

CMAM - CENTRO DE MONITORAMENTO DE ATIVOS DE MINA

Adriano N. Assis, CSN Mineração, adriano.assis@csn.com.br

Alan Cláudio José Baeta, CSN Mineração, alan.baeta@csn.com.br

Marcus Vinícius Moura A. Silva, CSN Mineração, marcus.moura@csn.com.br

RESUMO

Este artigo trata da implantação de um sistema de monitoramento integrado de ativos de mina, na CSN Mineração. O sistema contempla o monitoramento de equipamentos móveis de mina, como caminhões, tratores e motoniveladoras, além do monitoramento de pneus, sistemas de bombeamento de poços, subestações de energia elétrica e a própria rede wireless que suporta a comunicação de dados entre os ativos e o centro de monitoramento. Essa implantação teve como foco reforçar a tomada de decisão baseada em dados e informações em tempo real, tanto de manutenção quanto de operação. Esse processo permitiu melhorar o desempenho operacional dos ativos de mina e a redução do risco operacional, permitindo uma atuação mais assertiva quanto ao momento certo de parar um equipamento para a manutenção ou quanto ao direcionamento para uma operação mais padronizada.

Palavras-chave: Monitoramento; Ativos; Tomada de decisão.

ABSTRACT

This paper deals with the implementation of an integrated mine asset monitoring system at CSN Mine. The system includes the monitoring of mobile mine equipment, such as trucks, tractors and motor graders, in addition to the monitoring of tires, well pumping systems, electric power substations and the wireless network itself that supports data communication between assets and the monitoring center. This implementation was focused on reinforcing decision making based on data and information in real time, both for maintenance and operation. This process is bound to improve the operational performance of mine assets and the reduction of operational risk, allowing a more assertive performance regarding the right time to stop equipment for maintenance or regarding the direction for a more standardized operation.

Keywords: Monitoring; Assets; Reliability; Decision making.

INTRODUÇÃO

Os processos de produção estão sendo otimizados constantemente com o auxílio da eletrônica embarcada, da informática e dos sistemas de comunicação para obter informações em tempo real e subsidiar a tomada de decisões [01]. Em consequência, há um aumento do nível de confiabilidade, pois o sistema torna possível monitorar em tempo real as condições de cada ativo e tomar decisões de forma preditiva, reduzindo o índice de manutenções corretivas e evitando falhas catastróficas. Esse conjunto de ganhos implica diretamente na redução de custos de produção.

É possível praticar a manutenção por condição, através do monitoramento de tendências de falhas, com base na análise de dados coletados em tempo real durante a operação dos equipamentos de mina. Para Kardec e Nascif [02], sistemas de monitoramento contínuo podem enviar dados em tempo real para computadores com programas de controle, onde especialistas fazem verificações no sistema e são capazes de detectar falhas ocultas.

A curva P-F quando aplicada aos planos de manutenção contribui para definir o momento ideal de correção de falhas potenciais e evitar que os equipamentos cheguem a falhar e percam sua função. Desta forma é possível utilizar ao máximo os ativos mantendo-os confiáveis e disponíveis para operação [03].

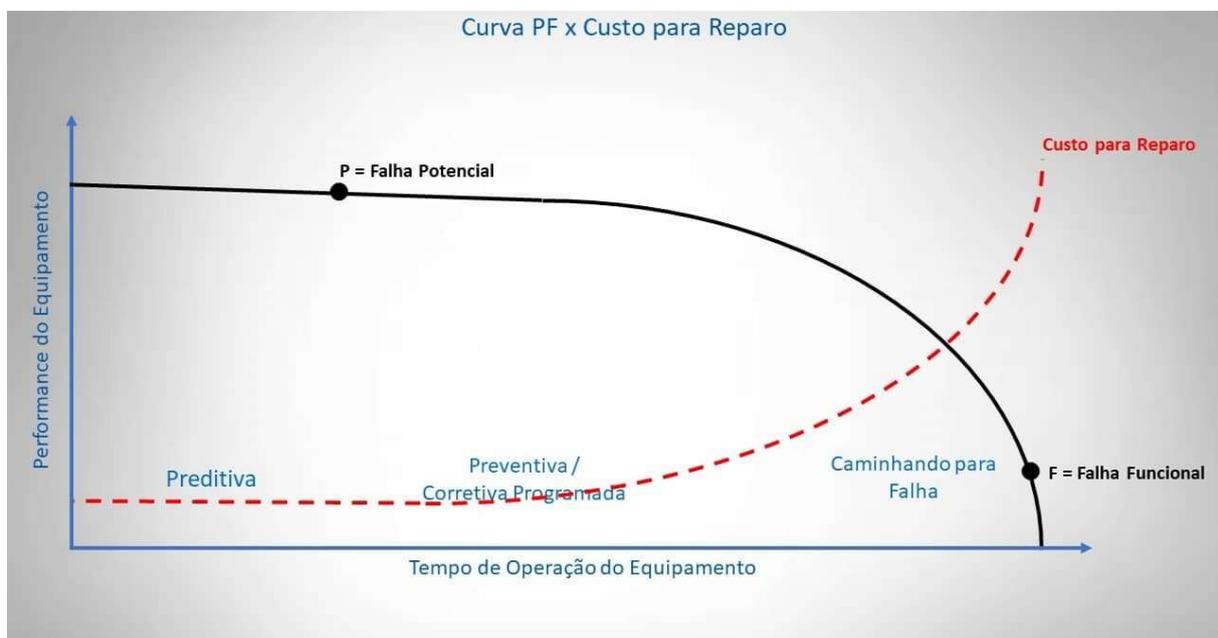


Figura 1 – Curva PF x Custo para Reparo

Dados como consumo de combustível, rotação de trabalho do motor, velocidade média, número de paradas por quilômetro e falhas existentes nos sistemas eletrônicos, são alguns dos dados que podem ser monitorados pela telemetria. Por meio desses dados, os planos de

manutenção preventiva são elaborados, pois cada veículo necessita de manutenções diferentes dependendo do tipo de operação e condições de trabalho. Além do planejamento das corretivas caso seja identificadas falhas. A telemetria auxilia no monitoramento dos veículos e juntamente com a preditiva pode alcançar grandes melhorias em disponibilidade, confiabilidade e produtividade [04].

