



**BRUNO ALEXANDRE RÊDA**

**SISTEMA SINALEIRO DE ACOMPANHAMENTO E ANÁLISE DE PRESSÃO E  
TEMPERATURA DE PNEUS**

**Ouro Preto, MG**

**2023**

**Bruno Alexandre Rêda**

**SISTEMA SINALEIRO DE ACOMPANHAMENTO E ANÁLISE DE PRESSÃO E  
TEMPERATURA DE PNEUS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista em Automação.

Área de concentração: Mineração

Orientador: Gustavo Pessin

**Ouro Preto, MG**

**2023**

**Título:** Sistema sinaleiro de acompanhamento e análise de pressão e temperatura de pneus

Classificação: ( ) **Confidencial** ( ) **Restrita** ( ) **Uso Interno** ( **X** ) **Pública**

**Informações Confidenciais** - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

**Informações Restritas** - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

**Informações de Uso Interno** - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço.

**Informações Públicas** - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados.

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação(CIP)

R249s

Rêda, Bruno Alexandre  
Sistema sinaleiro de acompanhamento e análise de pressão e temperatura de pneus. Bruno Alexandre Rêda... [et al.] - Ouro Preto, MG: ITV, 2023.

37 p.: il.

Monografia (Especialização latu sensu) - Instituto Tecnológico Vale, 2023.  
Orientador: Gustavo Pessin

1. Pneus OTR. 2. Segurança. 3. Projeto. 4. Mineração. 5. Tecnologia.  
I. Pessin, Gustavo. II. Título.

CDD.23. ed. 629.892

**Bruno Alexandre Reda**

## **DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO SINALEIRO MEMS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista *lato sensu* em [Automação para Processos de Mineração].

Orientador: Prof. D.Sc. Gustavo Pessin

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em 18 de dezembro de 2023 pela banca examinadora constituída pelos professores:

---

Prof. D.Sc. Gustavo Pessin  
Orientador – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

---

Prof. MSc. Jacó Dias Domingues  
Membro interno – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

---

Prof. MSc. Luiz Guilherme Dias de Barros  
Membro interno – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Os Signatários declaram e concordam que a assinatura será efetuada em formato eletrônico. Os Signatários reconhecem a veracidade, autenticidade, integridade, validade e eficácia deste Documento e seus termos, nos termos do art. 219 do Código Civil, em formato eletrônico e/ou assinado pelas Partes por meio de certificados eletrônicos, ainda que sejam certificados eletrônicos não emitidos pela ICP-Brasil, nos termos do art. 10, § 2º, da Medida Provisória nº 2.200-2, de 24 de agosto de 2001 (“MP nº 2.200-2”).



## PROTOCOLO DE ASSINATURA(S)

O documento acima foi proposto para assinatura digital na plataforma Portal de Assinaturas Vale. Para verificar as assinaturas clique no link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/F6EB-B82D-0E5A-5E07> ou vá até o site <https://vale.portaldeassinaturas.com.br:443> e utilize o código abaixo para verificar se este documento é válido. The above document was proposed for digital signature on the platform Portal de Assinaturas Vale. To check the signatures click on the link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/F6EB-B82D-0E5A-5E07> or go to the Website <https://vale.portaldeassinaturas.com.br:443> and use the code below to verify that this document is valid.

Código para verificação: F6EB-B82D-0E5A-5E07



### Hash do Documento

28347B28F4EF1822B94D70877C81E4F78DBF3EBAEE8E5289B5B99398F1CCDC30

O(s) nome(s) indicado(s) para assinatura, bem como seu(s) status em 26/12/2023 é(são) :

- GUSTAVO PESSIN - 939.084.900-49 em 21/12/2023 13:34 UTC-03:00  
**Tipo:** Assinatura Eletrônica  
**Identificação:** Por email: [gustavo.pessin@itv.org](mailto:gustavo.pessin@itv.org); Código de acesso: 1

### Evidências

**Client Timestamp** Thu Dec 21 2023 13:34:06 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

**Geolocation** Latitude: -19.9590575 Longitude: -43.9351846 Accuracy: 17.427

**IP** 191.43.55.0

#### Hash Evidências:

DD3F9ED406E881C12430409A56F69BB43ABE752626FF703FA693B1A4EED91AAC

- Luiz Guilherme Dias de Barros (Signatário) - 109.612.966-31 em 21/12/2023 09:52 UTC-03:00  
**Tipo:** Assinatura Eletrônica  
**Identificação:** Por email: [luiz.barros@itv.org](mailto:luiz.barros@itv.org); Código de acesso: 1

### Evidências

**Client Timestamp** Thu Dec 21 2023 09:52:02 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

**Geolocation** Latitude: -1.4421948 Longitude: -48.4833835 Accuracy: 11.498000144958496

**IP** 191.246.253.241

#### Hash Evidências:

FA06A5BB1B3B8BF8058DDA22460CE3F31159A3F92217128BFCE97BDA7D4F43D8

- Jacó Dias Domingues (Signatário) - 112.250.696-10 em 21/12/2023 09:48 UTC-03:00

**Tipo:** Assinatura Eletrônica

**Identificação:** Por email: jaco.domingues@itv.org; Código de acesso: 1

**Evidências**

**Client Timestamp** Thu Dec 21 2023 09:48:37 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

**Geolocation** Latitude: -20.3742109 Longitude: -43.4162103 Accuracy: 1775.3122535085977

**IP** 138.121.64.106

**Hash Evidências:**

6EC205F9CF321CA93CD95022731528DD1795E1611D6B3E9122049C717CD81E3F



## RESUMO

O Sinaleiro Mems, um dispositivo desenvolvido em colaboração com a empresa Sascar, é baseado em um sistema de acompanhamento e análise de pressão e temperatura de pneus Off the Road (Fora de estrada), que são um ponto crítico para a segurança. O projeto, com aplicação voltada para equipamentos móveis de mineração, tem como objetivo aumentar a segurança nas operações de mina, fornecendo alarmes simplificados antes que problemas sistêmicos ocorram. Embora o sistema Mems já esteja consolidado nas operações da Vale, ele apresentava algumas limitações por ser restrito ao campo sistêmico, o que não atendia à versatilidade necessária para o dia a dia da mina. As placas luminosas em forma de sinaleiro, instaladas nas laterais do veículo, permitem que o operador e todos ao redor visualizem se os pneus do equipamento apresentam algum risco à segurança. O objetivo deste trabalho é abordar as motivações e o processo de implementação do projeto, destacando os benefícios adicionados ao processo e a tecnologia incorporada ao sistema. A dissertação também enfatiza os ganhos proporcionados pela tecnologia no contexto da mineração, especialmente quando se trata de segurança.

**Palavras-chave:** Pneus OTR. Segurança. Projeto. Mineração. Tecnologia.

**Fase da Cadeia:** Saúde & Segurança;

## **ABSTRACT**

The “Sinaleiro Mems”, a device developed in collaboration with the company Sascar, is based on a system for monitoring and analyzing pressure and temperature of Off the Road tires, which are critical for safety. The project, with applications focused on mobile mining equipment, aims to enhance safety in mine operations by providing simplified alarms before systemic issues arise. Although the Mems system is already well-established in Vale’s operations, it had limitations due to its restriction to the systemic field, which did not meet the versatility required for day-to-day mine operations. The luminous signal plates, shaped like a signaler, installed on the sides of the vehicle, allow the operator and those around to visually assess whether the equipment’s tires pose any safety risks. The objective of this work is to discuss the motivations and the path taken to implement the project, highlighting the benefits added to the process and the technology embedded in the system. The dissertation also emphasizes the gains provided by this technology in the mining context, particularly in terms of safety.

