

APLICAÇÃO DE SENSORES DE VIBRAÇÃO E RUÍDO NOS TRILHOS PARA DETECÇÃO DE DANOS EM RODAS FERROVIÁRIA

Francisco José Freitas Lopes



A EVOLUÇÃO
PASSA
POR AQUI

CURRICULUM VITAE

- Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Eletrônicos pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (1985);
- Pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho pela FUMEC (1991);
- Pós-graduação em Engenharia de Processos pelo IETEC (1999);
- Pós-graduação em Engenharia Clínica pelo CEFET-MG (2001);
- Mestrado em Engenharia Mecânica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (2017);
- Analista Técnico da CBTU-STU/BH (1985 até esta data), atualmente como Coordenador da Oficina Eletromecânica e responsável pela manutenção dos Veículos Ferroviários, Rodoferroviários e atendimento do Socorro Ferroviário.

JUSTIFICATIVAS

- **AUMENTO DO TRÁFEGO, COM EXPANSÃO HORÁRIOS DE PICO;**
- **DIFICULDADE NA DETECÇÃO DE DANOS EM RODAS, COM A DEPENDÊNCIA DA OPERAÇÃO/USUÁRIO;**
- **DIFICULDADE NA IDENTIFICAÇÃO DA RODA OU RODEIRO COM DANOS;**
- **DANOS CAUSADOS À VIA PERMANENTE E AO MATERIAL RODANTE;**
- **TECNOLOGIAS COMERCIAIS EXISTENTES DE DETECÇÃO DE DANOS EM RODAS BASEIAM-SE NA MEDIDA DA DEFLEXÃO DOS TRILHOS, PORTANTO, PRATICAMENTE LIMITAM-SE À DETECÇÃO DE CALOS (DANOS GRANDES NA SUPERFÍCIE DE ROLAMENTO).**

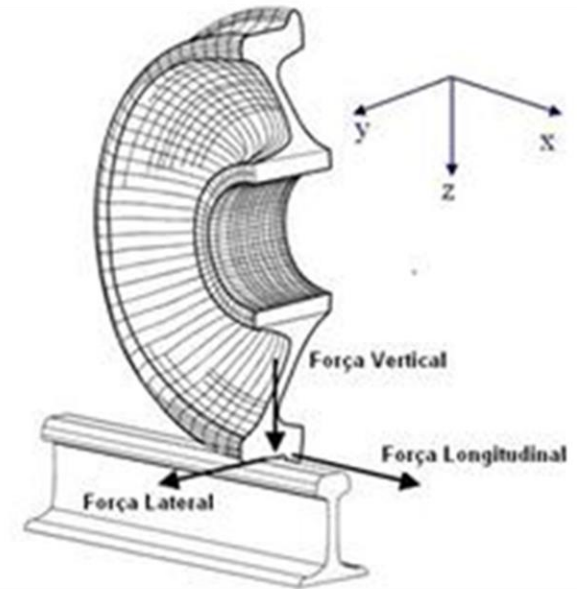
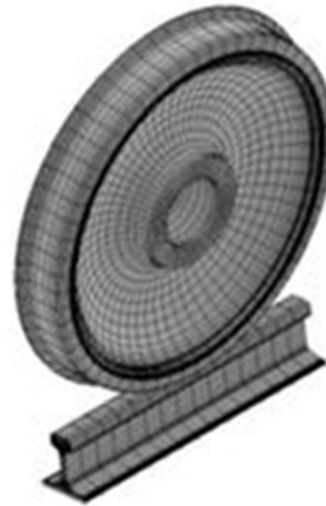
OBJETIVO GERAL

Verificar a funcionalidade e a viabilidade técnica da aplicação de acelerômetros e de microfone de eletreto, para detecção de danos na superfície de rolamento das rodas ferroviárias, para detectar não só os calos que causam grandes vibrações na via, mas também os danos causados por fadiga mecânica e termomecânica, que geram ruídos no contato roda/trilho.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Instalar acelerômetros e microfones nos trilhos da via permanente, para coleta de dados de rodeiros ferroviários com e sem defeitos;
- Desenvolver um equipamento eletrônico para armazenar os dados coletados, para análise e determinação da existência de danos;
- Identificar e descrever os padrões de resposta de vibração e ruído que representam um dano;
- Confirmar a existência dos danos por inspeção visual realizada em vala de manutenção.