Os aplicativos do sistema permitem aos usuários executarem várias funções, como o tratamento de atividades de manutenção, monitoramento das condições operacionais dos equipamentos em tempo real, análise de tendências. É possível exibir parâmetros dos sensores monitorados em forma de gráficos e em tempo real para um equipamento específico. Essa aplicação fornece uma observação rápida e abrangente do estado atual do equipamento selecionado. Antes de decidir enviar o caminhão para a oficina, é possível exibir vários parâmetros dos principais componentes e sistemas do equipamento. Dessa forma, é possível tomar uma decisão baseada em informações das condições operacionais do equipamento antes de removê-lo da operação. [05].

Nesse artigo poderá ser percebido que ao longo dos anos o monitoramento de condições veio evoluindo de maneira a agregar novas ferramentas e funcionalidades, conforme figura 1. Dessa forma, foram alcançados vários benefícios que vão desde a performance operacional de equipamentos móveis, o controle da qualidade de energia, o controle de nível do lençol freático até o controle da qualidade e performance da rede que suporta a transmissão de dados na mina. A figura 2 ilustra o CMAM, construído em 2020 e preparado para integrar o monitoramento de todos os ativos de mina.

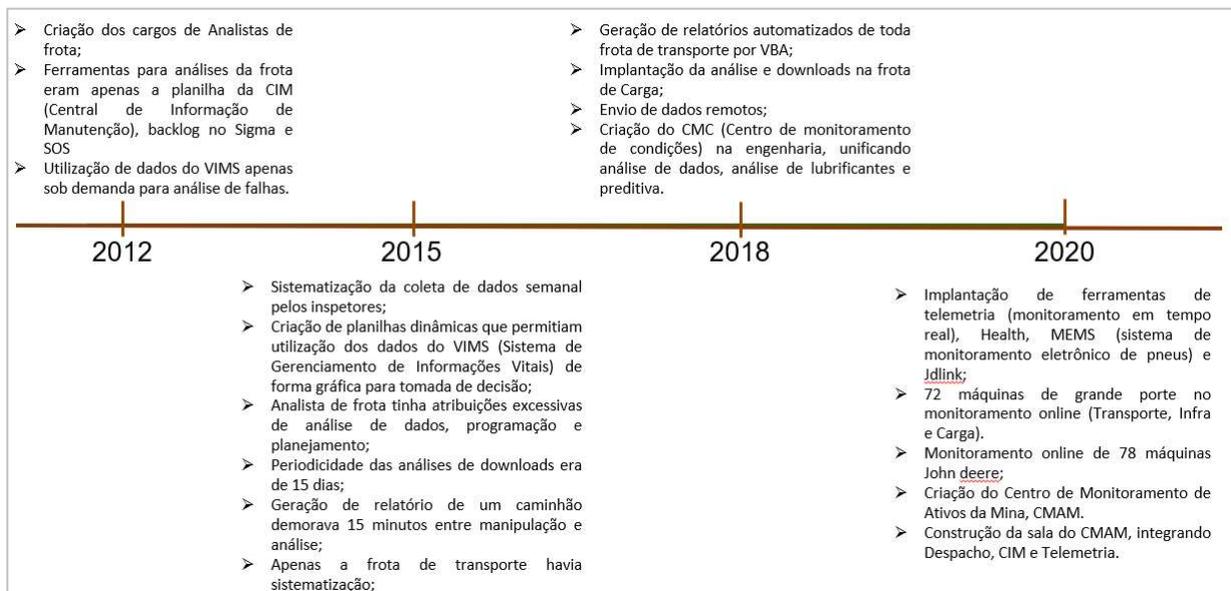


Figura 2 – Evolução do sistema de monitoramento de condições

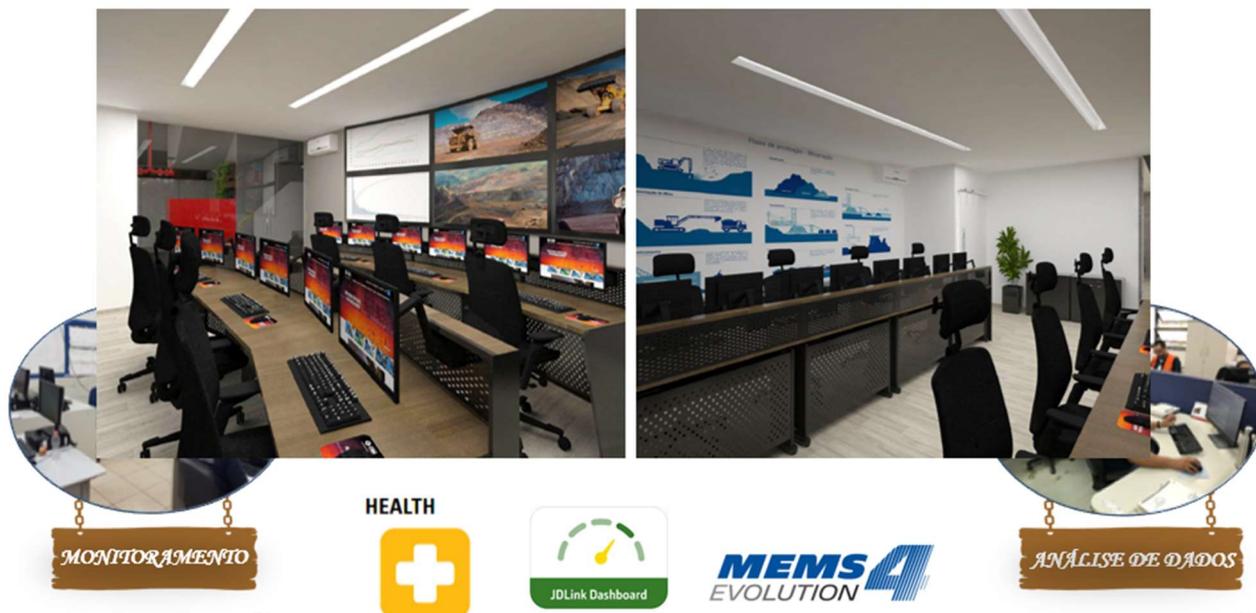


Figura 3 – CMAM: Centro de Monitoramento de Ativos de Mina

METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho consistiu em uma análise dos dados históricos através da coleta de informações nos bancos de dados da empresa que registram as ocorrências de falhas dos ativos e as ordens de serviços realizados nos ativos estudados. Além da análise dos dados e geração de resultados através de planilhas eletrônicas para demonstrar os benefícios alcançados com o monitoramento de condições.