**Keywords:** OTR Tires. Safety. Project. Mining. Technology.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Mina de Horizontes.....	16
<b>Figura 2</b> - Visão geral do painel Mems .....	17
<b>Figura 3</b> - Esquema ilustrativo da conectividade do sistema .....	18
<b>Figura 4</b> - Gráfico de acompanhamento de temperatura e pressão dos pneus do equipamento CA5524, pelo sistema Mems.....	20
<b>Figura 5</b> - Gráfico de acompanhamento de temperatura e pressão dos pneus do equipamento CA5410, pelo sistema Mems.....	20
<b>Figura 6</b> - Painel de monitoramento Mems alocado no sistema siam .....	21
<b>Figura 7</b> - Vista isométrica do desenho da placa luminosa de sinalização.....	24
<b>Figura 8</b> - Vista isométrica do desenho da central eletrônica.....	25
<b>Figura 9</b> - Esquema ilustrativo do chicote elétrico do equipamento .....	26
<b>Figura 10</b> - Recorte da lista de componentes do chicote elétricos .....	27
<b>Figura 11</b> - Registro após a montagem do sinaleiro no caminhão CA5524.....	28
<b>Figura 12</b> - Dispositivo de avaliação de pressão de pneu em campo (PDA) .....	29
<b>Figura 13</b> - Registro após montagem do sinaleiro no caminhão CA5410.....	30
<b>Figura 14</b> - Reporte enviado pela equipe do COI alertando quanto a presença de um alarme no pneu do equipamento CA5410 .....	31
<b>Figura 15</b> - Registro do alarme observado no CA5410 durante a operação.....	32
<b>Figura 16</b> - Registro da reclamação dos operadores.....	33
<b>Figura 17</b> - Melhoria feita no posicionamento da placa luminosa. ....	34

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1-</b> Especificações técnicas da placa luminosa de sinalização .....	25
<b>Tabela 2-</b> Especificações técnicas da Central Eletrônica .....	26

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

MEMS – *Michelin Earthmover Management System*

OTR – *Off the Road*

COI – Centro de Operações Integradas

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Motivação .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Justificativa .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 Objetivos.....</b>	<b>14</b>
<b>1.4 Objetivos específicos.....</b>	<b>14</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Condição de operação .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Outros sistemas similares.....</b>	<b>17</b>
<b>3 SISTEMAS DE ALARMES BASEADOS NO MEMS .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 MEMS.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2 Sinaleiro.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3 Regras dos alarmes .....</b>	<b>22</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1 Experimento 1: Teste de bancada .....</b>	<b>27</b>
<b>4.2 Experimento 2: Teste prático .....</b>	<b>30</b>
<b>4.3 Avaliação dos operadores .....</b>	<b>32</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>35</b>
<b>6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>36</b>
<b><u>REFERÊNCIAS .....</u></b>	<b>37</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

Com o objetivo de aumentar a segurança nas operações envolvendo caminhões fora de estrada, foi desenvolvido e implementado um dispositivo de alerta de pressão excessiva de pneus OTR (Off the Road). Esse sinalizador tem como propósito alertar as pessoas nas proximidades do equipamento sobre a pressão elevada dos pneus.

A pressão adequada dos pneus é crucial para a segurança e eficiência das operações com caminhões fora de estrada. Pneus com pressão excessiva podem resultar em desgaste irregular, diminuição da aderência e risco de estouro, comprometendo a segurança do veículo e das pessoas ao redor (MICHELIN PORTUGAL, 2023).

O dispositivo de alerta funciona como um sistema de monitoramento contínuo da pressão dos pneus. Quando detecta que a pressão está acima dos limites recomendados, ele emite sinais visuais ou sonoros para alertar os operadores e outras pessoas próximas. Isso permite que medidas corretivas sejam tomadas imediatamente, como ajuste da pressão ou substituição do pneu (SASCAR, 2023).

Em resumo, o desenvolvimento e implementação desse dispositivo de alerta contribui significativamente para a segurança nas operações com caminhões fora de estrada, protegendo tanto os operadores quanto as pessoas ao redor do equipamento.

### **1.1 Motivação**

A busca de elevar os padrões de segurança na Vale, levou a necessidade de monitorar pontos críticos nas operações de mina, visando eliminar ocorrências de acidentes ou potenciais acidentes. Um dos pontos de atenção identificado, foi na operação dos Caminhões fora de estrada, especificamente nos pneus, que muitas vezes operam no limite de suas respectivas capacidades.

Como todo ativo, os pneus apresentam alguns indícios de possíveis falhas, e quando não considerados, podem ocasionar em falhas catastróficas, ou até mesmo fatalidades (MICHELIN PORTUGAL, 2023). Desta forma, além da inspeção sensitiva periódica feita pelos inspetores, foram implantados sistemas de monitoramento em tempo real, que possibilitam o acompanhamento remoto de pressão e temperatura dos pneus. A solução foi implantada na Vale pela equipe de Engenharia juntamente com a Sascar, uma empresa do grupo Michelin, que apoiou no desenvolvimento de um sistema simplificado de monitoramento denominado Mems.

## 1.2 Justificativa

O Sistema MEMS (Michelin Earthmover Management System), que foi implementado no passado e continua em uso até hoje, desempenha um papel crucial na compreensão do comportamento dos pneus OTR (Off-The-Road) durante as operações. Através do monitoramento remoto da pressão e temperatura dos pneus, o sistema permitiu uma análise mais profunda. No entanto, é importante mencionar que o MEMS ainda possui algumas limitações. Por exemplo, a visualização dos alarmes e desvios é restrita em termos de versatilidade, sendo possível apenas com acesso à internet ou por meio de um dispositivo específico<sup>1</sup>. Essa tecnologia representa um avanço significativo no setor de pneus para mineração, proporcionando maior eficiência operacional e segurança para os operadores (SASCAR, 2023).

A implantação do sinaleiro é inovadora trazendo como benefício a possibilidade de que o operador e pessoas localizadas aos arredores sejam alertadas de riscos eminentes promovidos por excesso de temperatura e pressão dos pneus. A iniciativa do trabalho é desenvolver uma tradução em formato luminoso os alarmes presentes no sistema, o que promove maior versatilidade e aumento de segurança, alertando em tempo real que pessoas não se aproximem e que o operador não saia da cabine e seja exposto ao risco (SASCAR, 2023).

## 1.3 Objetivos

O projeto de desenvolvimento teve como objetivo definir parâmetros e documentar as etapas adotadas para a implantação do dispositivo Sinaleiro Mems. Com base nas premissas estabelecidas, é possível traçar uma estratégia sólida para conduzir as atividades de validação do dispositivo nas minas. Isso contribuirá para a eficiência operacional e a segurança dos trabalhadores envolvidos no setor de mineração.

## 1.4 Objetivos específicos

Quanto aos passos desenvolvidos no decorrer do trabalho, listam-se:

- Definição de novos parâmetros para utilização segura de pneus;
- Desenvolvimento de um dispositivo eficiente;

- Planejamento da implantação do dispositivo;
- Configuração e calibração do dispositivo;

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

As operações Vale contam com diversos tipos de condição de trabalho, que variam de acordo com a localização da mina, tipo de lavra, compactação de material e distância percorrida por ciclo. Com isso, os pneus são afetados diretamente com a lavra em que operam, o que ocasiona diretamente nas variações de temperatura e pressão.

### 2.1 Condição de operação

O ponto focal para o início do desenvolvimento do projeto foram os equipamentos que operam nas minas que compõem o complexo Vargem Grande, que contam com variadas condições de operação e frentes de lavra. A exemplo da mina de Horizontes, onde opera um dos equipamentos com o dispositivo instalado, a cava é verticalizada, conforme apresentado na imagem de satélite (FIG.1) com grande ciclo de trabalho e terreno rochoso, ou seja, uma das piores condições de trabalho apresentada no complexo.