CONTATO RODA TRILHO



Fonte: Elaborado pelo Autor

DIFICULDADE PARA IDENTIFICAR AS RODAS COM DANOS



Fonte: Elaborado pelo Autor



Fonte: KINA, J., FABIANO, G., 2014

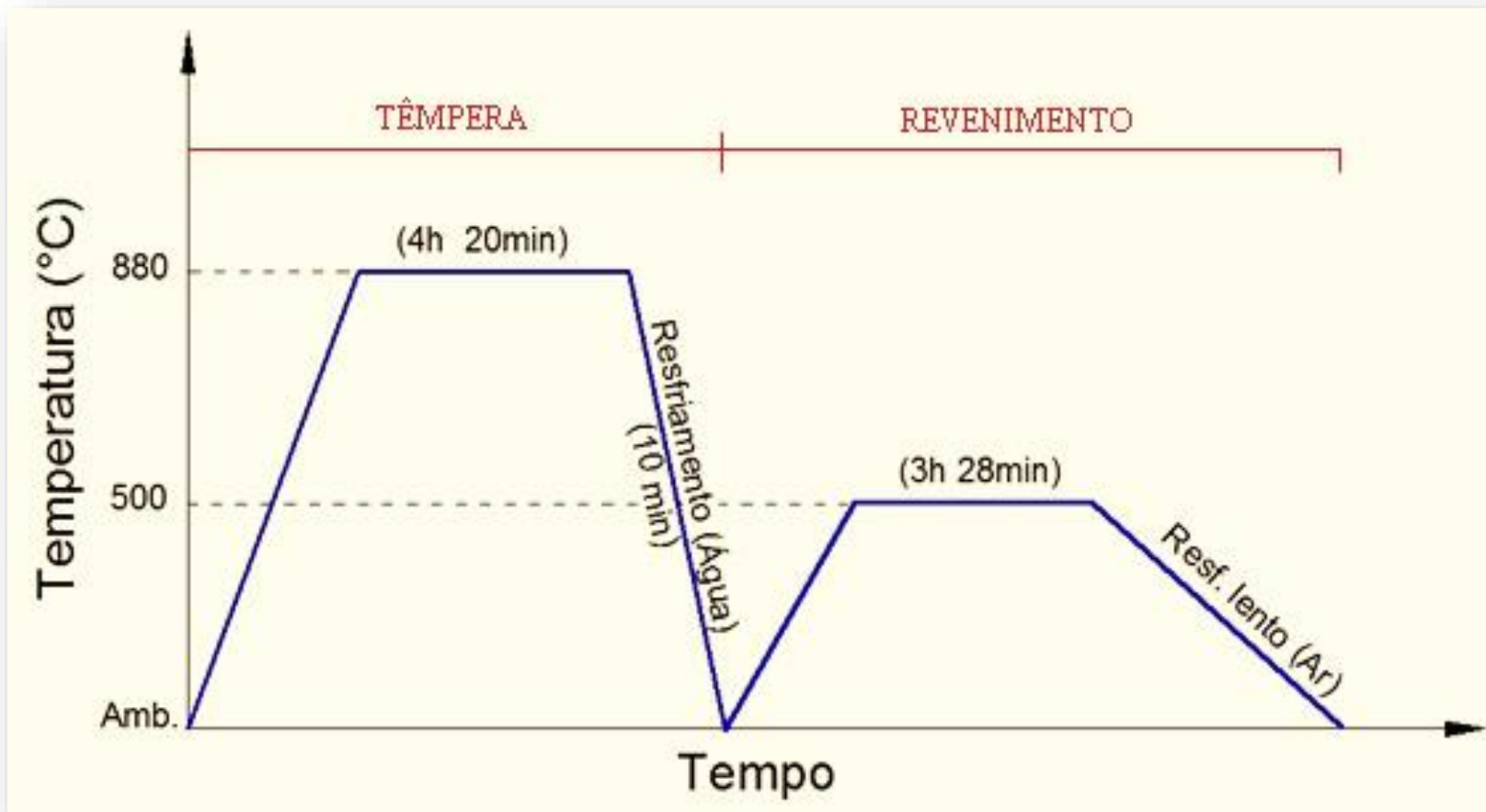
RODAS FORJADAS

TRATAMENTO TÉRMICO DE TÊMPERA



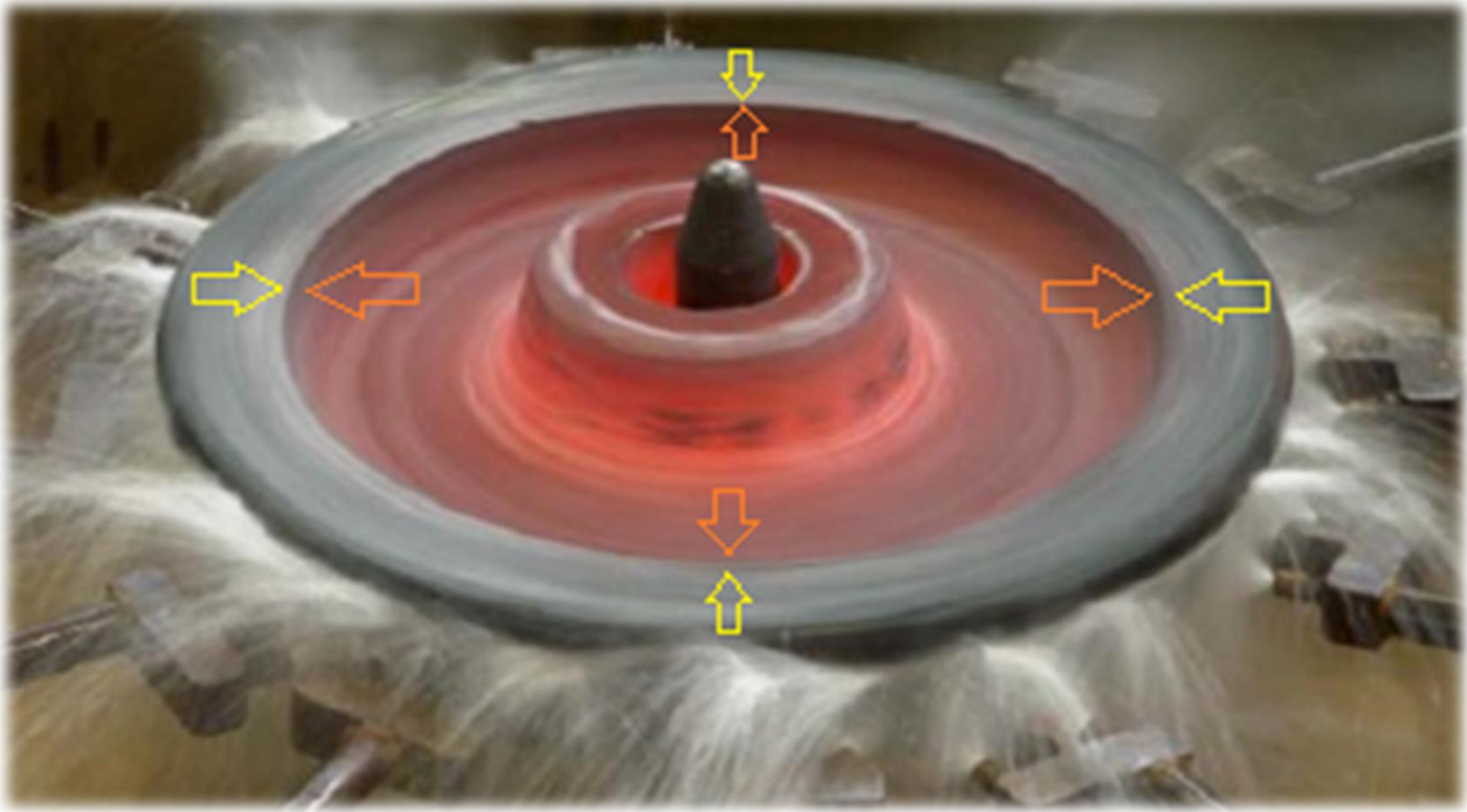
Fonte: OLIVEIRA, 2013.

CICLO DE TRATAMENTO TÉRMICO DE TÊMPERA E REVENIMENTO



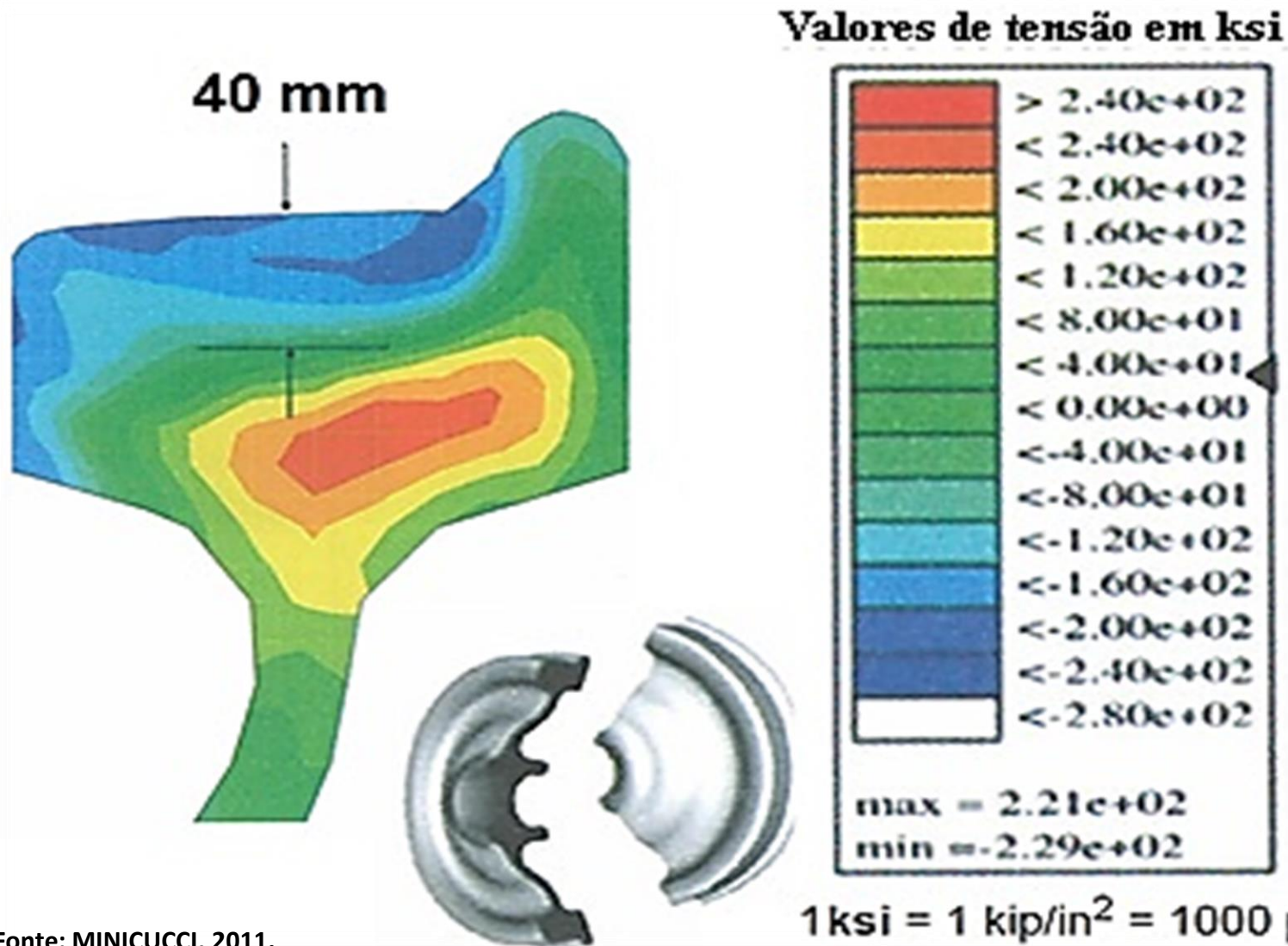
Fonte: Elaborado pelo autor com dados extraídos de OLIVEIRA, 2013.