O foco principal deste estudo de caso foi na gestão da manutenção de caminhões e carregadeiras de grande porte, utilizados no carregamento e transporte de minério, monitoramento de pneus e equipamentos de infraestrutura, ativos da CSN Mineração. A opção por esta condição de contorno, de focar apenas neste grupo de ativos, se dá pelo fato de haver uma vasta quantidade de tipos de equipamentos, aplicados em processos distintos, e muitos deles encontram-se em processo de integração com a central de monitoramento.

A tabela 1, contém os equipamentos de grande porte que fazem parte da frota que atualmente é monitorada através do CMAM.

Tabela 1 – Equipamentos móveis de grande porte

	<p>Frota de Transporte</p> <p>Caminhões 793F e Caminhões 793D Responsável pelo transporte de matéria prima/minério até britador, depósito de minério e estéril.</p>
	<p>Frota de Carga</p> <p>6 Carregadeiras 994H Responsável por alimentar as instalações de britagem e carregar os caminhões.</p>
	<p>Frota de Infra</p> <p>Motoniveladoras 24M Responsáveis pelo acabamento e qualidade das vias de acesso.</p>
	<p>Frota de Infra</p> <p>Tratores de pneus 854K Responsável retirada de borrachudos, preparação/manutenção de praças de carregamento, pequenas manutenções em pistas de rolamento, acerto de leira, locomoção de equipamentos.</p>
	<p>Frota de Infra</p> <p>Tratores de esteiras D11 e D10 Responsável pela abertura de acessos, realização de drenagens, preparação de praças para desmonte de rochas, desmonte mecânico entre outras atividades.</p>

O monitoramento desses ativos é realizado atualmente através de duas principais ferramentas, sendo Minestar Health, fornecido pela Caterpillar e MEMS, fornecido pela Michelin.

MONITORAMENTO DE EQUIPAMENTOS MÓVEIS

O Minestar Health adquire dados de telemetria do sistema embarcado nos equipamentos e são armazenados em banco de dados, em tempo real, que permitem ser analisados em conjunto e determinar se há alguma tendência de falha ou até mesmo de operação fora do padrão. Fornece dados críticos de operação e estado da máquina com base em eventos para toda a frota, ajudando a identificar possíveis problemas com equipamentos antes da falha, através do monitoramento de condições.

O monitoramento de condições descreve a coleção de rotinas que facilitam a detecção precoce de alterações na integridade dos equipamentos, operação ou gravidade da aplicação. Esses processos oferecem suporte a uma abordagem de reparo antes da falha no gerenciamento de equipamentos e modificações de orientação ao plano de manutenção, operação ou aplicação [06].

Um programa de monitoramento de condições bem-sucedido pode impactar positivamente na redução do número de falhas e paradas não programadas, redução de custos de manutenção, utilização eficiente de recursos de mão de obra e melhorar a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos. Ou seja, é capaz de aumentar a produção e reduzir o custo por tonelada.

A figura 2 ilustra como o Health integra os dados monitorados nos equipamentos e os dispõe para que o profissional do centro de monitoramento possa tomar as decisões cabíveis, em tempo real.

