividade favorecem a escolha dos tratores de esteira, uma vez que a esteira é formada por placas de aço ligadas formando articulações que permitem maior adaptação a irregularidades do terreno [3]. As empresas Caterpillar, Komatsu, New Holland, John Deere e Case são exemplos de fornecedores de tratores de esteiras para a mineração.

Tratores de esteira na mineração fazem a movimentação de materiais em superfícies irregulares, trazendo estabilidade e tração em superfícies muito inclinadas, encharcadas e com a presença de rochas, que são impróprias para a circulação de veículos com rodas. São equipamentos muito comuns na preparação de acessos e na conformação e espalhamento de material em pilhas de estéril. No mercado, os tratores de esteira estão disponíveis em diferentes tamanhos e portes, como por exemplo os modelos disponíveis da Caterpillar, que vão do trator D4 (97 kW de potência e peso operacional de 13.500 kg), ilustrado na Figura 1, até o D11 (634 kW de potência e peso operacional de 104.236 kg), ilustrado na Figura 2 [4].



Figura 1: Trator de esteira CAT D4

Fonte: [5]



Figura 2: Trator de esteira CAT D11

Fonte: [6]

A mineração a céu aberto desenvolve-se em ambientes classificados como pesados, ou seja, as máquinas estão expostas a constante poeira devido às superfícies de terra e são submetidas as intempéries do tempo (sol, chuva, cerração, neve). Os tratores de esteira são utilizados nesses ambientes austeros para diversas atividades como a criação e manutenção de praças e acessos, no desmonte mecânico (escarificação de camadas centimétricas), na supressão vegetal para a abertura de áreas no início de projetos, na compactação de aterros e no espalhamento e conformação de material para a formação de pilhas de estéril.

Tratores de esteira, além de transitarem sobre diferentes tipos de terreno, têm a capacidade de transportar ou empurrar cargas pesadas por meio da lâmina que se encontra na parte frontal do equipamento. Existem diversos modelos de lâminas de acordo com a atividade que o trator irá exercer, como, por exemplo, a lâmina universal (lâmina “U”), usada para movimentar grandes cargas por longas distâncias, e a lâmina semiuniversal (lâmina “SU”), usada para atividades em que a penetração é mais importante do que a capacidade de transporte [7].

O trator de esteira pode possuir também, em sua parte traseira, o escarificador que é uma ferramenta usada para penetrar e desagregar o material, facilitando o trabalho de escavação [8]. Os escarificadores podem ser de pontas simples, como ilustrado na Figura 3, ou de pontas múltiplas. Na lavra em tiras, o trator de esteira é um importante equipamento de operação de mina.



Figura 3: Vista traseira e lateral de um trator de esteiras

Fonte: Adaptado de [7]

1.1.2 Utilização Física

Indicadores-Chave de Desempenho são, comumente, referenciados pela sigla KPI (*Key Performance Indicator*). Um dos principais KPIs de frota de mineração é a Utilização Física (UF), uma vez que representa, em porcentual, o quanto o sistema foi utilizado enquanto estava disponível para operar, isto é, enquanto não estava em manutenção [9]. A UF é apresentada pela

Erro! Fonte de referência não encontrada..

$$UF = \frac{HT}{HC - HM} \times 100 \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde HT são as horas trabalhadas, HC são as horas calendário e HM as horas de manutenção. Se uma operação está prevista para funcionar 24 horas por dia, as HC são iguais a 24 horas.

A UF é um conceito ligado à forma que os operadores utilizam o equipamento para realizar tarefas operacionais e qualquer tempo gasto com tarefas consideradas não operacionais são, geralmente, classificadas como tempos perdidos. O tempo perdido representa o tempo que o equipamento ficou aguardando para retornar à execução de uma tarefa operacional. O tempo gasto para a troca de turno, para a refeição, para atendimento às necessidades fisiológicas são exemplos de tempos perdidos que, dificilmente, serão nulos mesmo considerando-se operações ideais; tempos perdidos por falta de operador ou por conduta inadequada são exemplos de tempos perdidos que podem ser evitados ou que precisam ser minimizados.

Os tempos perdidos correspondem às horas ociosas (HO) e impactam diretamente na UF, uma vez que representam a parcela das horas disponíveis em que o equipamento não estava exercendo sua tarefa fim. Isso significa que o numerador da Equação 1 (HT) será reduzido quando houver HO contabilizadas. Sendo assim, as horas disponíveis são compostas pela soma das horas trabalhadas e as horas ociosas.