TENSÃO DE COMPRESSÃO RESIDUAL



Fonte: MINICUCCI, 2011. Alterada pelo autor

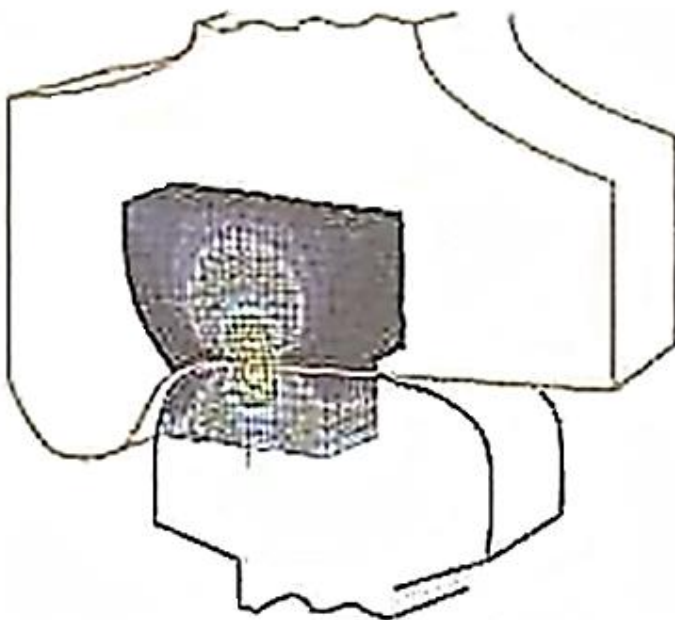
TENSÃO DE COMPRESSÃO RESIDUAL



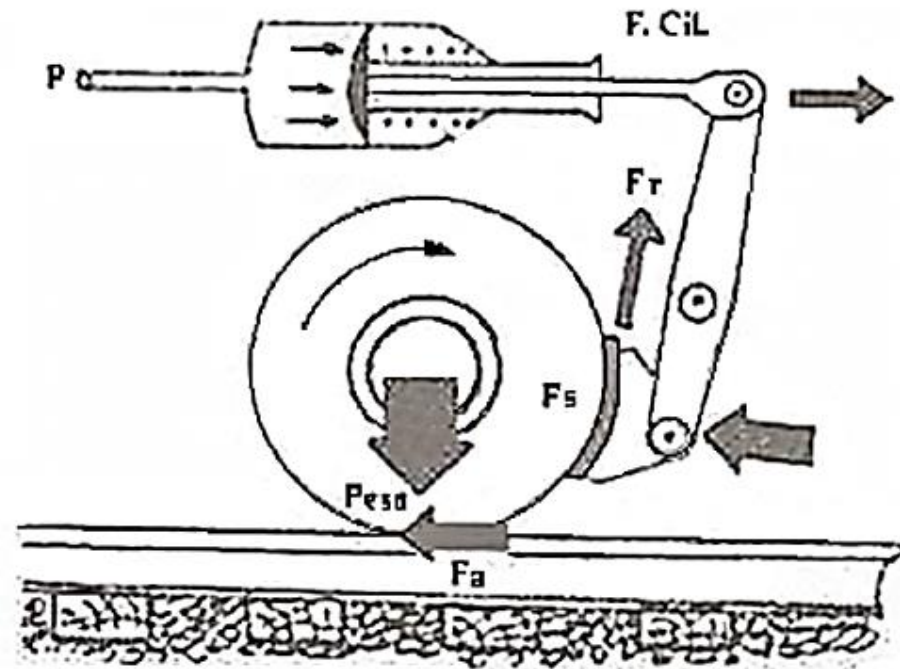
Fonte: MINICUCCI, 2011.

TENSÕES E FADIGA

TENSÕES ATUANTES NAS RODAS



Tensão de contato
(veículo + carga)

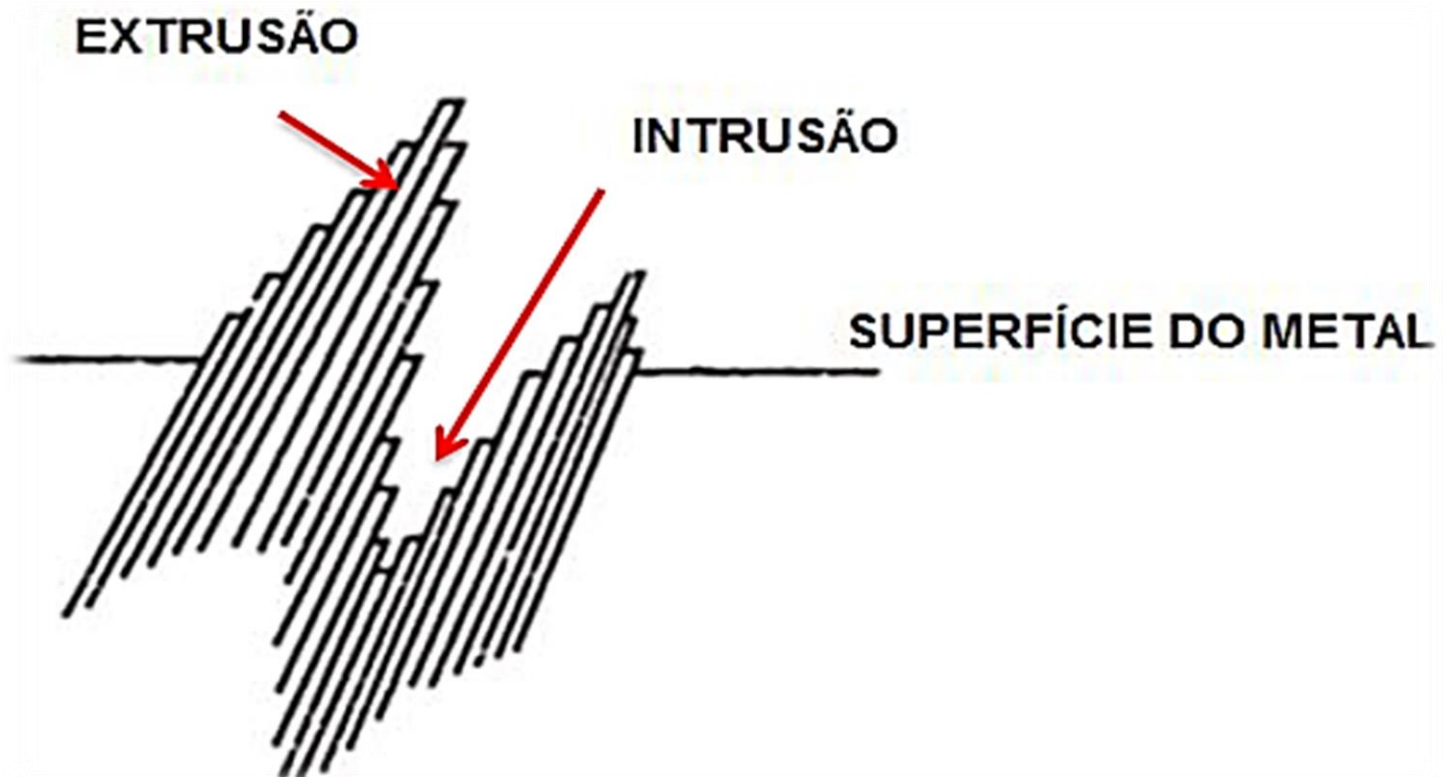


Tensão térmica
(frenagem)

Fonte: MINICUCCI, 2011.