Date	Machine Name	Event Description	Level	SMU	Operator	Duration	Worst	Ack.Time
07:40:08 15 Mar 21	CM7918	Pyld Ovrld alarm	2	2,188.27 hr		985.76 s	250.8 t	5 s
07:42:57 15 Mar 21	CM7955	Payload Overload Limit Exceeded alarm	1	28,707.26 hr		851 s	251.9 t	0 s
07:43:59 15 Mar 21	CM7937	Payload Overload Limit Exceeded alarm	1	26,892.77 hr			[N/A]	
07:50:53 15 Mar 21	CM7954	Positive High Peak Frame Bias alarm	1	23,381.16 hr			[N/A]	
07:51:05 15 Mar 21	CM7954	Positive High Peak Frame Bias alarm	2	23,381.16 hr			[N/A]	
07:51:23 15 Mar 21	CM7954	Positive High Peak Frame Bias alarm	2	23,381.16 hr		18 s	23,402 kPa	0 s
07:51:24 15 Mar 21	CM7954	Positive High Peak Frame Bias alarm	1	23,381.16 hr		31 s	23,402 kPa	0 s
07:51:30 15 Mar 21	CM7913	Diff Filtr Sw alarm	1	40,840.83 hr		6,609.25 s	0 count	23 s
07:52:19 15 Mar 21	CM7913	Diff Filtr Sw alarm	1	40,842.68 hr			[N/A]	
07:52:35 15 Mar 21	CM7924	Payload Overload Limit Exceeded alarm	1	33,776.08 hr			[N/A]	
07:52:51 15 Mar 21	CM7924	Payload Overload Limit Exceeded alarm	1	33,776.08 hr		16 s	256.8 t	0 s
07:52:58 15 Mar 21	CM7937	Payload Overload Limit Exceeded alarm	1	26,892.92 hr		538 s	251.7 t	0 s
07:53:46 15 Mar 21	CM7923	Payload Overload Limit Exceeded alarm	1	34,312.23 hr			[N/A]	
07:53:46 15 Mar 21	CM7912	Fuel Filtr alarm	1	44,722.63 hr			[N/A]	
07:56:41 15 Mar 21	CM7920	Positive High Peak Frame Bias alarm	1	29,938.57 hr			[N/A]	
07:56:41 15 Mar 21	CM7920	Positive High Peak Frame Bias alarm	2	29,938.57 hr			[N/A]	
07:56:43 15 Mar 21	MN2407	Clock Manual Alignment Required alarm	1	26,750.05 hr		5,046 s	[N/A]	0 s
07:56:55 15 Mar 21	CM7920	Positive High Peak Frame Bias alarm	2	29,938.58 hr		14 s	26,896 kPa	0 s
07:56:57 15 Mar 21	CM7920	Positive High Peak Frame Bias alarm	1	29,938.58 hr		16 s	26,896 kPa	0 s
07:56:59 15 Mar 21	CM794H	Hydraulic Hoist Screen Filter Plugged alarm	1	27,572.75 hr		1,027 s	[N/A]	5 s
07:57:01 15 Mar 21	MN2407	Steering Lever Has Not Been Aligned to Wheel Steering ...	1	26,750.05 hr			[N/A]	
07:57:01 15 Mar 21	MN2407	Steering Lever Has Not Been Aligned to Wheel Steering ...	1	26,750.05 hr			[N/A]	
07:57:12 15 Mar 21	MN2407	Steering Lever Has Not Been Aligned to Wheel Steering ...	1	26,750.05 hr		12 s	[N/A]	0 s
07:57:12 15 Mar 21	MN2407	Steering Lever Has Not Been Aligned to Wheel Steering ...	1	26,750.05 hr		12 s	[N/A]	0 s
07:57:15 15 Mar 21	CM7934	Payload Overload Limit Exceeded alarm	1	27,642.91 hr			[N/A]	
07:57:17 15 Mar 21	MN2407	Park Brake Applied While Shift Lever Not In Neutral alarm	1	26,750.05 hr			[N/A]	
07:57:18 15 Mar 21	MN2407	Park Brake Applied While Shift Lever Not In Neutral alarm	1	26,750.05 hr		2 s	[N/A]	0 s
07:57:35 15 Mar 21	CM7934	Payload Overload Limit Exceeded alarm	1	27,642.91 hr		20 s	251.2 t	0 s
07:58:11 15 Mar 21	MN2407	Clock Manual Alignment Required alarm	1	26,750.05 hr			[N/A]	
07:59:36 15 Mar 21	CM7955	Payload Overload Limit Exceeded alarm	1	28,707.54 hr			[N/A]	
08:01:01 15 Mar 21	CM7952	Low Auto Lube Pressure alarm	2	18,824.04 hr			[N/A]	
08:01:06 15 Mar 21	CM7926	Low Electric Fuel Transfer Pump Outlet Pressure alarm	2	29,123.15 hr		2,894 s	-5.6 kPa	-669,110,111 s
08:01:06 15 Mar 21	CM7926	Low Electric Fuel Transfer Pump Outlet Pressure alarm	1	29,123.15 hr		2,894 s	-5.6 kPa	0 s
08:01:31 15 Mar 21	MN1604	Steering System Malfunction alarm	3	16,170.87 hr			[N/A]	
08:01:58 15 Mar 21	CM7923	Positive High Peak Frame Bias alarm	1	34,312.36 hr			[N/A]	
08:01:59 15 Mar 21	CM7923	Positive High Peak Frame Bias alarm	2	34,312.36 hr			[N/A]	
08:02:14 15 Mar 21	CM7923	Positive High Peak Frame Bias alarm	2	34,312.37 hr		15 s	25,316 kPa	12 s
08:02:14 15 Mar 21	CM7923	Positive High Peak Frame Bias alarm	1	34,312.37 hr		16 s	25,532 kPa	7 s
08:02:16 15 Mar 21	MN1604	Steering System Malfunction alarm	3	16,170.85 hr		8 s	[N/A]	0 s
08:02:36 15 Mar 21	CM7912	Eng Oil Lvl alarm	2	44,722.78 hr			[N/A]	
08:02:40 15 Mar 21	CM7912	Eng Oil Lvl alarm	2	44,722.78 hr		8 s	127 count	0 s
08:03:19 15 Mar 21	CM7924	Positive High Peak Frame Bias alarm	1	33,776.26 hr			[N/A]	
08:03:20 15 Mar 21	CM7924	Positive High Peak Frame Bias alarm	2	33,776.26 hr			[N/A]	
08:03:34 15 Mar 21	CM7924	Positive High Peak Frame Bias alarm	2	33,776.26 hr		14 s	22,688 kPa	0 s
08:03:35 15 Mar 21	CM7924	Positive High Peak Frame Bias alarm	1	33,776.26 hr		16 s	22,688 kPa	14 s
08:06:10 15 Mar 21	CM7924	Positive High Peak Frame Bias alarm	1	33,776.31 hr			[N/A]	
08:06:10 15 Mar 21	CM7924	Positive High Peak Frame Bias alarm	2	33,776.31 hr			[N/A]	
08:06:21 15 Mar 21	CM7924	Positive High Peak Frame Bias alarm	2	33,776.31 hr		11 s	19,216 kPa	0 s
08:06:21 15 Mar 21	CM7924	Positive High Peak Frame Bias alarm	1	33,776.31 hr		11 s	19,216 kPa	0 s
08:07:11 15 Mar 21	CM7918	Pyld Ovrld alarm	2	2,189 hr			[N/A]	
08:07:17 15 Mar 21	CM7912	Fuel Filtr alarm	1	44,722.63 hr		840.75 s	127 count	36 s
08:08:14 15 Mar 21	CM7935	Low Auto Lube Pressure alarm	2	22,112.83 hr		6,184 s	92 kPa	5 s

Figura 4 – Caterpillar Minestar Health

MONITORAMENTO DE PNEUS

O MEMS (Michelin Earthmove Management System) é um sistema que monitora a pressão e a temperatura do pneu por número de série até o fim de sua vida útil, graças a sensores confiáveis e estanques montados no interior do pneu. Essas informações podem ser facilmente integradas aos sistemas de gerenciamento de frotas e emitem alertas que podem ser recebidos via SMS ou e-mail.