Não é possível alcançar uma UF igual a 100% em um período muito longo, pois existem limitações do equipamento, da vida dos operadores ou do próprio sistema que, no limite, implicarão na execução de tarefas classificadas como ociosas; mesmo se operações autônomas fossem consideradas, a UF não seria igual a 100%. Entretanto, através do detalhamento das HO, é possível saber a distribuição dos tempos ociosos e se existem atividades classificadas como ociosas que podem ser reduzidas ou eliminadas.

Nas minas que possuem sistema de despacho, os equipamentos têm em sua cabine o computador de bordo do sistema, por onde acontece a interface homem-máquina, como ilustra a Figura 4. O computador de bordo é utilizado pelos operadores dos equipamentos para fazer apontamentos de códigos que melhor representam as atividades que estão executando naquele momento. Esses códigos são, geralmente, categorizados em HT, HO e HM e é por meio desses apontamentos que o indicador de UF é calculado. Tendo isso em vista, é essencial que os operadores façam o apontamento correto dos códigos para garantir a representatividade da realidade operacional e, conseqüentemente, a confiabilidade do indicador que está sendo acompanhado.



Figura 4: Computador de bordo do sistema de despacho MinePro[®] na cabine de uma pá carregadeira (esquerda) e de um caminhão (direita)

Fonte: [10]

Os apontamentos de códigos que servem de base para cálculo dos KPIs, no entanto, estão sujeitos a erros, uma vez que são feitos de forma manual pelo operador do equipamento. Esses erros podem acontecer por diversos motivos, sendo alguns deles:

- i. o desconhecimento do operador sobre a importância do correto apontamento;
- ii. a crença de que não há necessidade de apontar ociosidades de menor duração;
- iii. esquecimento;
- iv. avaria no computador de bordo;
- v. área sem cobertura de sinal do despacho; entre outros.

Os operadores de despacho, que são as pessoas que trabalham na central de despacho, devem acompanhar a operação e os códigos que estão sendo apontados e efetuar as correções que forem necessárias, visando aumentar a aderência entre o que está sendo registrado e o que está sendo executado. Logo, apesar de existirem rotinas que calculam prontamente a UF dos equipamentos monitorados, há sempre a preocupação sobre a qualidade do dado obtido, pois não há redundância no processo de obtenção de dados – a UF calculada pelo sistema de despacho baseia-se integralmente nas entradas (*inputs*) manuais realizados pelos operadores por meio dos apontamentos. Os despachantes devem acompanhar se os apontamentos indicados realmente correspondem à realidade. Em caso negativo, devem propor correções; em caso positivo, devem identificar situações que otimizem a produtividade da frota.

1.1.3 Sistemas de despacho e de telemetria

O despacho é um sistema de gerenciamento de frota e, para equipamentos móveis da mineração, pode ter alocação estática ou dinâmica. A alocação estática consiste em manter os caminhões em rotas fixas, isto é, com um ponto de carga e um ponto de basculamento de modo que o deslocamento seja apenas entre eles durante um determinado período. A alocação dinâmica, por sua vez, determina os pontos de carga e basculamento a cada interação, ou seja, os pontos de origem e destino dos caminhões não são fixos [11]. Assim, o caminhão, ao iniciar um novo ciclo, não retorna necessariamente à origem do ciclo anterior.

O sistema de despacho é amplamente utilizado em equipamentos móveis de mineração como os caminhões. É por meio dele que os principais KPIs como a Disponibilidade Física, Utilização Física e Produtividade são registrados. Os KPIs devem ser analisados e controlados de maneira efetiva e contínua para acompanhamento do desempenho dos ativos. Devem ser utilizados como base para a execução de ações corretivas e de melhorias, caso exista não conformidades ou ociosidade da frota [12]. São exemplos de sistemas de despacho para gerenciamento de frota na mineração: Modular Mining, SmartMine, JigSaw e MinePro.

Apesar de sua relevância para continuidade e qualidade da operação, por ser uma frota auxiliar, de apoio, e não estar diretamente ligada à produção, é comum que em algumas mineradoras a frota de infraestrutura não possua um acompanhamento dos despachantes e da liderança tão próximo e rigoroso quanto a frota de transporte. Por essa razão, erros nos apontamentos para equipamentos de infraestrutura tornam-se mais recorrentes.

Nesse cenário, é possível que os indicadores que estão sendo acompanhados possam não refletir as condições daquela operação, mostrando um valor de UF, por exemplo, que não corresponde à real utilização da frota. Indicadores não confiáveis ocultam problemas operacionais e impossibilitam uma correta tomada de decisão, uma vez que não traduzem a realidade.