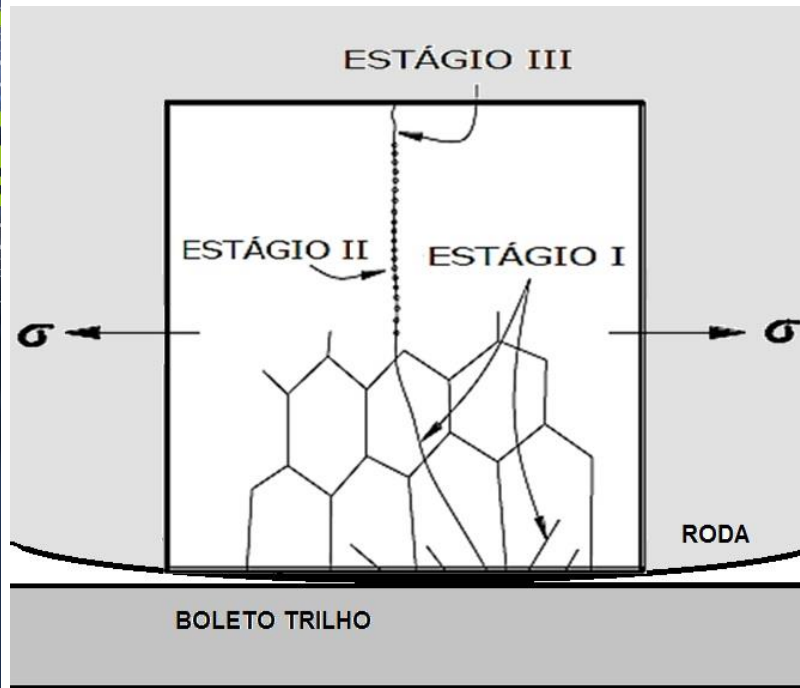
FORMAÇÃO DE TRINCAS POR FADIGA

Representação esquemática do mecanismo de formação das bandas de deslizamento sob carregamento cíclico



Fonte: OLIVEIRA, 2013.

ESTÁGIOS DE PROPAGAÇÃO DE TRINCA POR FADIGA



Fonte: Elaborado pelo autor com dados extraídos de OLIVEIRA, 2013.

- **Estágio I** - Corresponde à nucleação da trinca por deformação plástica localizada, bandas de deslizamento, e a sua propagação inicial;
- **Estágio II** - Crescimento estável da trinca num plano perpendicular à direção da tensão principal de tração;
- **Estágio III** - Ruptura final do material, que ocorre quando a trinca atinge o tamanho crítico necessário para sua propagação instável.

DANOS E FALHAS EM RODAS FERROVIÁRIAS

CALO NA RODA

- Caracterizado por uma planicidade na superfície de rolamento da roda, causado pelo travamento indevido da roda no momento da frenagem.
- O comprimento do plano formado pode variar, normalmente, de 1 a 7,5 cm, podendo ultrapassar esses valores em casos excepcionais de falhas graves no sistema de freio ou na aderência dos trilhos



Fonte: Fotos do autor.

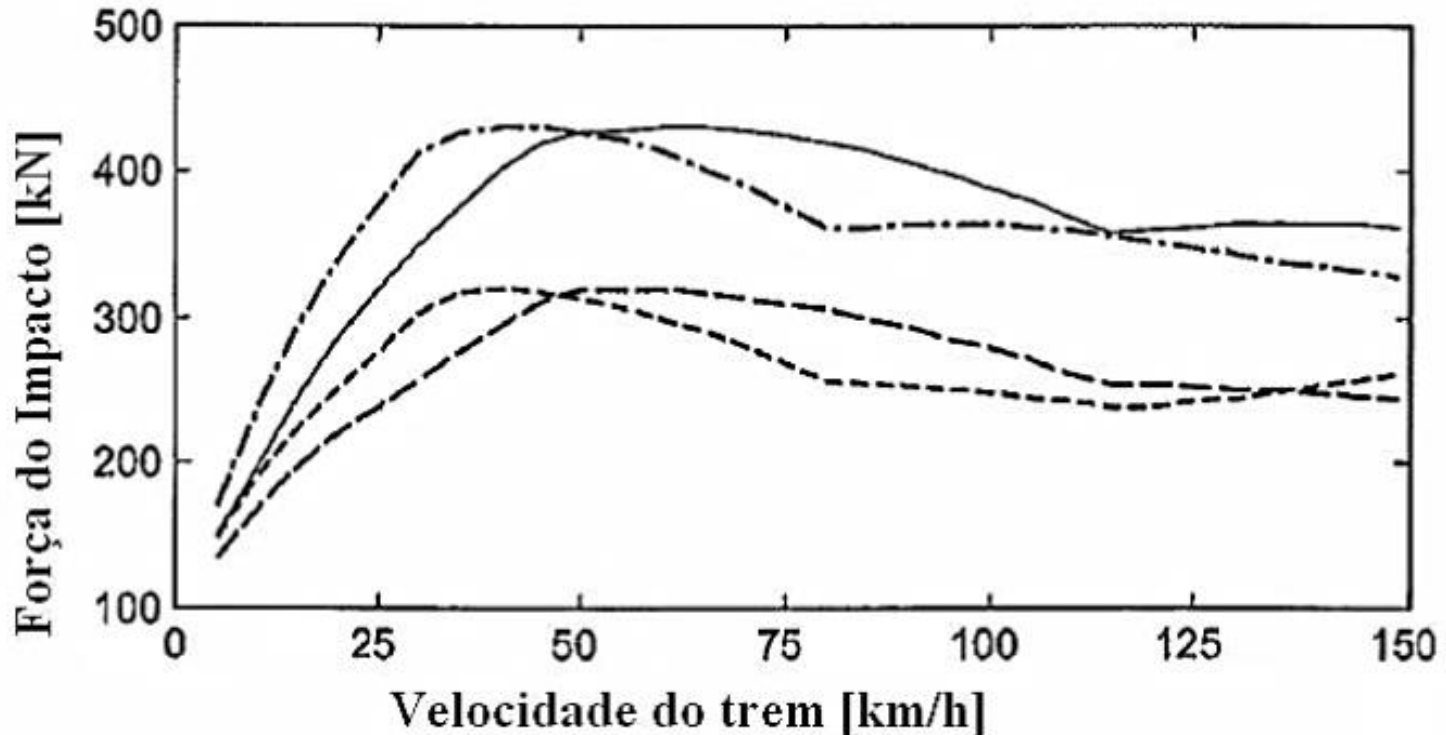
ESQUEMÁTICO REPRESENTATIVO DE UM CALO EM CORTE



Fonte: DEUCE, 2007.

FORÇA DE IMPACTO DE DIVERSOS CALOS EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE

Fonte: THOMPSON, 2009.



- Calo arredondado de 2 mm profundidade e 121 mm de comprimento;
- - - Calo arredondado de 1 mm profundidade e 86 mm de comprimento;
- · - Calo recentemente formado de 2 mm profundidade e 86 mm de comprimento;
- · · Calo recentemente formado de 1 mm profundidade e 61 mm de comprimento.

TRINCAS E ESCAMAÇÃO LOCALIZADA DEVIDAS À FADIGA TERMOMECÂNICA (*SPALLING*)

- Caracterizado por uma fadiga superficial devida às variações bruscas de temperatura e fadiga mecânica.
- Formação de martensita não revenida, que é extremamente mais dura e frágil que a perlita, com uma camada que varia de 0,1 a 0,5 mm de profundidade, porém em alguns casos pode chegar a 1,2 mm



TRINCAS E ESCAMAÇÃO DEVIDAS À FADIGA MECÂNICA (*SHELLING*)

- Caracterizado por uma fadiga superficial devido ao alto carregamento mecânico suportado pelas rodas.
- Esta fadiga gera trincas, que se originam à profundidade de 1 a 3 mm da superfície de rolamento da roda, ocorrem à baixa temperatura e que se propagam de forma circunferencial paralela à pista de rolamento da roda



Fonte: Fotos do autor.