Através do monitoramento de pressão e temperatura de pneus as decisões operacionais, como definição de rotas, podem evitar sobrecarga nos pneus, aquecimento excessivo e prevenir falhas catastróficas ou desgaste prematuro deles.

O sistema possui recursos que permitem reduzir o tempo de parada e proteger a equipe de manutenção, operação e o equipamento devido ao monitoramento constante de pressão, temperatura e geolocalização dos equipamentos.

A figura 3 ilustra de maneira lúdica o estado de trabalho de cada pneu, que pode variar de normal (verde), passando pelo estado de alerta (amarelo) e chegando ao estado crítico (vermelho).



Figura 5 – Monitoramento de pneus - MEMS

DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A equipe de monitoramento de condições definiu algumas variáveis críticas que deveriam ser acompanhadas diariamente através do CMAM. Variáveis como carga média, velocidade

média, velocidade máxima, distância percorrida e consumo de diesel foram monitoradas e controladas para que fosse possível aumentar a produtividade da frota de transporte.

O gráfico 1 a seguir ilustra a distribuição de carga média das carregadeiras utilizadas no processo. Através desse perfil, foi possível corrigir pequenos desvios operacionais, como excesso de carga, que pode impactar diretamente na disponibilidade dos equipamentos de carga, pois estavam acima do limite permitido pelo fabricante.

Da mesma forma, desvios operacionais relacionados a baixa carga também foram tratados, proporcionando um aumento da produtividade dos equipamentos de carga, mas sem ultrapassar o limite operacional.

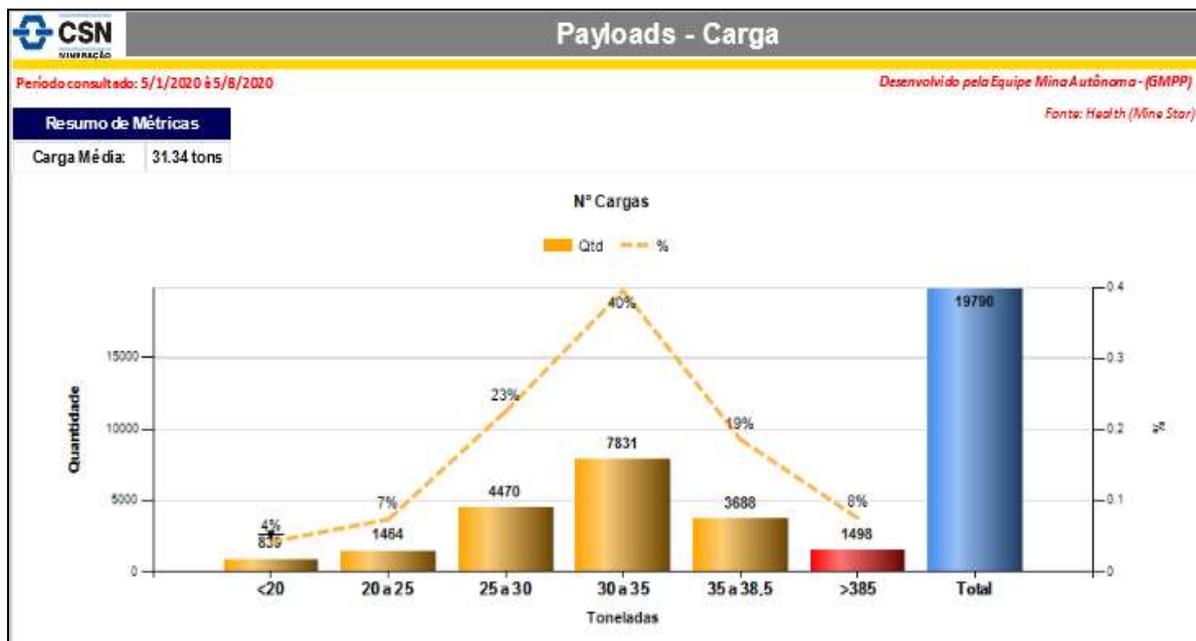


Gráfico 1 – Distribuição de payload dos equipamentos de carga.

Um exemplo de ganho relacionado diretamente a manutenção foi a identificação de diferencial de temperatura de exaustão elevado entre bancadas do motor de um caminhão 793F, chegando a aproximadamente 40°C, conforme gráfico 2 a seguir. Ao perceber essa diferença, o analista solicitou a realização de testes para identificação dos problemas. Após realização do diagnóstico de falhas, foi identificado que havia 16 injetores de combustível danificados, além de 1 turbo compressor.