Além do sistema de despacho, os equipamentos podem ter também sistemas de telemetria embarcados. Esses sistemas permitem o monitoramento remoto que objetiva controlar, medir ou rastrear o equipamento à distância, através de tecnologias de comunicação sem fio [13].

O sistema de telemetria faz leitura e transmissão de dados como rotação do motor, velocidade, acelerações e freadas, consumo de combustível e outros, registrando essas informações e permitindo que esses dados também sejam utilizados no gerenciamento da frota, almejando mais economia e segurança. O MineStar da Caterpillar, o MEMS (*Michelin Earthmover Management System*) da Michelin, MineCare da Modular Mining e o BlueTec da Sascar são exemplos de sistemas de telemetria.

Buscando uma alternativa para aumentar a confiabilidade dos dados registrados em sistemas de despacho, o presente trabalho tem o objetivo de estabelecer uma metodologia que compare os apontamentos feitos pelos operadores com os dados da telemetria do equipamento, de forma a identificar e tratar divergências no cálculo da UF. Tal comparação será feita através da verificação das horas apontadas como trabalhadas e das horas de equipamento ligado sem ociosidade registradas pela telemetria.

2 METODOLOGIA PARA CRIAÇÃO DE REDUNDÂNCIA

Para que a redundância seja criada, os tratores devem possuir a interface do sistema de despacho que receberá os apontamentos do operador e um sistema de telemetria capaz de medir a rotação do motor. Tais sistemas não precisam estar, necessariamente, integrados ou serem do mesmo fabricante.

Em geral, no sistema de despacho, os estados são classificados como horas trabalhadas (HT), horas ociosas (HO) e horas de manutenção (HM). No sistema de telemetria, os estados são classificados como o tempo de motor ligado e o tempo de motor desligado. O tempo de motor ligado deve ser classificado em 2 tipos: tempo ativo (tempo ligado sem ociosidade) e tempo ocioso (tempo ligado com ociosidade), conforme .

$$\textit{Tempo de motor ligado} = \textit{Tempo ativo} + \textit{tempo ocioso} \quad \text{Eq. (2)}$$

Sugere-se considerar como ociosidade o tempo de ignição ativa em que o equipamento está em marcha lenta por mais de 5 minutos. Essa é uma situação que, em geral, o equipamento está ligado, mas não está em movimento. O trator de esteiras fica em marcha lenta quando está aguardado para receber o material para conformar a pilha de estéril, por exemplo, quando tem que parar momentaneamente sua operação para que outros veículos adentrem a praça em que

está trabalhando ou quando o operador irá receber alguma instrução rápida da atividade. Nas outras horas ociosas do equipamento, como troca de turno, refeição, abastecimento, o motor deve ser desligado.

O tempo ativo, por sua vez, é o tempo em que o trator está locomovendo ou quando está efetivamente exercendo uma atividade-fim, como o nivelamento de uma praça de perfuração, espalhamento de material em pilha de estéril, conformação de forro para adequação de acesso etc. A locomoção acontece quando o trator precisa se deslocar entre frentes afastadas para realizar outra atividade e não há carreta prancha – equipamento comumente utilizado para transportar o trator de esteira – disponível para fazer o seu transporte. A locomoção é intrínseca à operação, mas, por serem sobre esteiras, o ideal é evitar longos deslocamentos desses tratores. Por recomendações do fabricante, um equipamento sobre esteiras deve evitar deslocamentos em linha reta, requerendo uma carreta prancha para fazer seu traslado quando ele é necessário.

Apesar de a locomoção ser classificada como hora ociosa no sistema de despacho, ela corresponderá ao estado de motor ligado sem que o equipamento esteja em marcha lenta. Sendo assim, para a redundância proposta, o apontamento de locomoção deve ser acrescentado às HT, como mostra a

$$\text{Tempo ativo} = HT + \text{horas de locomoção} \quad \text{Eq. (3)}$$

Os dados necessários para comparar as informações do sistema de despacho com a telemetria são, portanto: (i) HT e (ii) horas de locomoção apontadas no sistema de despacho de forma manual pelos operadores e (iii) as horas de motor ligado indicadas por um sistema de telemetria.

Antes do início do acompanhamento, é recomendado verificar se o sistema de telemetria está funcional e transmitindo os dados corretamente, além da verificação sobre a precisão das informações de horário dos relatórios com os dados de motor ligado, desligado e ociosidade. Os problemas encontrados devem ser corrigidos antes da aplicação da metodologia.