FRATURA DA RODA



Fonte: Fotos do autor.



ESTADO DA ARTE EM DETECTORES DE DANOS EM RODAS

ESTADO DA ARTE - DETECTORES DE CARGA DE IMPACTO DE RODAS (WILD- *Wheel Impact Load Detectors*)



Fonte: LBFOSTER, Salient Systems, 2017.

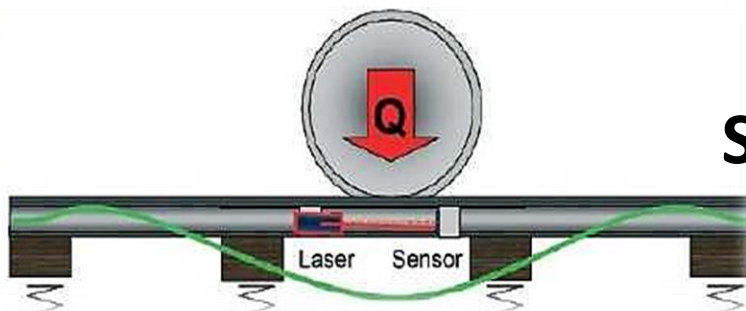
Strain gauges



Fonte: ASPLUND, 2014.



Fonte: VOESTALPINE, 2017.



Sensor Laser

Sensor de Bragg

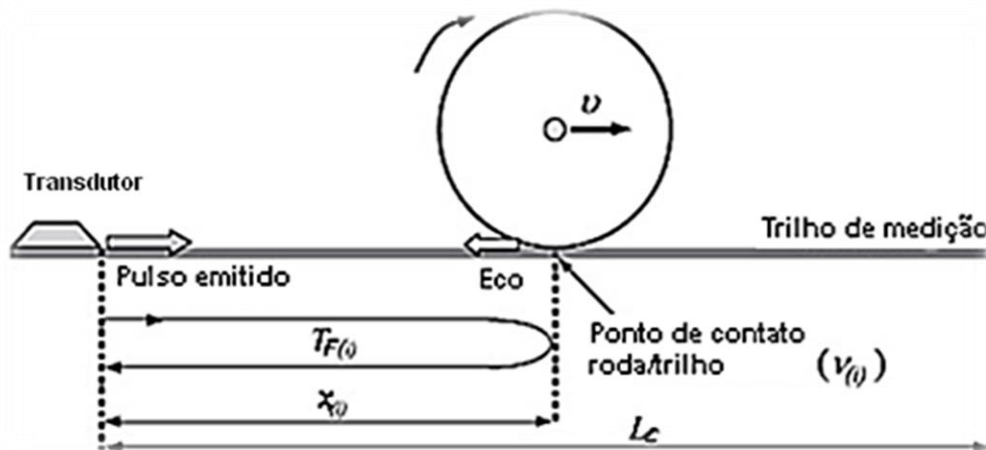


Fonte: BARBOSA, 2009.

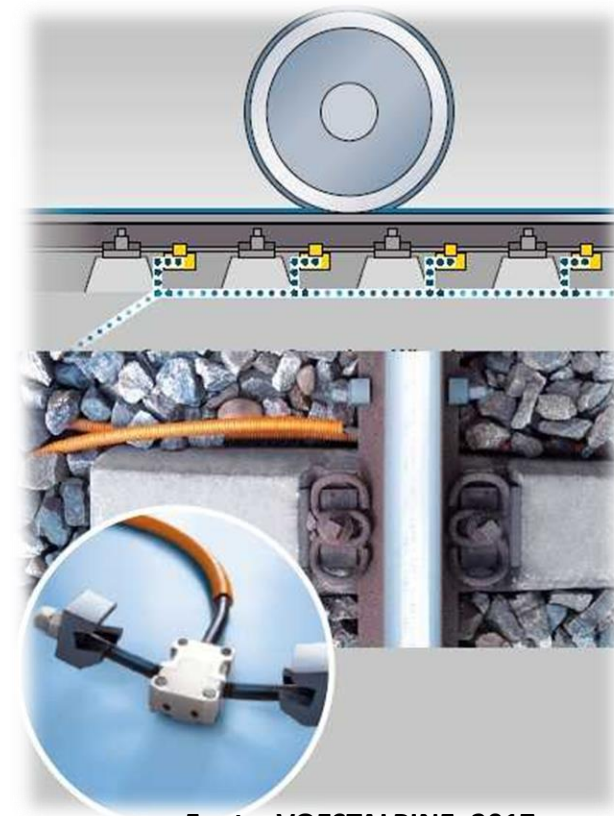
ESTADO DA ARTE - DETECTORES DE CARGA DE IMPACTO DE RODAS (WILD- Wheel Impact Load Detectors)

Detector de carga de impacto de rodas utilizando sensores ópticos

Detector ultrassônico no trilho e refletido na roda



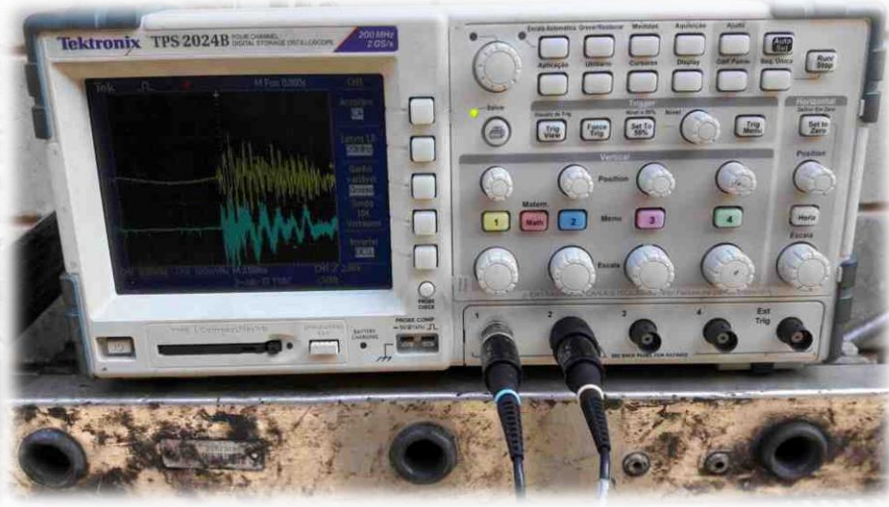
Fonte: BRIZUELA; IBAÑEZ; FRITSCH, 2010.



Fonte: VOESTALPINE, 2017.