Figura 1 - Mina de Horizontes



Fonte: Google Maps.

Em ambientes desafiadores de trabalho, fica claro que os pneus dos equipamentos de transporte sofrem impactos diretos devido a colisões com material solto, atrito com o solo e variações de terreno, como subidas e descidas. Mesmo com múltiplas operações de infraestrutura na mina, as condições das vias não são ideais para a operação dos equipamentos. Infelizmente, esse é um problema complexo e multifatorial, pois depende de diversas variáveis.



O Payload dos equipamentos é um dos principais fatores de operação que impactam diretamente no condicionamento dos componentes dos equipamentos de transporte, portanto existe um limite de capacidade de carga definido para cada veículo de transporte. Contudo, o limite de carga é excedido em inúmeros ciclos de carga, o que agrava as condições de operação, sobrecarregando os componentes do equipamento (MICHELIN, 2023).

## 2.2 Outros sistemas similares

Devido condições de operação, muitas vezes críticas, o monitoramento de componentes é extremamente necessário, sendo aplicado em alguns casos como um tipo de manutenção preditiva. Com os pneus não poderia ser diferente, devido a criticidade do componente, é de grande necessidade manter um monitoramento em tempo real para evitar eventualidades como danos ao equipamento, mas principalmente acidentes e fatalidades.

Atualmente, o monitoramento de pneus é feito de maneira remota, com o controle de temperatura e pressão, onde os dados são enviados para uma plataforma online chamada Mems (FIG. 2). Os dados dessa plataforma passam por um filtro que indicará alarmes vermelhos e amarelos, caso haja algum desvio operacional. Porém o monitoramento fica limitado a uma visualização online, ou seja, é necessário ter acesso a um dispositivo com acesso à internet, para que assim seja possível acompanhar o status do equipamento em questão.

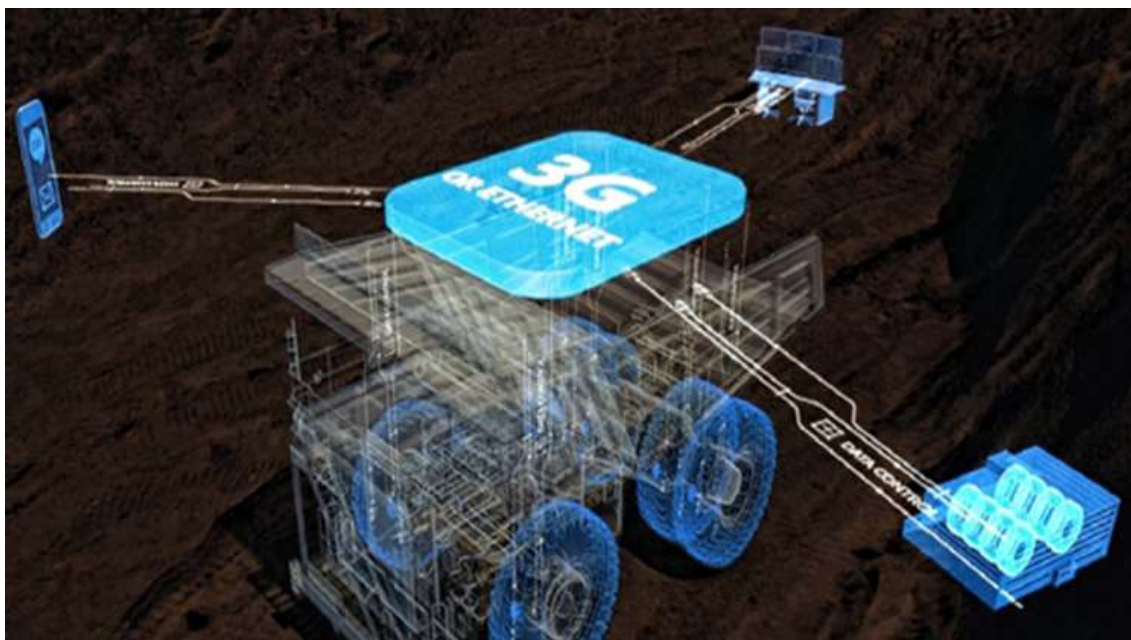
Figura 2- Visão geral do painel Mems

Frota		Frota Transporte																							
Frota	TAG	Posição D0			Posição D6			Posição D8			Posição T0			Posição T6			Posição T8								
		Pressão	P. Rec	DM	Temp.	Pressão	P. Rec	DM	Temp.	Pressão	P. Rec	DM	Temp.	Pressão	P. Rec	DM	Temp.	Pressão	P. Rec	DM	Temp.				
CAT 788	C45407	119	125	-6	53	119	125	-7	53	119	125	-9	54	121	126	-5	56	123	124	-1	52	119	127	-1	53
	C45408	113	125	-4	60	123	126	-3	58	127	128	-5	51	130	134	-2	62	128	129	-9	54	129	128	1	60
	C45411	116	124	-7	51	121	127	-5	53	127	128	-1	60	127	129	-2	63	129	128	-5	60	127	130	-2	63
	C45414	115	121	4	48	123	122	2	48	123	121	2	48	118	123	-6	50	121	121	0	45	121	123	-2	48
	C45424	114	126	-2	57	121	124	-4	52	126	126	0	54					119	126	-7	55	126	126	-9	61
	C45415	118	124	-5	52	123	126	-3	57	122	126	-5	54	125	127	-2	58	124	127	-3	55	125	126	-5	60
	C45428	119	125	-8	53	118	123	-5	49	126	126	-5	49	122	128	-3	54	122	125	-2	53	122	126	2	57
	C45427	125	129	0	64	127	126	1	57	122	128	-8	60	123	129	-6	63	126	128	-2	60	121	126	-9	57
	C45425	122	125	-1	49	127	125	1	53	122	126	-5	54	123	127	-3	58	123	125	0	54	127	125	1	55
	C45429	128	134	6	62	126	125	0	55	127	134	7	51	122	126	-4	57	121	125	-4	54	124	127	-3	58
	C45430	117	117	0	56	118	118	0	61	121	120	0	65	122	121	1	67	122	122	0	66	120	122	-1	63
	C45431	123	125	-2	53	126	127	-1	53	129	124	-5	52	122	128	-3	55	129	126	3	56	124	126	-2	56
	C45485	121	125	-4	49	118	123	-6	49	121	124	-2	51	121	125	-4	55	118	124	-8	51	120	125	-8	55
	C45482	120	121	-1	52	120	123	-3	53	127	126	-9	53	116	127	-1	54	126	124	-8	53	128	124	-6	55
C4548a	118	122	-4	48	119	122	-2	48	127	121	-9	44	121	121	0	49	122	123	-1	48	121	123	-1	49	
C45488	118	124	2	52	119	123	-7	53	125	126	0	54	128	127	1	59	128	128	0	54	119	129	-10	63	
C45490	118	126	-8	56	126	126	0	58	130	125	5	48	122	123	-1	50	127	126	2	54	123	123	0	50	
C45495	114	120	-6	47	109	110	-1	42	124	118	-6	58	117	118	-2	53	111	119	-8	53	118	121	-4	47	
C45497	119	124	-8	51	124	123	-1	53	122	122	0	48	116	122	-8	48	120	122	0	47	120	127	7	53	

Fonte: Painel Mems, Portal Siam.

A aferição dos valores de pressão e temperatura é feito a partir de sensores instalados na roda e posicionados próximos ao talão do pneu, de maneira individual, para que seja possível monitorar cada um individualmente. Individualmente, cada sensor envia dados para a central instalada no equipamento, que posteriormente irá transmitir os dados para o portal Mems a partir de uma conexão 3G (FIG. 3).

Figura 3- Esquema ilustrativo da conectividade do sistema



Fonte: Painel Mems, Portal Siam.