3 RESULTADOS

Os dados do despacho e telemetria podem ser utilizados para criar um *dashboard* no Power BI com o objetivo de expor, comparar e gerenciar as informações, como mostra a Figura 5. Dois gráficos de colunas empilhadas devem ser gerados contendo os seguintes itens no eixo horizontal (x): uma coluna correspondendo à informação do despacho, de quanto das 24 horas de cada dia correspondem a hora de manutenção, hora trabalhada e hora ociosa; e outra coluna correspondendo à informação da telemetria, de quanto das 24 horas de cada dia o motor estava ligado sem ociosidade, ligado com ociosidade e desligado. Para uma fácil comparação visual, um gráfico deve encontrar-se abaixo do outro e é aconselhável a aplicação de filtros por data e por equipamento para maior detalhamento. É interessante, também, detalhar por turma para verificar se há alguma com maiores desvios de apontamento ou se há alguma tendência de comportamento no comparativo entre os turnos diurnos e noturnos.

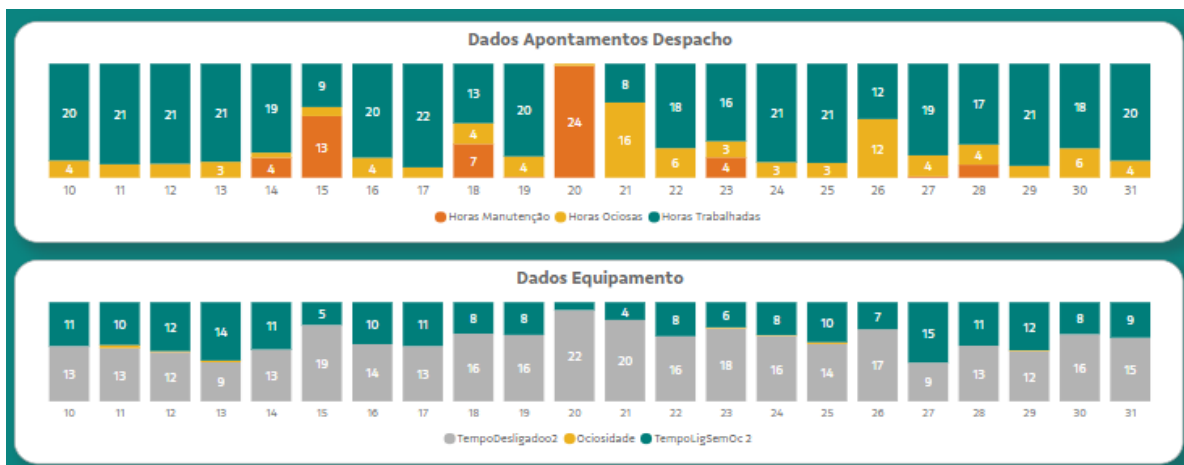


Figura 5: Gráficos comparativos entre dados dos sistemas de despacho (acima) e telemetria (abaixo) por dia, para ilustração da metodologia.

Para que a análise não seja apenas o comparativo visual do dia a dia, um indicador de aderência pode ser criado. Tal indicador é calculado pela divisão do tempo de motor ligado (telemetria) pela soma das horas trabalhadas (despacho) com o tempo ocioso (telemetria), conforme mostra a

$$Aderência = \frac{\text{Tempo de motor ligado}}{HT + \text{tempo ocioso}} \times 100 \quad \text{Eq. (4)}$$

Uma aderência menor do que 100% demonstra que a soma entre as horas trabalhadas com o tempo ocioso é um valor maior do que o tempo de motor ligado, isto é, houve horas apontadas como trabalhadas em que o equipamento estava, na verdade, com motor desligado. A aderência acima de 100% demonstra que houve horas de motor ligado sem ociosidade que não foram apontadas como horas trabalhadas. O esperado, então, é que a aderência seja igual a 100%, representando a correspondência entre os dados dos sistemas de despacho (operadores) e de telemetria (motor em funcionamento).

Um outro indicador para a aderência corresponde à razão entre o tempo ligado sem ociosidade e as horas trabalhadas, conforme mostra a

$$Aderência = \frac{Tempo\ ativo}{HT} \times 100 \quad \text{Eq. (5)}$$

Um resultado desta equação de aderência, por sua vez, menor do que 100% demonstra que houve horas apontadas como trabalhadas em que o equipamento estava, na verdade, ocioso. Neste caso, faz-se necessário atenção dos gestores pois o indicador de UF pode estar sendo mascarado por não apontamento de ociosidades da operação. Uma aderência acima de 100%, assim como na , demonstra que houve tempo ativo que não foi apontado como hora trabalhada, penalizando incorretamente o indicador de UF. Espera-se, também, que a aderência seja de 100% ou o mais próximo possível desse valor.