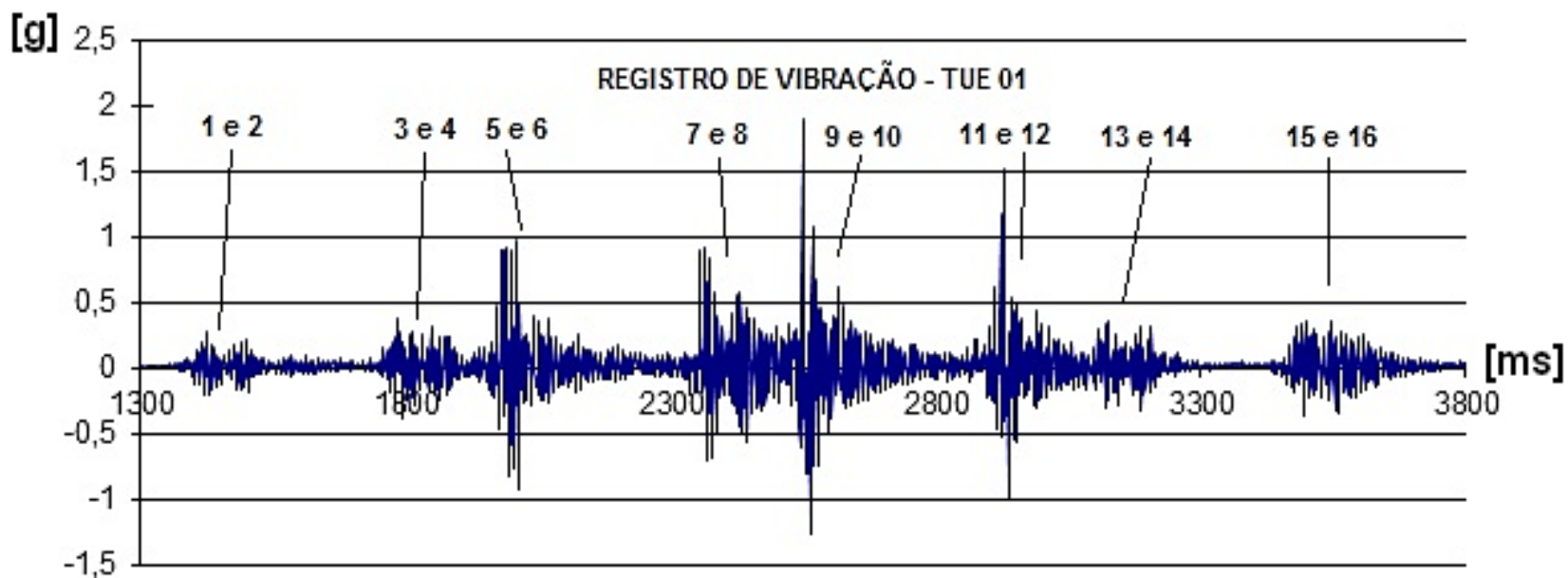
APLICAÇÃO DE SENSORES DE VIBRAÇÃO E RUÍDO PARA DETECÇÃO DE DANOS EM RODAS FERROVIÁRIAS

DETECTOR DE DANOS EM RODAS UTILIZANDO SENSORES DE VIBRAÇÃO E ACÚSTICO



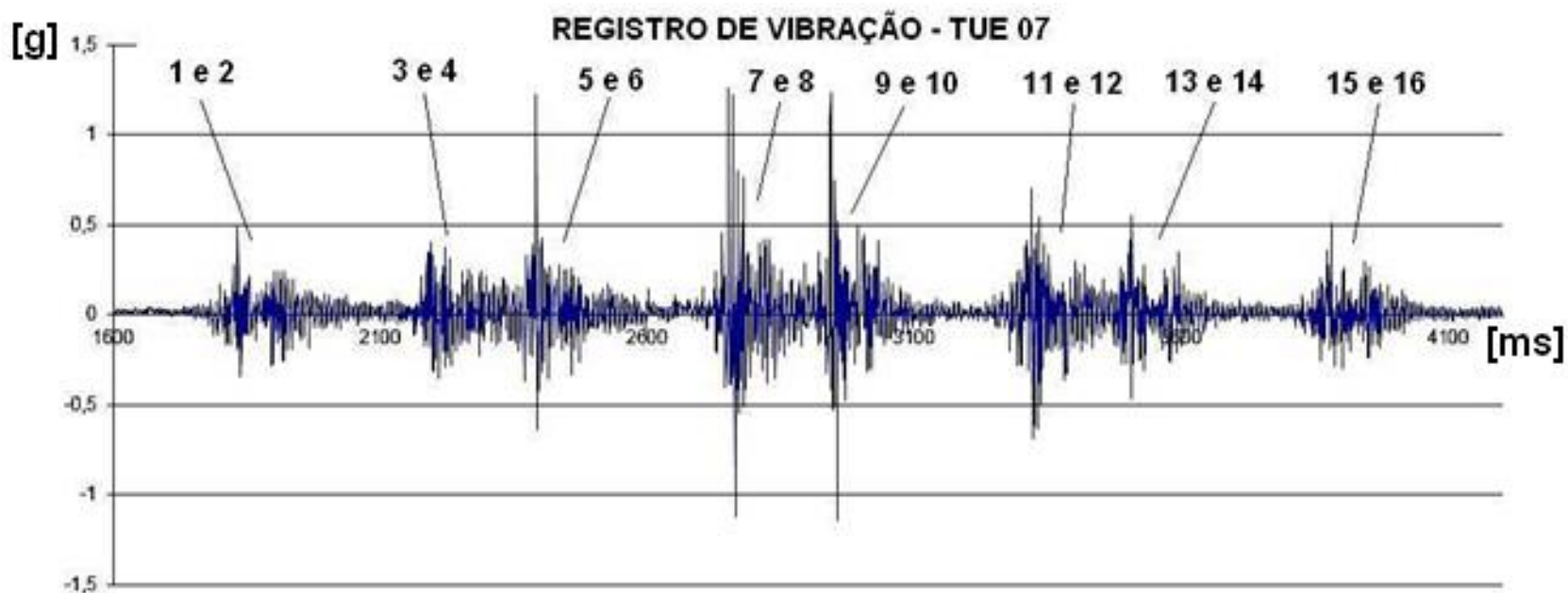
Fonte: Fotos do autor.

DETECTOR DE DANOS EM RODAS UTILIZANDO ACELERÔMETRO MM7361



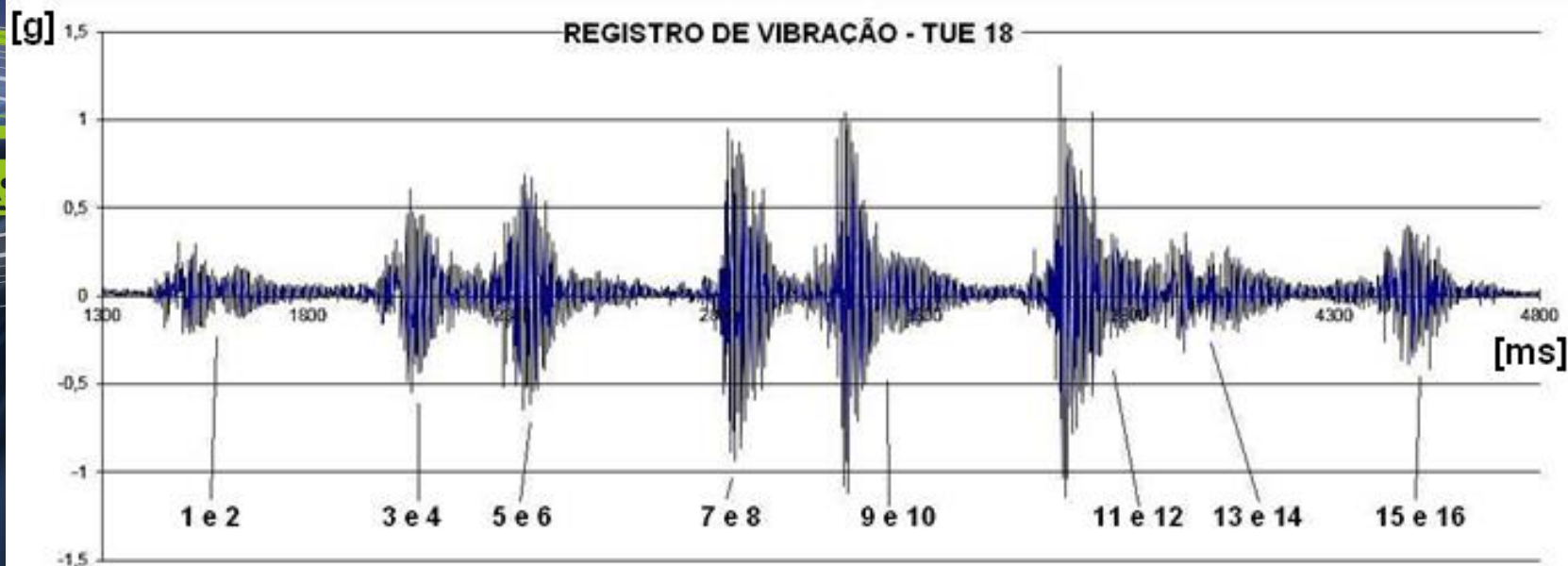
Fonte: Gráfico do autor.

DETECTOR DE DANOS EM RODAS UTILIZANDO ACELERÔMETRO MM7361



Fonte: Gráfico do autor.