Atualmente, não existem outros produtos com a mesma função que o sinaleiro, portanto trata-se de um desenvolvimento inovador, que se utiliza de tecnologias já existentes para o funcionamento.

### 3 SISTEMAS DE ALARMES BASEADOS NO MEMS

Em operações que envolvem caminhões fora de estrada, é essencial que exista um acompanhamento das condições de alguns componentes críticos, que se em caso de falha, podem gerar severos danos a integridade do equipamento e segurança dos envolvidos.

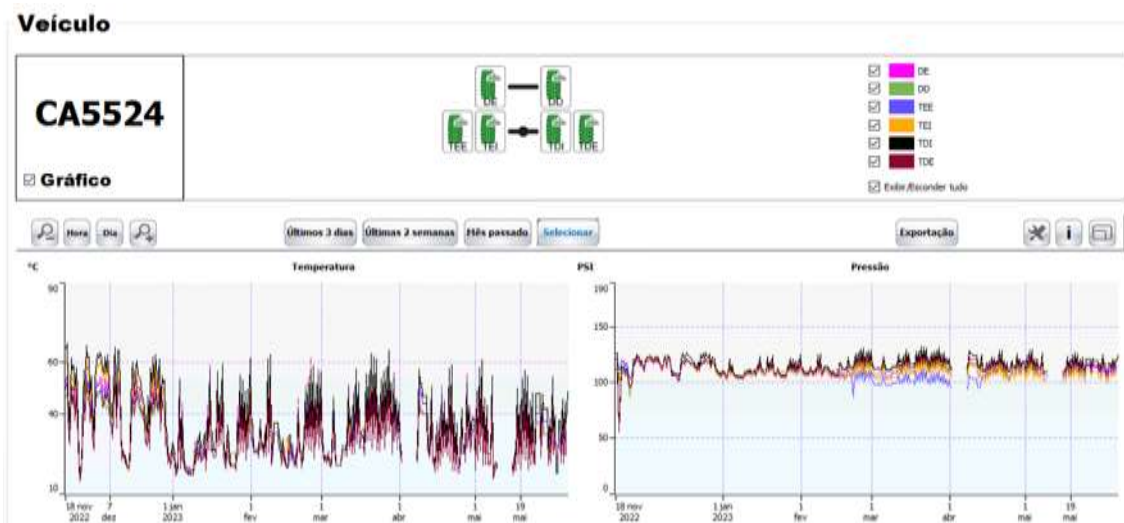
#### 3.1 MEMS

O Mems é um sistema já consolidado nas operações Vale e garante o aumento da segurança e previsibilidade no dia a dia de trabalho. Sistema registra a temperatura e a pressão dos pneus em tempo real durante o funcionamento do veículo, permitindo o acompanhamento em tempo real. Conforme a revisão da diretriz interna de segurança, equipamentos móveis de pneus (veículos pesados acima de 45 toneladas de tara) devem ser equipados com o sistema de monitoramento.

O sistema Mems apresenta uma interface prática que facilita a visualização do usuário, apresentando gráfico, contudo esse portal de acesso apresenta acesso limitado, não sendo permitido a todos usuários. Atualmente, o uso dessa ferramenta fica praticamente restrita aos usuários do COI, já que esses são responsáveis por alertar a operação da presença de alarmes operacionais nos pneus.

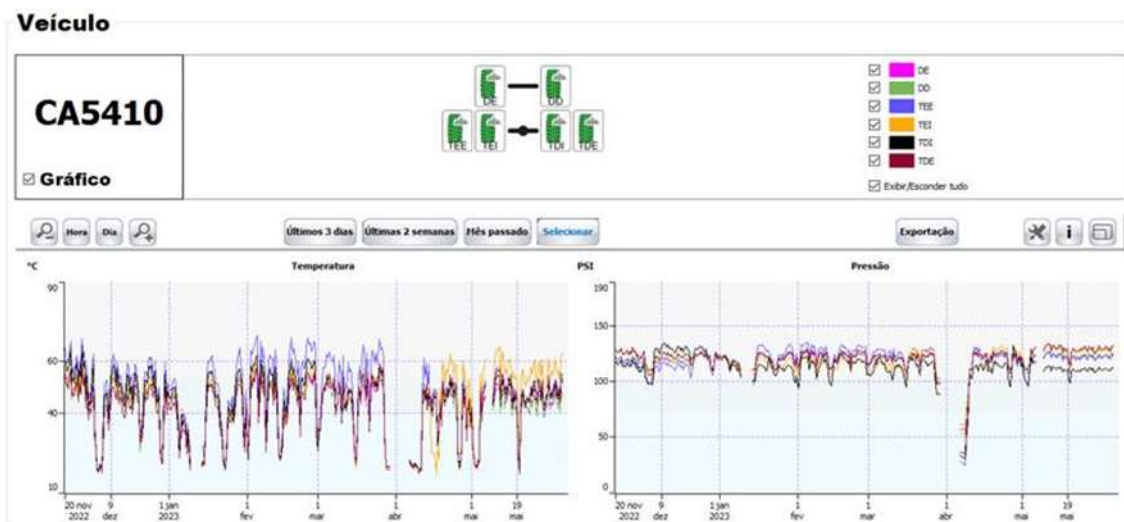
A figura (FIG. 4) apresenta um print dos gráficos extraídos do histórico de pressão e temperatura da plataforma Mems, referente ao equipamento CA5524, sendo que a figura (FIG. 5), apresenta os mesmos dados do equipamento CA5410. Nas figuras é possível identificar dois gráficos, um de temperatura e outro de pressão, com seis meses de histórico. No campo superior consta o status dos alarmes de todos os pneus do equipamento, sendo possível filtrar os dados do gráfico a partir das seleções a direita.

Figura 4- Gráfico de acompanhamento de temperatura e pressão dos pneus do equipamento CA5524, pelo sistema Mems



Fonte: Plataforma Mems.

Figura 5- Gráfico de acompanhamento de temperatura e pressão dos pneus do equipamento CA5410, pelo sistema Mems



Fonte: Plataforma Mems.

Com a finalidade de abranger o acesso aos status dos pneus, foi desenvolvido um painel, alocado em uma plataforma interna de acompanhamento, que traduz em tempo real os dados apresentados na plataforma da Sascar. No painel apresentado (FIG. 6), as alterações excessivas de pressão também são classificadas pelas cores vermelhas e amarelas. Atualmente, é possível visualizar o painel do Mems a partir de um acesso

online, dessa maneira é necessário conexão com um computador conectado à rede. Então, nas oficinas de pneus, foram instaladas telas que permitem que os envolvidos no processo acompanhem a existência de alarmes operacionais.