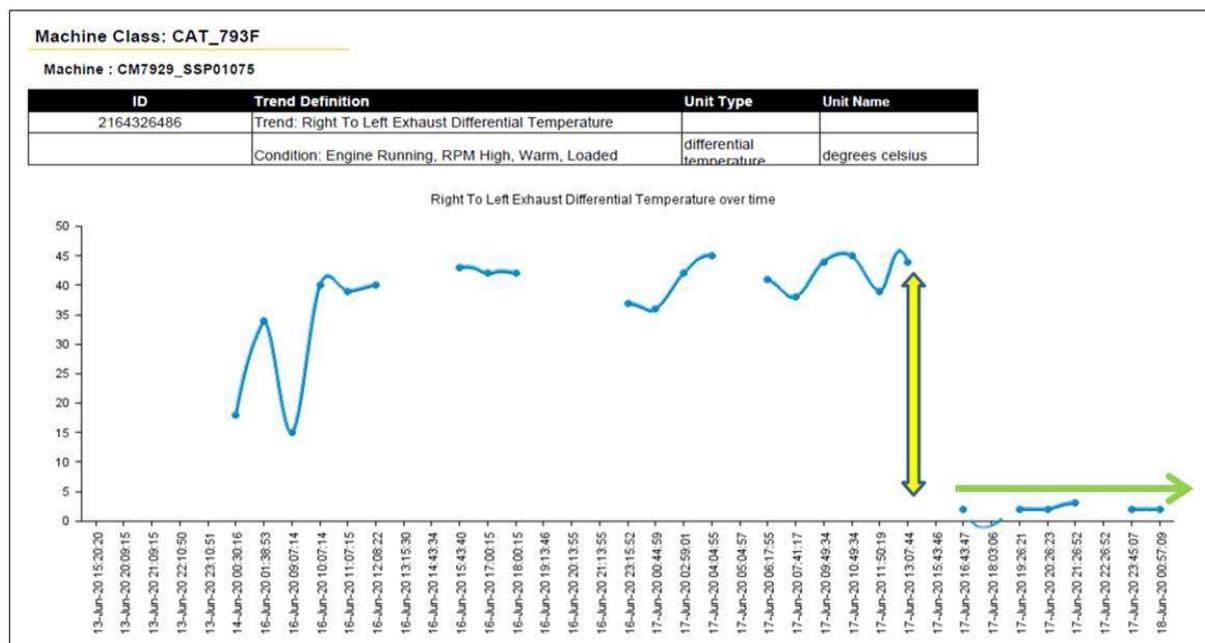


Gráfico 2 – Temperatura das bancadas esquerda e direita do motor do caminhão 793F

A análise das condições do motor permitiu fazer uma intervenção preventiva, de maneira a não impactar em parada corretiva, evitando uma quebra com potencial catastrófico. A potencial falha funcional do motor foi evitada, evitando a quebra do motor, que poderia gerar um custo da ordem de R\$ 1,5 milhões.

Um outro exemplo relacionado a manutenção foi a identificação de um diferencial de temperatura de exaustão entre bancadas, chegando a 45°C. Após a intervenção da equipe de manutenção foi identificado abraçadeira da admissão e mangote do lado direito danificados.

O gráfico 3 a seguir ilustra o aumento da diferença de temperatura ao longo do tempo, indicando uma possível falha, e logo em seguida a manutenção o gráfico volta a estabilidade, demonstrando a operação em condições normais.

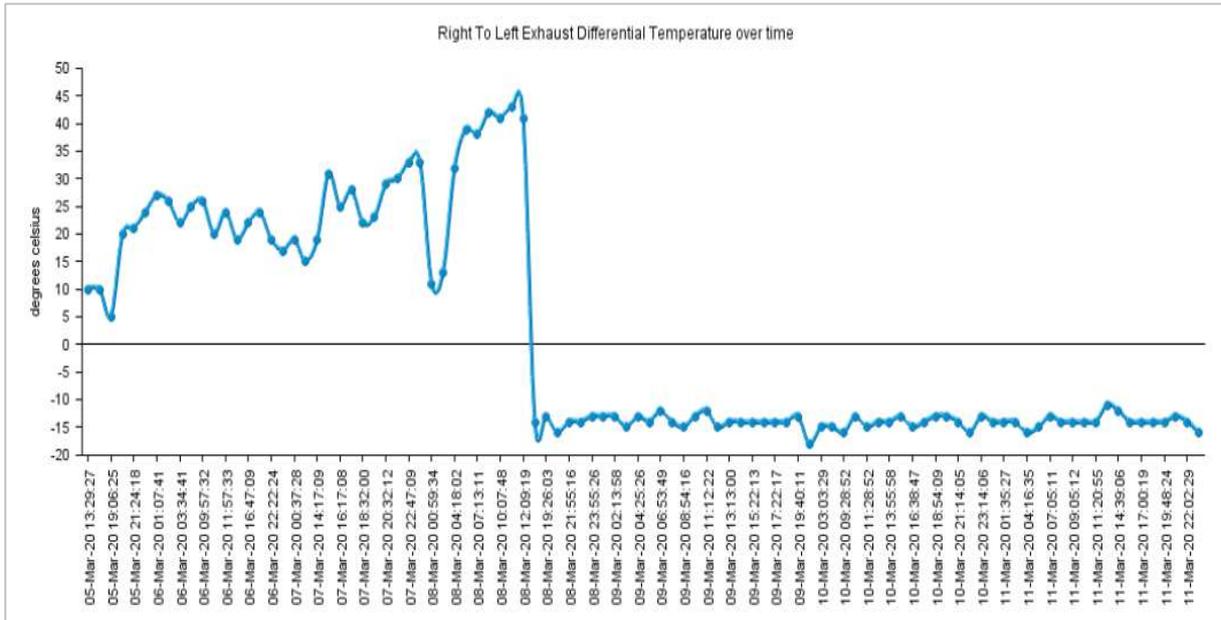


Gráfico 3 – Diferença de temperatura de exaustão

A falha funcional do turbocompressor foi evitada, evitando um custo da ordem de R\$ 66 mil. Em relação ao monitoramento de pneus os ganhos também foram significativos. O exemplo ilustrado no gráfico 4, mostra 2 ocorrências de baixa pressão do pneu dianteiro esquerdo de um caminhão fora de estrada, tag CM-7914. Após as duas ocorrências a pressão foi normalizada, evitando que houvesse um desgaste prematuro do pneu, que tem o custo avaliado em R\$ 180 mil. Além disso, esse tipo de atuação reduz o nível de exposição de pessoas ao risco, pois a medição é feita de maneira remota, sem a necessidade do técnico se aproximar do pneu.