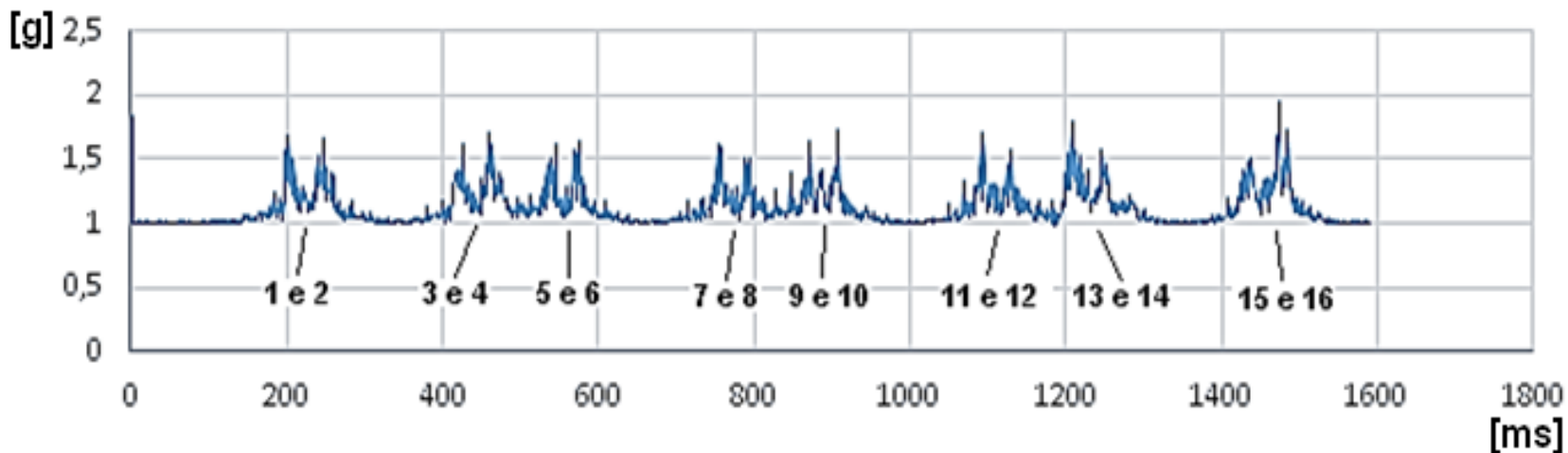
DETECTOR DE DANOS EM RODAS UTILIZANDO ACELERÔMETRO MM7361



Fonte: Gráfico do autor.

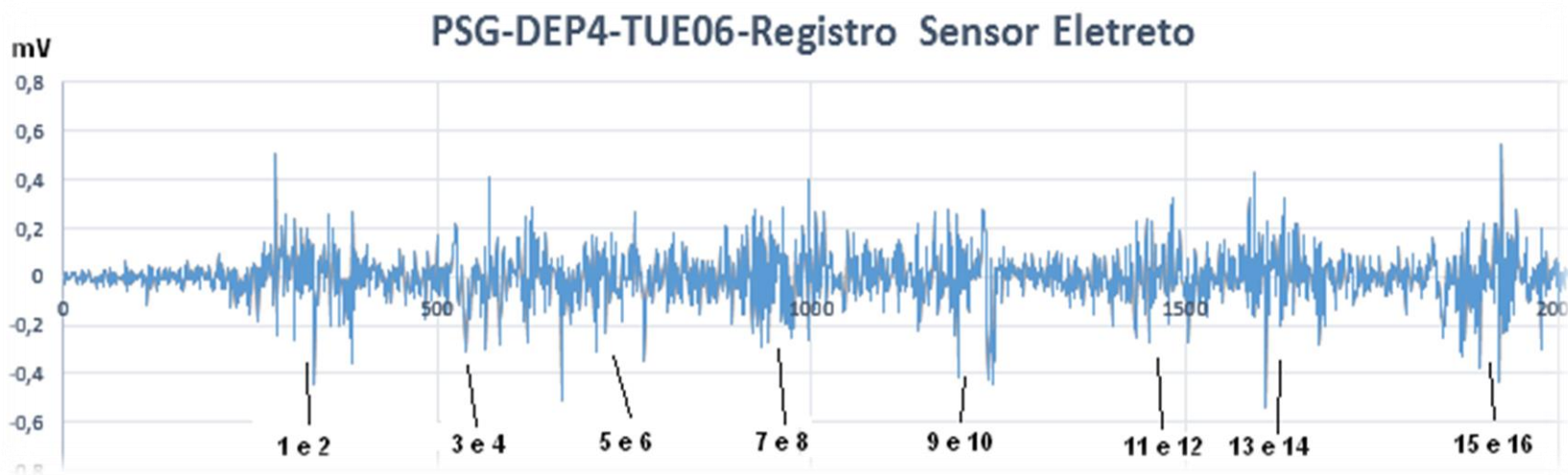
DETECTOR DE DANOS EM RODAS UTILIZANDO ACELERÔMETRO MPU6050

REGISTRO DE VIBRAÇÃO - TUE 06



Fonte: Gráfico do autor.

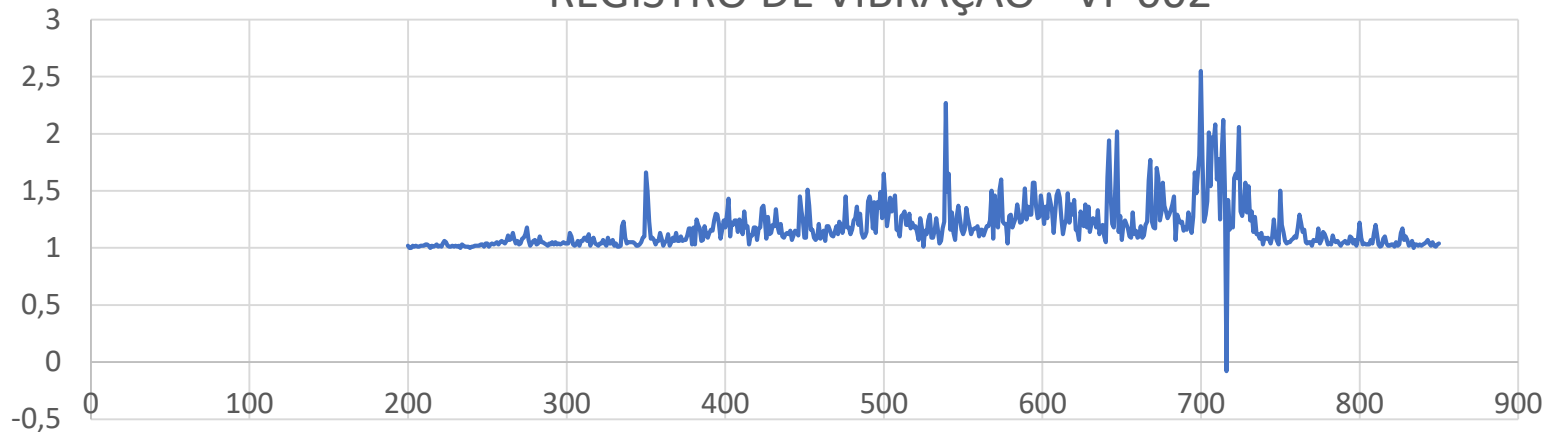
DETECTOR DE DANOS EM RODAS UTILIZANDO MICROFONE ELETRETO



Fonte: Gráfico do autor.