Figura 6- Painel de monitoramento Mems alocado no sistema siam

Frota		TAJ	Posição DD				Posição DE				Posição TDE				Posição TDI				Posição TEE				Posição TFI							
			Pressão	F. Rec.	DM	Temp.	Pressão	F. Rec.	DM	Temp.	Pressão	F. Rec.	DM	Temp.	Pressão	F. Rec.	DM	Temp.	Pressão	F. Rec.	DM	Temp.	Pressão	F. Rec.	DM	Temp.				
CAT 78A	C#4206	●	320.00	118.00	-0.00	237.0	320.00	118.00	-0.00	217.0	320.00	118.00	-0.00	217.0	320.00	117.00	-0.00	247.0	327.00	118.00	-0.00	217.0	320.00	118.00	-0.00	217.0	320.00	118.00	-0.00	217.0
	C#4207	●	319.00	121.00	-0.00	237.0	319.00	121.00	-0.00	217.0	319.00	121.00	-0.00	217.0	319.00	121.00	-0.00	247.0	327.00	121.00	-0.00	217.0	320.00	121.00	-0.00	217.0	320.00	121.00	-0.00	217.0
	C#4211	●	311.00	121.00	-0.00	237.0	311.00	122.00	0.00	217.0	311.00	122.00	-0.00	217.0	311.00	122.00	-0.00	247.0	327.00	122.00	-0.00	217.0	320.00	122.00	-0.00	217.0	320.00	122.00	-0.00	217.0
	C#4214	●	318.00	117.00	1.00	237.0	318.00	118.00	0.00	217.0	318.00	118.00	-0.00	217.0	318.00	118.00	-0.00	247.0	327.00	118.00	-0.00	217.0	320.00	118.00	-0.00	217.0	320.00	118.00	-0.00	217.0
	C#4216	●	318.00	118.00	-0.00	237.0	318.00	118.00	-0.00	217.0	318.00	118.00	-0.00	217.0	318.00	118.00	-0.00	247.0	327.00	118.00	-0.00	217.0	320.00	118.00	-0.00	217.0	320.00	118.00	-0.00	217.0
	C#4217	●	320.00	120.00	1.00	237.0	320.00	120.00	1.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	247.0	327.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0
	C#4218	●	318.00	118.00	-0.00	237.0	318.00	120.00	-0.00	217.0	318.00	120.00	-0.00	217.0	318.00	120.00	-0.00	247.0	327.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0
	C#4229	●	318.00	117.00	1.00	237.0	317.00	118.00	-0.00	217.0	317.00	118.00	-0.00	217.0	317.00	118.00	-0.00	247.0	327.00	118.00	-0.00	217.0	320.00	118.00	-0.00	217.0	320.00	118.00	-0.00	217.0
	C#4230	●	318.00	118.00	0.00	237.0	318.00	118.00	0.00	217.0	318.00	118.00	-0.00	217.0	318.00	118.00	-0.00	247.0	327.00	118.00	-0.00	217.0	320.00	118.00	-0.00	217.0	320.00	118.00	-0.00	217.0
	C#4231	●	318.00	120.00	-0.00	237.0	318.00	120.00	-0.00	217.0	318.00	120.00	-0.00	217.0	318.00	120.00	-0.00	247.0	327.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0
C#4232	●	324.00	120.00	0.00	237.0	324.00	121.00	0.00	217.0	324.00	121.00	-0.00	217.0	324.00	121.00	-0.00	247.0	327.00	121.00	-0.00	217.0	320.00	121.00	-0.00	217.0	320.00	121.00	-0.00	217.0	
CAT 78B	C#4233	●	318.00	120.00	-0.00	237.0	318.00	120.00	-0.00	217.0	318.00	120.00	-0.00	217.0	318.00	120.00	-0.00	247.0	327.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0
	C#4234	●	318.00	120.00	-0.00	237.0	318.00	120.00	-0.00	217.0	318.00	120.00	-0.00	217.0	318.00	120.00	-0.00	247.0	327.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0
	C#4235	●	318.00	120.00	-0.00	237.0	318.00	120.00	-0.00	217.0	318.00	120.00	-0.00	217.0	318.00	120.00	-0.00	247.0	327.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0
	C#4236	●	318.00	120.00	-0.00	237.0	318.00	120.00	-0.00	217.0	318.00	120.00	-0.00	217.0	318.00	120.00	-0.00	247.0	327.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0
	C#4237	●	318.00	120.00	-0.00	237.0	318.00	120.00	-0.00	217.0	318.00	120.00	-0.00	217.0	318.00	120.00	-0.00	247.0	327.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0
	C#4238	●	318.00	120.00	-0.00	237.0	318.00	120.00	-0.00	217.0	318.00	120.00	-0.00	217.0	318.00	120.00	-0.00	247.0	327.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0
	C#4239	●	318.00	120.00	-0.00	237.0	318.00	120.00	-0.00	217.0	318.00	120.00	-0.00	217.0	318.00	120.00	-0.00	247.0	327.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0
	C#4240	●	318.00	120.00	-0.00	237.0	318.00	120.00	-0.00	217.0	318.00	120.00	-0.00	217.0	318.00	120.00	-0.00	247.0	327.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0	320.00	120.00	-0.00	217.0
	C#4241	●	327.00	118.00	-0.00	237.0	327.00	118.00	-0.00	217.0	327.00	118.00	-0.00	217.0	327.00	118.00	-0.00	247.0	327.00	118.00	-0.00	217.0	320.00	118.00	-0.00	217.0	320.00	118.00	-0.00	217.0
	C#4242	●	320.00	118.00	-0.00	237.0	320.00	118.00	-0.00	217.0	320.00	118.00	-0.00	217.0	320.00	118.00	-0.00	247.0	327.00	118.00	-0.00	217.0	320.00	118.00	-0.00	217.0	320.00	118.00	-0.00	217.0
C#4243	●	318.00	118.00	-0.00	237.0	318.00	118.00	-0.00	217.0	318.00	118.00	-0.00	217.0	318.00	118.00	-0.00	247.0	327.00	118.00	-0.00	217.0	320.00	118.00	-0.00	217.0	320.00	118.00	-0.00	217.0	

Fonte: Painel Mems, Portal Siam.

Os dados indicados no painel do Mems são enviados pela central localizada no caminhão, coletados por sensores de temperatura e pressão localizados na parte interna do pneu. O painel fica localizado em um portal interno, que abriga diversos painéis de acompanhamento e com o acesso online, permite a atualização dos dados a cada minuto.

### 3.2 Sinaleiro

O sinaleiro é um dispositivo inovador, portanto ainda não é oferecido no mercado de soluções, já que se trata de um desenvolvimento da Vale, juntamente com a Sascar. Visto a criticidade das operações e o risco de estouro presente nos pneus OTR, encontrou-se a necessidade de elaborar um dispositivo que alerte de maneira mais prática a presença de alarmes. Com o sinaleiro é possível que tanto o operador quanto pessoas localizadas aos arredores, identifiquem o risco e tomem as providências necessárias para evitar acidentes.

Possibilitar que o operador do equipamento identifique o risco agregado aos pneus é de extrema importância, devido a impossibilidade de acessar o painel Mems no interior da cabine. Já que durante o turno, o operador precisa se retirar do equipamento em diversas ocasiões, a presença do sinaleiro irá promover aumento de segurança,

alertando-o de um possível risco e permitindo que fique no interior da cabine, em segurança.

Ao adentrar em áreas movimentadas, o sinaleiro permitirá que as pessoas localizadas aos arredores do equipamento fiquem cientes do risco a integridade, permitindo que o condutor do veículo o conduza para um local remoto até que a situação seja adequada. Devido a fatalidades ocorridas no passado, veículos com alarmes identificados nos pneus não podem adentrar as áreas da oficina, portanto o sinaleiro permitirá um “diagnostico” de um risco, evitando que esse equipamento se aproxime.

### 3.3 Regras dos alarmes

O sistema Mems possui uma padronização universal de alarmes para todos os pneus, sendo baseado na determinação de percentuais de variação permitidos para a operação dos equipamentos. O sistema leva em consideração a equação universal dos gases (equação 1) para determinar a variação de pressão tolerável a cada temperatura alcançada pelos pneus durante a operação.

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (1)$$

Na equação universal dos gases demonstrada (EQUAÇÃO 1), P é a pressão, V é o volume, T é a temperatura em Kelvin, R é a constante universal dos gases (0,082 atm) e n corresponde ao número de mols. possível determinar a pressão correspondente a cada temperatura. No cálculo do sistema, somente a pressão e temperatura são variáveis, sendo diretamente proporcionais, o que permite o sistema calcular a pressão correspondente permitida em cada temperatura lida pelo sensor.