Sabendo da dificuldade de alguns operadores em realizar os apontamentos corretos via despacho, sugere-se desenvolver um trabalho mais próximo a eles, entendendo suas dificuldades, orientando-os e esclarecendo eventuais dúvidas.

Os operadores devem ser orientados sobre os conceitos de horas calendário, hora manutenção, hora trabalhada e hora ociosa, sobre o cálculo dos indicadores de DF e UF e sobre como os apontamentos de código que eles realizam na interface do sistema de despacho relacionam-se com essas horas e, conseqüentemente, com os indicadores. É importante utilizar situações rotineiras da operação para exemplificar quando apontar cada código, explicitando a qual categoria de hora esses códigos pertencem. Uma cartilha pode ser disponibilizada por equipamento com todos os códigos de hora ociosa, sua categoria e descrição para consulta dos

operadores em caso de dúvidas. Também devem ser orientados sobre como o sistema de telemetria funciona e quais dados podem ser obtidos por meio dele.

É importante que os operadores sejam envolvidos no acompanhamento dos indicadores de aderência entre telemetria e despacho. É esperado que a aderência entre os dados dos dois sistemas aumente com o início do acompanhamento. O acompanhamento deve ser preferencialmente contínuo pois, caso contrário, é natural que as divergências voltem a acontecer.

Além de aumentar a confiabilidade do indicador de UF, o acompanhamento da aderência entre despacho e telemetria aumenta o número de códigos apontados pelos operadores, mostrando impactos que possivelmente antes não eram percebidos. Dessa forma, a base de dados ficará mais robusta, confiável e melhor representará a operação da mina em que o estudo será aplicado, dando subsídio para uma tomada de decisão mais assertiva.

3.1 Limitações

Mesmo descontando as horas de motor desligado correspondentes a troca de turno e refeição, ainda assim pode haver momentos em que o trator desliga o motor por outros motivos. É comum que mineradores adotem a prática de desligar o equipamento em caso de ociosidade maior que x minutos (o tempo x definido fica geralmente entre 5 e 10 minutos de ociosidade, para que o operador siga a orientação de desligar o motor). Esse é um caso reportado para a Mina do Pico, por exemplo, onde havia a instrução para desligar equipamentos parados por mais de 3 minutos [14]. A prática corresponde à necessidade de economizar combustível nos tempos de maior ociosidade.

No caso de um trator realizando espalhamento de pilha, por exemplo, caso haja alguma interrupção no ritmo de chegada de material na pilha, o trator poderia ser desligado. No caso de um trator realizando atividades de corte ou acerto de praças, é possível que ele conclua o serviço e permaneça aguardando a nova orientação com o motor desligado.

4 CONCLUSÕES

É necessário um bom conhecimento da operação da mina para que ações corretivas sejam tomadas, de forma a garantir a segurança, produtividade e que investimentos sejam bem alocados. Para isso, os indicadores de desempenho correspondem a um papel muito importante na tradução, em números, da realidade operacional.

A Utilização Física é um dos principais indicadores de desempenho de ativos em uma mina, pois determina a fração do tempo que o equipamento estava realizando sua tarefa fim. No entanto, é usualmente calculada por meio de apontamentos manuais feitos pelos operadores no sistema de despacho, sem nenhum tipo de redundância, estando sujeita a erros. Uma vez que a frota de infraestrutura de mina geralmente não é acompanhada com tanto rigor quanto a frota de carregamento e transporte, esses erros podem ser ainda maiores.

Uma alternativa para minimizar os erros de apontamento e tornar o indicador de UF mais confiável é comparar os dados do sistema de despacho com os dados do sistema de telemetria, também comumente presentes nas frotas de equipamentos móveis de mineração. O sistema de telemetria coleta dados diretamente do motor do equipamento, sem estar, portanto, sujeito a erros humanos.

O comparativo entre os dois sistemas deve ser feito de forma contínua, visando corrigir desvios e diminuir inconsistência nos dados. Os operadores devem ser orientados sobre o cálculo dos indicadores e como os apontamentos realizados por eles afetam esses números.