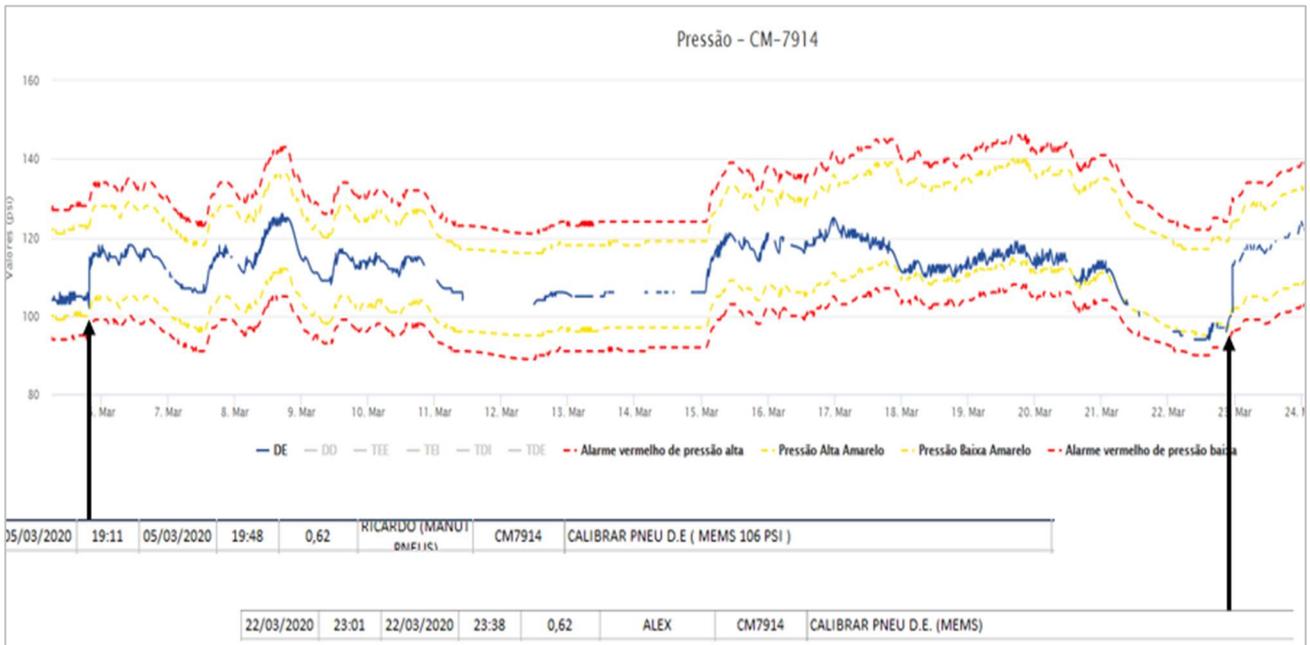


Gráfico 4 – Variação de temperatura dos pneus do CM-7914

Outra funcionalidade importante do sistema de monitoramento de pneus é a geração de mapas indicativos de operação, onde podem ser monitorados os raios de curvatura das pistas, bem como as velocidades praticadas em cada trecho.

A figura 4 mostra o mapa de velocidade de 6 caminhões escolhidos aleatoriamente para ilustrar essa funcionalidade, que permite a tomada de decisão em melhorias de pistas.

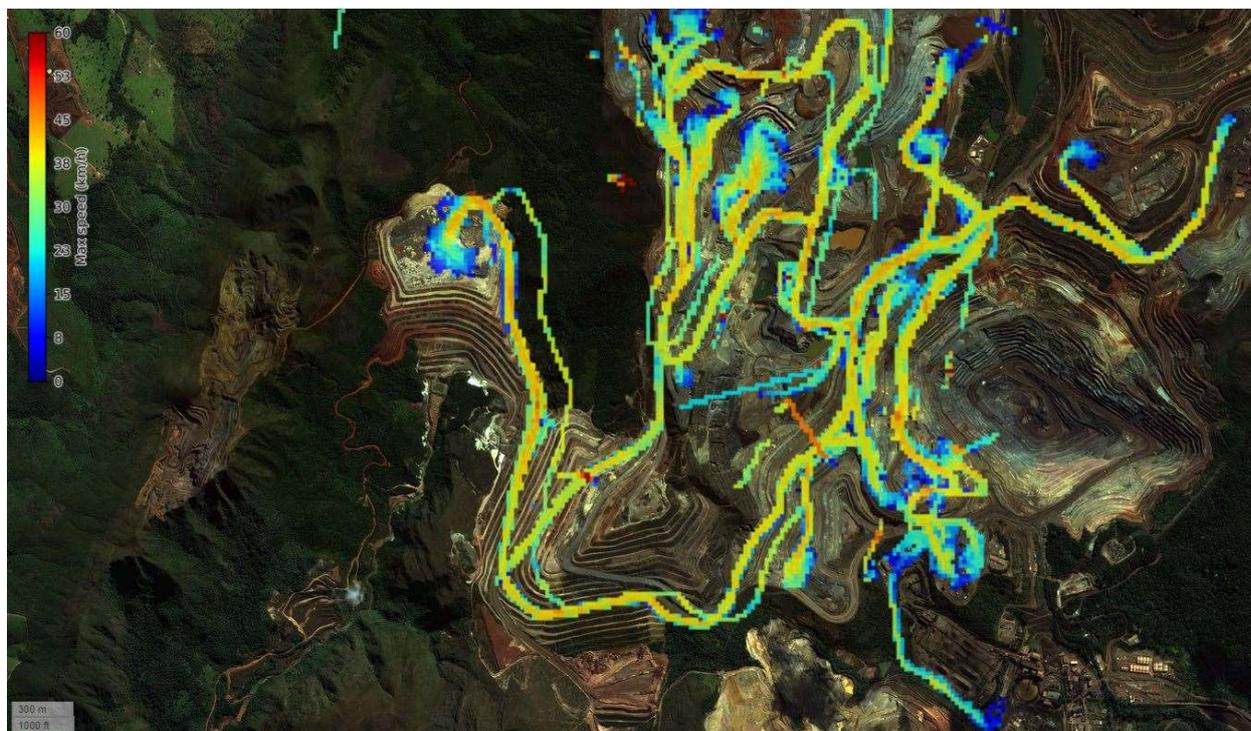


Figura 6 – Mapa de velocidade de caminhões na mina

Nas Tabela 2 e 3 são apresentados os ganhos em produtividade obtidos após a alteração do limite de velocidade máximo de 35 km/h para 40 km/h dos caminhões de grande porte da mina. Após testes, medições e análise de dados de 6 caminhões, passou-se, em Agosto de 2019, a operar toda a frota com aumento de velocidade máxima. A melhoria só foi possível, devido as ferramentas de monitoramento que a CSN Mineração possui hoje, justificando assim, o investimento em softwares de telemetria e monitoramento de condições.