Visto que os valores de pressão ideal variam conforme a temperatura, o sistema estabelece os alarmes baseados em desvios na pressão ideal (que geralmente é maior que a pressão definida na calibragem do pneu). O sistema possui os alarmes amarelo e vermelho, sendo o vermelho mais crítico que o amarelo. Para que o sistema indique um alarme amarelo é necessário que a pressão medida no pneu esteja entre 10% e 15% acima da pressão ideal definida para a temperatura de operação no momento. Já o alarme vermelho, mais crítico, é visto quando o equipamento alcança a pressão de operação acima de 15% mais elevada que a pressão ideal.

O sistema Mems transmite todas as temperaturas, pressões de cada pneu para um painel alocado no portal Siam, onde é gerado uma planilha com os dados unificados de todos

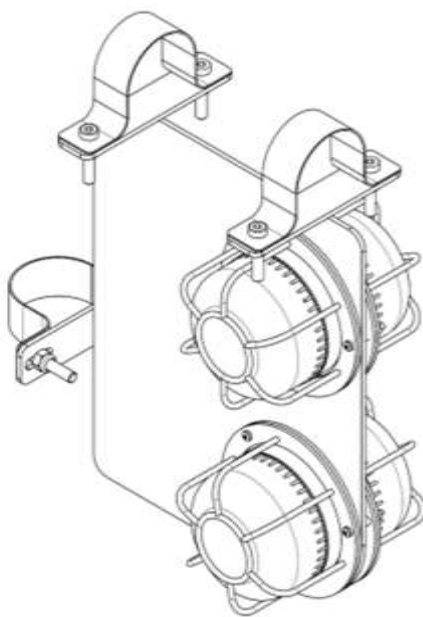
os equipamentos, com um filtro aplicado em caso de alarmes. O painel traduz de maneira visual, onde as células que contém dados com desvios, são coloridas conforme a cor do alarme correspondente e os demais dados são mantidos na coloração branca, caso permaneçam no padrão. Visores localizados nas oficinas de pneus projetam os dados do painel Mems, para que pessoas envolvidas possam acompanhar o status dos pneus de cada equipamento.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sinaleiro Mems é um dispositivo fabricado pela Sascar, empresa do grupo Michelin, que oferece soluções para pneus OTR. O sinaleiro necessita de três conjuntos de itens para seu funcionamento, sendo um dispositivo simplificado e adaptável ao equipamento que está montado.

A figura (FIG. 7), ilustra em uma projeção isométrica, da placa de sinalização, dispositivo responsável pelos alertas luminosos. O dispositivo conta com duas lanternas projetadas em cada uma de suas faces, sendo que quando montado em um suporte do equipamento, ficará com uma face voltada para a cabine do operador, e outra voltada para o lado externo. Na tabela (TABELA 1), constam as especificações técnicas do dispositivo.

Figura 7- Vista isométrica do desenho da placa luminosa de sinalização



Fonte: Ficha técnica Sinaleiro (2021, p. 4).



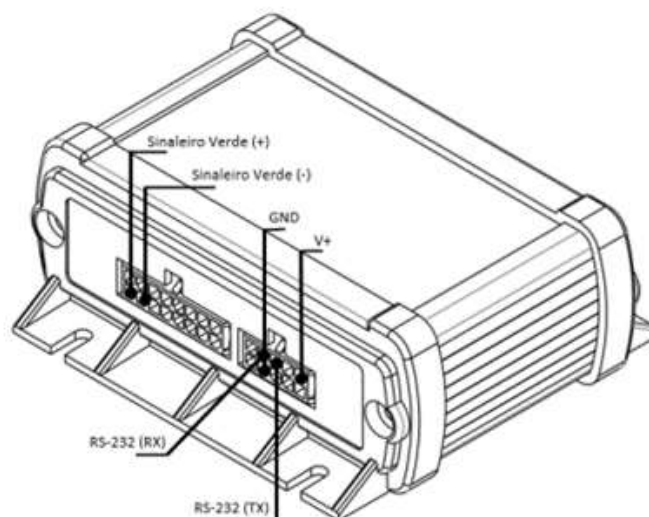
Tabela 1- Especificações técnicas da placa luminosa de sinalização

PN	DESCRIÇÃO DO MATERIAL
Tensão de alimentação	12/24 VDC
Umidade relativa do ar	-10°C a + 85°C
Consumo máximo	800mA @ 12VDC (Todas as luzes ligadas)
Consumo típico	144mA @ 12V (Todas as luzes ligadas)
Frequência de acionamento	1 segundo
Cores	Vermelho e âmbar
Material do suporte	Aço 1020
Grau de proteção	IP66

Fonte: Ficha técnica Sinaleiro (2021, p. 4).

A figura (FIG. 8), apresenta a central eletrônica, onde na vista isométrica é possível visualizar as portas de entrada e saída para os cabos conectores. Esse dispositivo é responsável por receber, processar e direcionar os dados, sendo o percurso do input recebido pela placa de sinalização, portanto é conectado a fonte de energia do equipamento e posicionado na cabine. As suas especificações técnicas, podem ser consultadas na tabela (TABELA 2).

Figura 8- Vista isométrica do desenho da central eletrônica



Fonte: Ficha técnica Sinaleiro (2021, p. 2).

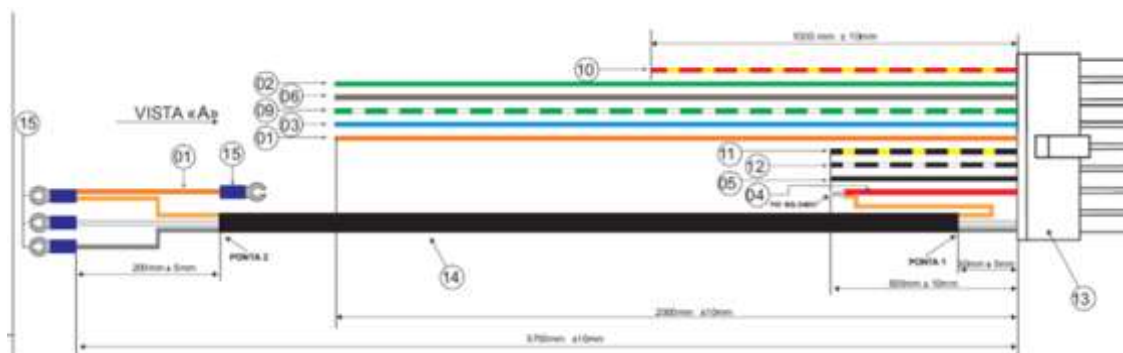
Tabela 2- Especificações técnicas da Central Eletrônica

PN	DESCRIÇÃO DO MATERIAL
Tensão de alimentação	9,0 VDC a 32,0 VDC
Umidade relativa do ar	-10°C a + 70°C
Consumo máximo	60mA @ 9VDC
Consumo típico	46mA @ 12V / 25,5mA @ 24V
Saída 2	VDC (+)
Saída 3	VDC (+)
Nível de sinal RS-232 TX	± 13,2V
Nível de sinal RS-232 RX	± 25V
Taxa de transmissão RS-232	19200 kbps

Fonte: Ficha técnica Sinaleiro (2021, p. 2).

As conexões são feitas através de um chicote elétrico composto por dez fios, conectores e terminais responsáveis pelo funcionamento do dispositivo, conforme retratado pelo esquema presente na figura (FIG. 9), descrito pela lista inserida na figura seguinte (FIG .10).

Figura 9- Esquema ilustrativo do chicote elétrico do equipamento



Fonte: Proposta técnica Sinaleiro (2022, p. 12).