Os indicadores de aderência entre as informações dos dois sistemas e o *dashboard* de acompanhamento ajudam a identificar onde os desvios estão acontecendo, se há alguma tendência e, assim, servem como insumos para tratativas que visam aumentar a confiabilidade do indicador de UF.

Considerando uma UF mais confiável e o apontamento correto dos códigos que descrevem quais foram os impactos a esse indicador, é possível que ações sejam tomadas para minimizar a ociosidade dos equipamentos de infraestrutura de mina, otimizando a utilização dos recursos disponíveis na mina e, conseqüentemente, aumentando a produtividade da operação e reduzindo custos operacionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Vieira JC. **Determinação e quantificação de elementos de relevância em infraestrutura de mina**. [mestrado]. Parauapebas: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2013. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/115577/000963725.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [2] Instituto Minere [página da internet]. **Planejamento de Lavra aplicado a Infraestrutura de Mina**. [atualizada em 01 abr. 2019; acesso em 07 ago. 2023]. Disponível em: <https://institutominere.com.br/blog/planejamento-de-lavra-aplicado-a-infraestrutura-de-mina>.
- [3] Ricardo HS, Caralani G. **Manual prático de escavação: terraplenagem e escavação de rocha**. 3ª ed. São Paulo: Pini; 2007
- [4] Caterpillar [página da internet]. **Tratores**. [acesso em 8 set. 2023]. Disponível em: https://www.cat.com/pt_BR/by-industry/construction/dozer-choices.html
- [5] Caterpillar [página da internet]. **Especificações sobre Tratores Médios (D4)**. [acesso em 15 set. 2023]. Disponível em: https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/dozers/medium-dozers/102980.html
- [6] Caterpillar [página da internet]. **Especificações sobre Tratores Grandes (D11/D11 CD)**. [acesso em 15 set. 2023]. Disponível em: https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/dozers/large-dozers/15969853.html
- [7] Pesa [página da internet]. **Catálogo em português Trator de Esteiras (D11T/D11T CD)**. [acesso em 15 set. 2023]. Disponível em: <https://www.pesa.com.br/downloads/D11T%20catalogo%20em%20portugues%20APHQ6785-03.pdf>
- [8] Mills [página da internet]. **Como o trator de esteira melhora o rendimento no trabalho**. [atualizada em 18 jul. 2023; acesso em 8 set. 2023]. Disponível em: <https://blog.mills.com.br/como-o-trator-de-esteira-melhora-o-rendimento-no-trabalho/>

[9] Santos IR, Sousa JCC. **Aplicação das ferramentas da qualidade para investigação e análise dos desvios nos indicadores chave de desempenho de uma mineradora IPCC brasileira.** [trabalho de conclusão de curso]. Parauapebas: Universidade Federal Rural da Amazônia; 2020. Disponível em: <http://bdta.ufra.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1604/1/APLICA%C3%87%C3%83O%20DAS%20FERRAMENTAS%20DA%20QUALIDADE.pdf>

[10] Exact Tecnologia Ltda [cortesia]. **Fotos retiradas em ambiente operacional da cabine do operador.** [imagens fornecidas pela empresa em 03 out. 2023].

[11] Rodrigues LF. **Análise comparativa de metodologias utilizadas no despacho de caminhões em minas a céu aberto.** [mestrado]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2006. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/NVEA-72CKG8/1/1_sara_fabricia_rodrigues.pdf

[12] Franco LJV, Leite JF, Neto JA, Ferreira AMF, Marcenes TM. **Transporte de minério de ferro em caminhões fora de estrada: um estudo sobre a influência dos tempos fixos na produtividade.** In: Federação Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial. Anais do XVII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial; 24-27 out. 2017; Aracaju, Brasil. Belo Horizonte: FENEMI; 2017. 16 p. Disponível em: <https://ri.unipac.br/repositorio/wp-content/uploads/tainacan-items/310/78621/Transporte-de-min%C3%A9rio-de-ferro...-1.pdf>

[13] Junior WSF, Cunha PRV, Oliveira VS, Costa EFA. **Utilização da telemetria embarcada para gerenciamento do abastecimento de caminhões de grande porte na mineração.** Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração. 2019; 16(2): 189-195. Disponível em: <https://tecnologiammm.com.br/article/10.4322/2176-1523.20191539/pdf/tmm-16-2-189.pdf>

[14] Medeiros AB. **Solução de problemas operacionais em mineração: um estudo de caso.** [trabalho de conclusão de curso]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2013. Disponível em: <https://demin.ufmg.br/>