Aumento Velocidade Previsto (Plano Mensal) x Real			
Mês	Velocidade Média Vazio km/h		
	Prevista	Real	Δ
ago/19	25,2	27,0	7%
set/19	25,2	26,6	5%
out/19	24,9	27,5	9%
Média	25,1	27,0	7%

Tabela 2 – Ganhos de velocidade média

Ganhos Velocidade Previsto (Plano Mensal) x Real				
Mês	Ganho Produtividade (t/h)	Ganho Tempo Ciclo (minutos)	Ganho (Horas)	Ganhos (tons)
ago/19	10,9	0,5	15,4	91444
set/19	9,4	0,3	27,5	153379
out/19	15,5	0,7	40,9	249420
Global	11,9	0,5	83,8	494244

Tabela 3 – Ganhos em movimentação e tempo de ciclo

O gráfico 5 representa o período de 2020 que vem demonstrando ganhos consideráveis com perdas evitadas de grandes componentes. A expectativa ao final do ano é que esse valor ultrapasse R\$ 15 milhões com custo de componentes que falhariam prematuramente ou teriam quebras catastróficas.

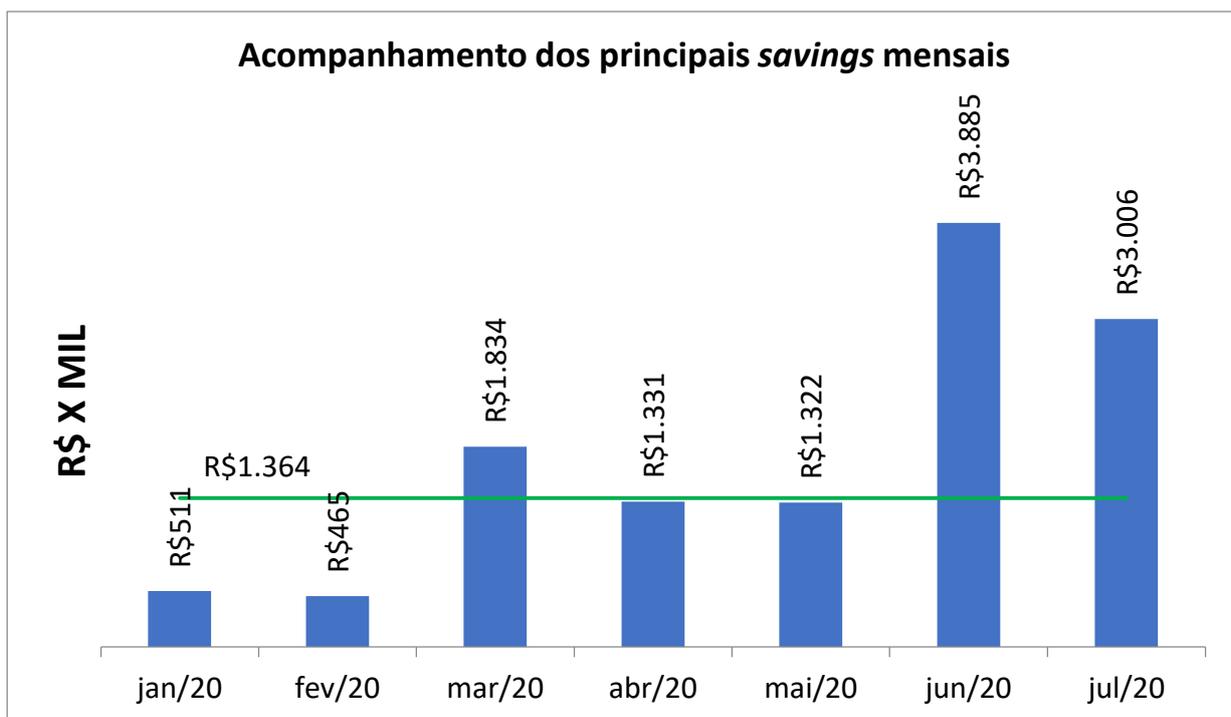


Gráfico 5 – Acompanhamento mensal das principais perdas evitadas

CONCLUSÃO

A manutenção por condição é um pilar importante da manutenção preditiva, que reduz significativamente os custos com a troca desnecessária de componentes, além de padronizar a operação, mantendo a confiabilidade e a performance dos ativos.

Ao longo dos anos a CSN Mineração vem realizando investimentos no sentido de consolidar o monitoramento de ativos de mina, com o objetivo de contribuir com a redução de custos operacionais e de manutenção, que impacta na sustentabilidade do negócio da mineração.

Portanto, todo o investimento realizado nesse sentido já deu retorno acima da expectativa e vem trazendo maior confiabilidade aos ativos e conseqüentemente ao cumprimento de seus compromissos de produção assumidos com seus clientes.

Esse trabalho ainda pode avançar no sentido de se aplicar técnicas de *machine learning* para prever potenciais falhas e antecipar ainda mais as ações de mitigação e extensão de vida útil dos ativos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] SCHMIDT, Walter F.J. et al (2017). Utilização da telemetria embarcada para gerenciamento do abastecimento de caminhões de grande porte na mineração. Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. Publicado pela ABM.
- [02] KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio (2012). Manutenção função estratégica. 4ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, Pág. 436.
- [03] Curva P-F, o que é e como usar?. Site acessado em 15/03/2021.
<https://engeteles.com.br/curva-pf/>
- [04] BRITO, Joubert M. (2017). Manutenção em veículos de transporte de cargas. Artigo Técnico IETEC.
- [05] PORTO, Fernando de Araújo et al (2015). Telemetria aplicada a manutenção de caminhões: um estudo sobre seus efeitos no setor de manutenção de uma empresa mineradora. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.
- [06] Minestar Health (2020). Minestar em ação. Site acessado em 15/08/2020.
https://www.cat.com/pt_BR/support/operations/technology/cat-minestar/minestar-in-action/condition-monitor-repair-before-fail.html