Figura 10- Recorte da lista de componentes do chicote elétricos

15	TERMINAL FORQUILHAABERTO - V8 PARA MOD. PRE-ISOLADO AZUL - B 1.5 - REF 137-A - PERMAX	017287	04	————
14	MULTIPLE CONDUCTOR CABLE 22AWG 6P WITHOUT SHIELD - PN: (2680)9P PRETO - LS-C2-8P-PR - FE	009838	————	5700 mm
13	CONNECTOR MICROFIT MALE DUAL ROW HOUSING 16P FOR CRIMP FEMALE	009000	01	————
12	FLEXIBLE CABLE 20AWG BLACK / WHITE 300V 105°C	008320	————	500 mm
11	FLEXIBLE CABLE 20AWG YELLOW / BLACK 300V 105°C	008319	————	500 mm
10	FLEXIBLE CABLE 20AWG YELLOW / RED 300V 105°C	008315	————	1000 mm
09	FLEXIBLE CABLE 20AWG GREEN / WHITE 300V 105°C	008308	————	2000 mm
08	ABRACADEIRAT-18.L - NYLON - HELLERMANN - PRETA	006844	2	————
07	CRIMP FEMALE MICRO-FIT - PN: CP35TN21PES - CVILUX	004400	12	————
06	FLEXIBLE CABLE 20AWG BROWN 300V 105°C	004011	————	2000 mm
05	FLEXIBLE CABLE 20AWG BLACK 300V 105°C	004010	————	500 mm
04	FLEXIBLE CABLE 20AWG RED 300V 105°C	004009	————	500 mm
03	FLEXIBLE CABLE 20AWG BLUE 300V 105°C	004008	————	2000 mm
02	FLEXIBLE CABLE 20AWG GREEN 300V 105°C	004005	————	2000 mm
01	FLEXIBLE CABLE 20AWG ORANGE 300V 105°C	001382	————	2000m + 2000m

Fonte: Proposta técnica Sinaleiro (2022, p. 12).

#### 4.1 Experimento 1: Teste de bancada

Foi instalado um “dispositivo eletrônico e luminoso” nas laterais dos equipamentos fora de estrada e em caso de alertas de alta temperatura ou pressão nos pneus identificados pelo Mems, serão acionados sinalizadores luminosos nas cores âmbar e vermelho conforme o grau de risco do alerta. Para alertas de menores riscos as luzes na cor âmbar são acionadas, já para alertas de alto nível de risco as luzes de cor vermelha são acionadas. O sistema é ligado juntamente com o equipamento, e terá seu funcionamento dependente dos alarmes presentes no Mems.

A equipe Sascar, responsável pelo sinaleiro Mems, fez uma visita técnica em 09/09/2022 para analisar o layout de montagem do dispositivo no caminhão CAT 775, verificando a viabilidade e traçando a estratégia de instalação. Após, foram feitas adequações para que o layout fosse suportado pelo equipamento. A instalação do dispositivo ocorreu no dia 09/02/2023, no caminhão CAT 775 CA5524, na mina de Horizontes, conforme registro da figura (FIG. 11).

Figura 11- Registro após a montagem do sinaleiro no caminhão CA5524



Fonte: Próprio autor.

Após a montagem do dispositivo foi finalizada e logo após foram iniciados os testes para avaliar o seu funcionamento. Abaixo, segue a sequência de procedimentos feitos na instalação que possibilitaram o funcionamento do sistema:

- Atualização da interface com o novo firmware que trata todos os protocolos suportados pelo Mems.
- Verificação visual da interface para identificar o recebimento das mensagens enviadas pelo Mems. A verificação visual foi feita através dos LEDs da interface.
- Para os testes, foi desenvolvido a simulação de um pneu fictício na plataforma do Mems, atribuindo as condições ao equipamento embarcado no veículo CA5524 – CAT775. Com o suporte da equipe Michelin, os parâmetros foram avaliados, alterando seus valores de acordo com o pneu aplicado, de tal forma que foram gerados alertas de nível amarelo e vermelho. A cada alerta gerado, foi verificada a sinalização mostrada no

veículo (LEDS da interface), e se essa estava coerente com o alerta gerado na plataforma do Mems.

- Em contraprova, foi feito o acompanhamento dos alertas pelo PDA, equipamento portátil utilizado pela equipe de campo.

A integração do Sinaleiro com a central do sistema de monitoramento de pneus da Michelin instalada na cabine do veículo permite a leitura dos alertas e com isso o acionamento das luzes sinalizadoras. Essa interface é feita através do padrão de comunicação RS-232 disponível nos dois equipamentos. Na figura (FIG. 12) é possível visualizar o registo dos testes realizados na oficina de Horizonte, seguindo os procedimentos listados acima. É possível observar que o dispositivo PDA indica em seu visor um alarme de pressão que é prontamente correspondido pelo sinal luminoso emitido pela placa luminosa amarela, ao fundo.

Figura 12- Dispositivo de avaliação de pressão de pneu em campo (PDA)



Fonte: Próprio autor.

Posteriormente o dispositivo foi instalado também em um caminhão CAT 785 - CA5410, com o objetivo de ampliar os testes com o Sinaleiro, conforme registro da



figura (FIG. 13). No dia 24/05/2023, engenheiros da Sascar participaram do acompanhamento e elaboração dos testes de bancada, que conforme o esperado, tiveram um resultado positivo, correspondendo com o padrão exigido para entrar em operação. Por fim os testes do dispositivo contaram com dois equipamentos, de modelos diferentes, em atividade.

Figura 13- Registro após montagem do sinaleiro no caminhão CA5410



Fonte: Próprio autor.

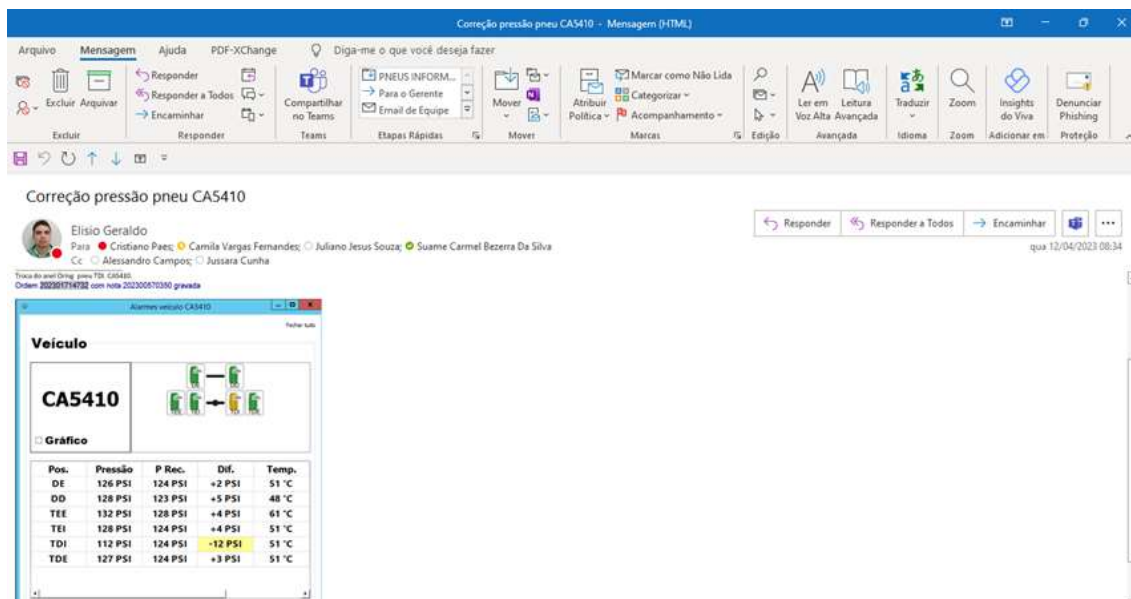
#### 4.2 Experimento 2: Teste prático

Após realização dos testes na oficina de Horizontes, o equipamento foi liberado para operar, para que assim fosse possível comprovar o funcionamento prático do dispositivo. Com passar do tempo de teste, o dispositivo alertou quanto alguns alarmes amarelos, contudo não foi possível realizar registros fotográficos dos alarmes luminosos enquanto os equipamentos estavam em operação.