DETECTOR DE DANOS EM RODAS UTILIZANDO ACELERÔMETRO MPU6050

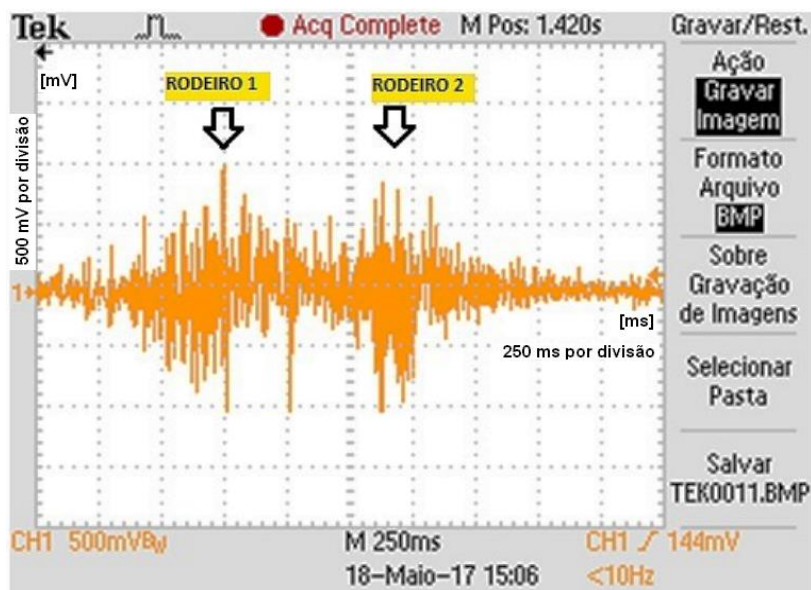
REGISTRO DE VIBRAÇÃO - VF 002



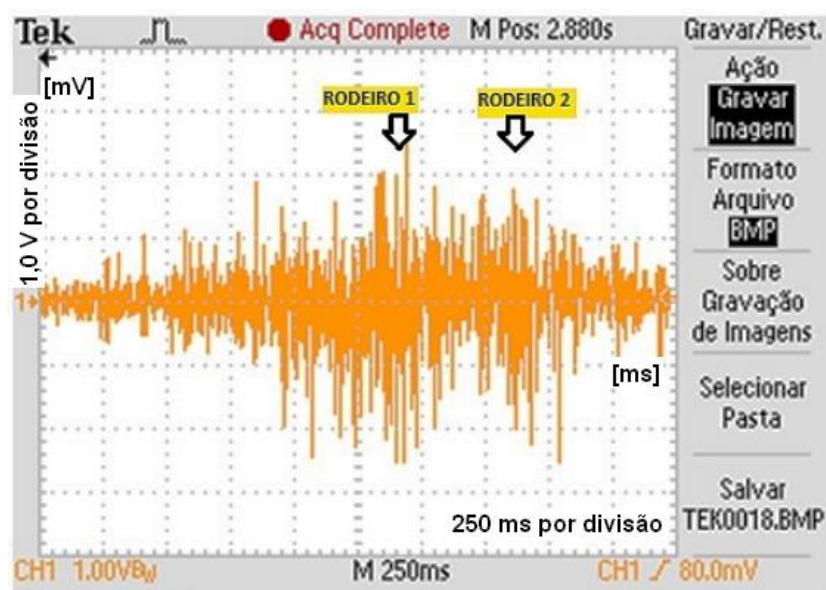
Fonte: Fotos e gráfico do autor.

DETECTOR DE DANOS EM RODAS UTILIZANDO MICROFONE ELETRETO

VF 002

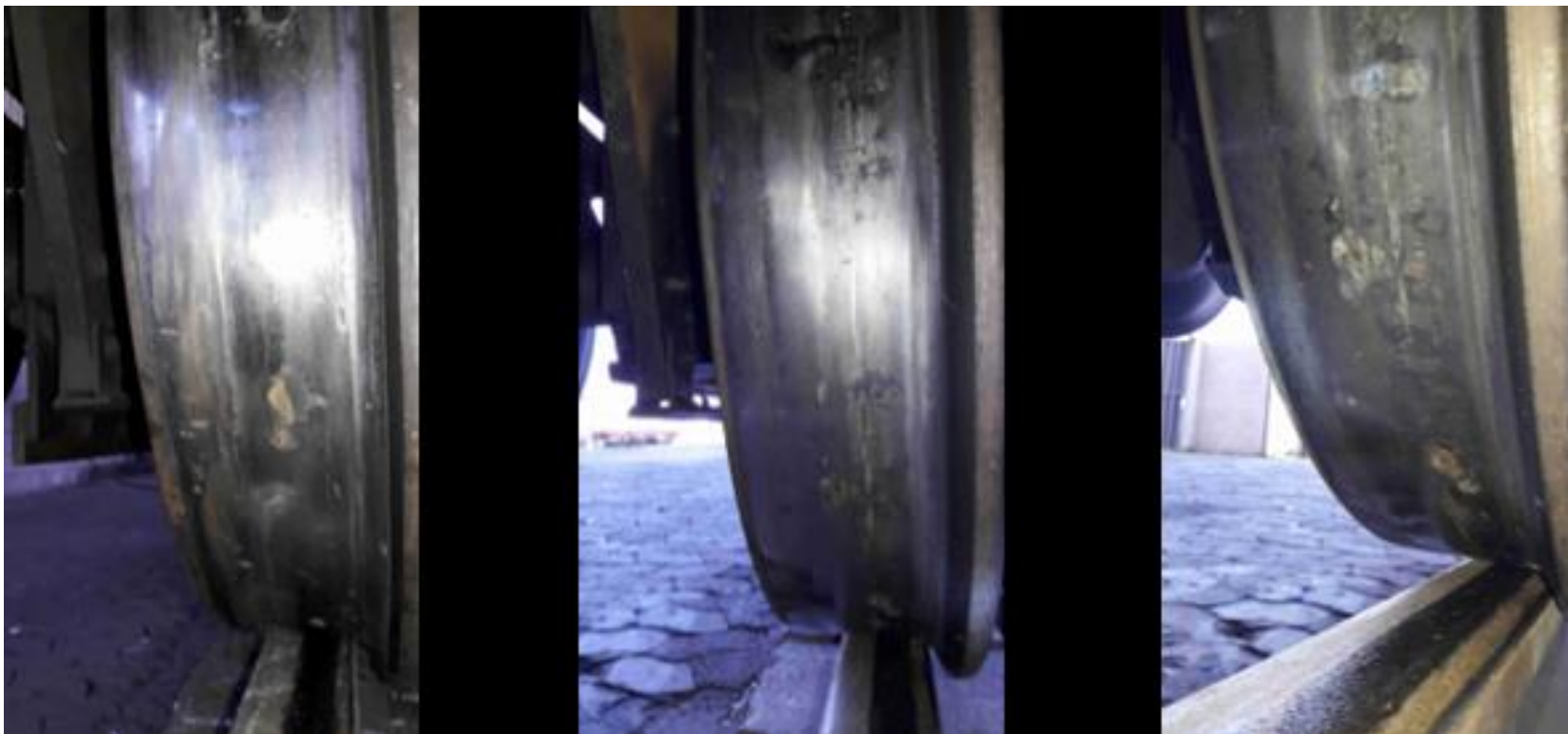


VF 001



Fonte: Fotos do autor.

DETECTOR DE DANOS EM RODAS UTILIZANDO MICROFONE ELETRETO – VF 001



Fonte: Fotos do autor.

CONCLUSÕES

- Ficou evidente a necessidade do desenvolvimento de estudos mais detalhados e aprofundados sobre as causas e evolução dos danos da superfície de rolamento das rodas ferroviárias e a necessidade de maior interação e participação das operadoras ferroviárias com meio acadêmico e vice-versa, para se obter maiores e melhores resultados na análise das causas dos danos de rodas ferroviárias e geração de novas tecnologias;

CONCLUSÕES

- Foi confirmada a possibilidade de utilização dos acelerômetros e do microfone de eletreto para o uso em sistemas de detecção de danos em rodas;
- Foi comprovado que é plenamente possível o desenvolvimento de um sistema de detecção de danos de rodas ferroviárias, com tecnologia simples e de baixo custo.

APLICAÇÃO DE SENSORES DE VIBRAÇÃO E RUÍDO NOS TRILHOS PARA DETECÇÃO DE DANOS EM RODAS FERROVIÁRIA

Francisco José Freitas Lopes



A EVOLUÇÃO
PASSA
POR AQUI