Foi encontrada uma dificuldade em obter registros dos alarmes ocorridos nos equipamentos em operação, já que para isso, é necessário que por causas operacionais o equipamento sofra uma elevação ou queda na pressão, representado um desvio operacional não previsível. Contudo todos os alarmes ressaltados pelo COI (Centro de Operações Integradas), foram reafirmados pelos operadores que visualizaram o

indicativo luminoso na parte interna da cabine, confirmando a eficácia do dispositivo. A figura (FIG. 14), apresenta um dos Reports enviados para alertar quanto a alarmes de pressão dos pneus, contudo era necessário coincidir a existência de um alarme operacional, com a presença de um responsável em campo.

Figura 14- Reporte enviado pela equipe do COI alertando quanto a presença de um alarme no pneu do equipamento CA5410



Fonte: Microsoft Outlook.

Após a instalação realizada no dia 24/05/2023, o equipamento CA5410 entrou em operação, que foi inicialmente assistida pelos engenheiros da Sascar que participaram das instalações. Durante o breve acompanhamento, coincidentemente, o equipamento indicou um alarme amarelo que pôde ser observado da parte exterior do equipamento. Foi solicitada a parada do equipamento, para que fosse possível a realização da gravação do momento indicado, conforme mostrado na figura (FIG. 15).

Figura 15- Registro do alarme observado no CA5410 durante a operação.



Fonte: Próprio autor.

Simultaneamente a incidência do sinal luminoso amarelo, o COI alertou quanto a presença de um alarme de queda de pressão no pneu traseiro direito interno. É importante ressaltar que os responsáveis pela gravação se aproximaram do equipamento pois o pneu não apresentava risco de explosão, pois a queda de 11 psi registrada, nessas condições, não apresenta um risco eminente a segurança.

#### **4.3 Avaliação dos operadores**

O dispositivo sinaleiro teve como, como principal objetivo agregar a segurança dos envolvidos nas operações de mina, beneficiando diversos campos da produção. Ao



implementar o projeto, as avaliações foram muito positivas, por se tratar de um dispositivo que não interfere no funcionamento do equipamento.

Os objetivos dos testes foram justamente buscar melhorias ao projeto inicial, adaptando-o as operações a qual o equipamento está inserido, com isso foram feitos diversos acompanhamentos com os operadores, instrutores de mina e supervisores de área, com o objetivo entender os pontos levantados pelos envolvidos quanto ao sistema. Logo nos primeiros dias de teste, a operação fez algumas considerações quanto ao incômodo visual gerado pela placa luminosa durante operações noturnas. Inicialmente, a luminosidade proveniente da placa luminosa durante a ativação dos alarmes causou desconforto aos operadores. Os operadores alegaram que essa luz refletia no espelho retrovisor (FIG. 16), gerando incômodo visual, especialmente à noite. É importante considerar ajustes no posicionamento ou intensidade da placa para minimizar esse efeito indesejado e garantir a segurança e bem-estar dos operadores.

**Figura 16 - Registro da reclamação dos operadores**



Fonte: Próprio autor.

Juntamente aos pontos de atenção, houve algumas propostas de melhoria indicadas pela operação, que foram prontamente avaliadas com a equipe responsável pela montagem, para que não houvesse impactos no dispositivo. Após um consenso, a placa luminosa foi reposicionada, sendo seu suporte alocado em uma área adjacente a posição anterior, ligeiramente atrás do retrovisor como apresentado na figura (FIG. 17).

Figura 17- Melhoria feita no posicionamento da placa luminosa.



Fonte: Próprio autor.

## 5 CONCLUSÕES

A necessidade de implementar dispositivos para aumento de segurança nas operações Vale, foi o principal motivador para pesquisa e desenvolvimento do Sinaleiro Mems. Um Dispositivo capaz de alertar pessoas localizadas aos arredores, que permite que o operador e as equipes envolvidas tomem providências necessárias, representa um grande agregador a segurança nas operações.

Durante o desenvolvimento do trabalho, foram implantadas algumas melhorias no dispositivo, que garantiram um melhor ajuste as operações que o equipamento está envolvido. O reposicionamento da placa luminosa foi um dos ajustes realizados com a finalidade de garantir a não interferência no processo como outros ajustes sistêmicos realizados. Isso só foi possível graças a integração entre a equipe Vale e Sascar, que levantaram todas as possibilidades e limitações, considerando observações realizadas por todas as partes, alcançando assim as oportunidades de melhoria.

O dispositivo Sinaleiro, foi aplicado e testado, até o momento apenas em caminhões do tipo fora de estrada, mas o que não limita que a aplicação seja estendida para outras frotas que possuam pneus. O ponto focal do projeto, foi justamente a frota de caminhões fora de estrada, devido a criticidade e necessidade de mitigar possíveis acidentes, já que os pneus desses equipamentos enfrentam diversas variações de pressão e temperatura diariamente. Em desenvolvimentos futuros, com a possibilidade de maiores investimentos, será possível aplicar o dispositivo em carregadeiras e tratores de pneus que operam nas minas da Vale, abrangendo ainda mais o mapa de segurança das operações.

Portanto, é possível garantir que o Sinaleiro Mems, desenvolvido e validado durante esse trabalho, cumpre com o esperado, garantido aumento de segurança nas operações de Mina envolvendo caminhões fora de estrada. Nas diversas avaliações, o Sinaleiro apresentou coerência e repetibilidade dos resultados, o que assegurou a companhia a segurança e a confiança de implementar esse dispositivo nas operações Vale.

## **6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

O projeto desenvolvido nessa dissertação apresentou um grande ganho para as operações Vale, visto o grande valor agregado a segurança. Desse modo, em futuros desenvolvimentos e a abrangência de outras frotas de equipamentos móveis de mina representaria um grande avanço na segurança das operações de mina.

Considerando as limitações de investimento, em breve, inicialmente ocorreria a adição do Sinaleiro Mems como item obrigatório de segura em caminhões fora de estrada, tornando obrigatória a instalação em toda frota. Em desenvolvimentos futuros, caberia o desenvolvimento e adaptação do sistema já implantado, para a frota de carregadeiras e motoniveladoras.

Portanto, o desenvolvimento desse trabalho permitiu o desenvolvimento de diversas ideias e expectativas para futuros trabalhos e adjacências que permitiram melhorias. Acredita-se que sempre existem possibilidades para desenvolvimentos futuros ligados a segurança.

## REFERÊNCIAS

MICHELIN | **Pneus Michelin para minas de superfície.** Disponível em: <<https://pro.michelin.com.br/minas-pedreiras/minas-de-superficie>>. Acesso em: 17 de agosto. 2023.

MICHELIN COMMERCIAL TIRES | **The MICHELIN® MEMS® 4.** Disponível em: <<https://business.michelinman.com/mines-quarries/services-mining-quarries/michelin-mems-4>>. Acesso em: 19 de agosto.2023.

SASCAR, M. | **Proposta técnica.** São Paulo. Acesso em: 1 maio. 2023.

SASCAR, M. | SILVA, L. **Ficha Técnica - Sinaleiro Mems.** São Paulo. Acesso em: 21 maio. 2023.

SASCAR | **A maneira mais inteligente de gerenciar sua frota, veículo ou carga.** Disponível em: <<https://sascar.com.br/>>. Acesso em: 08 de agosto. 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. Sistema de Bibliotecas e Informação. **Guia para normalização bibliográfica de trabalhos acadêmicos.** Ouro Preto, 2017. Acesso em: 13 de setembro. 2023.