



ENCONTRO ANTF DE  
**FERROVIAS**

NOVAS IDEIAS P/  
NOVOS DESAFIOS

**PROGNÓSTICO DE  
FALHAS APLICADO A  
LOCOMOTIVAS**



## SUMÁRIO

- Um novo paradigma para manutenção
- Modelo PHM
- Exemplo de “Health Monitoring” - Intercooler
- Exemplos de “Prognóstico de Falha” – Motor Diesel



ENCONTRO ANTF DE  
**FERROVIAS**

NOVAS IDEIAS P/  
NOVOS DESAFIOS

Prognóstico de falhas  
aplicado a locomotivas



## UM NOVO PARADIGMA PARA MANUTENÇÃO

- Reporte e diagnóstico de falha;
- Diagnóstico indica que uma falha e todos os efeitos decorrentes dela já ocorreram;
- Impacto na disponibilidade de locomotivas;
- Eficiência operacional
- Custo do produto final
- Custo de manutenção corretiva mais elevado em relação à manutenção preventiva
- Manutenção preventiva pode acarretar desnecessariamente a troca de componentes e emprego recursos humanos.



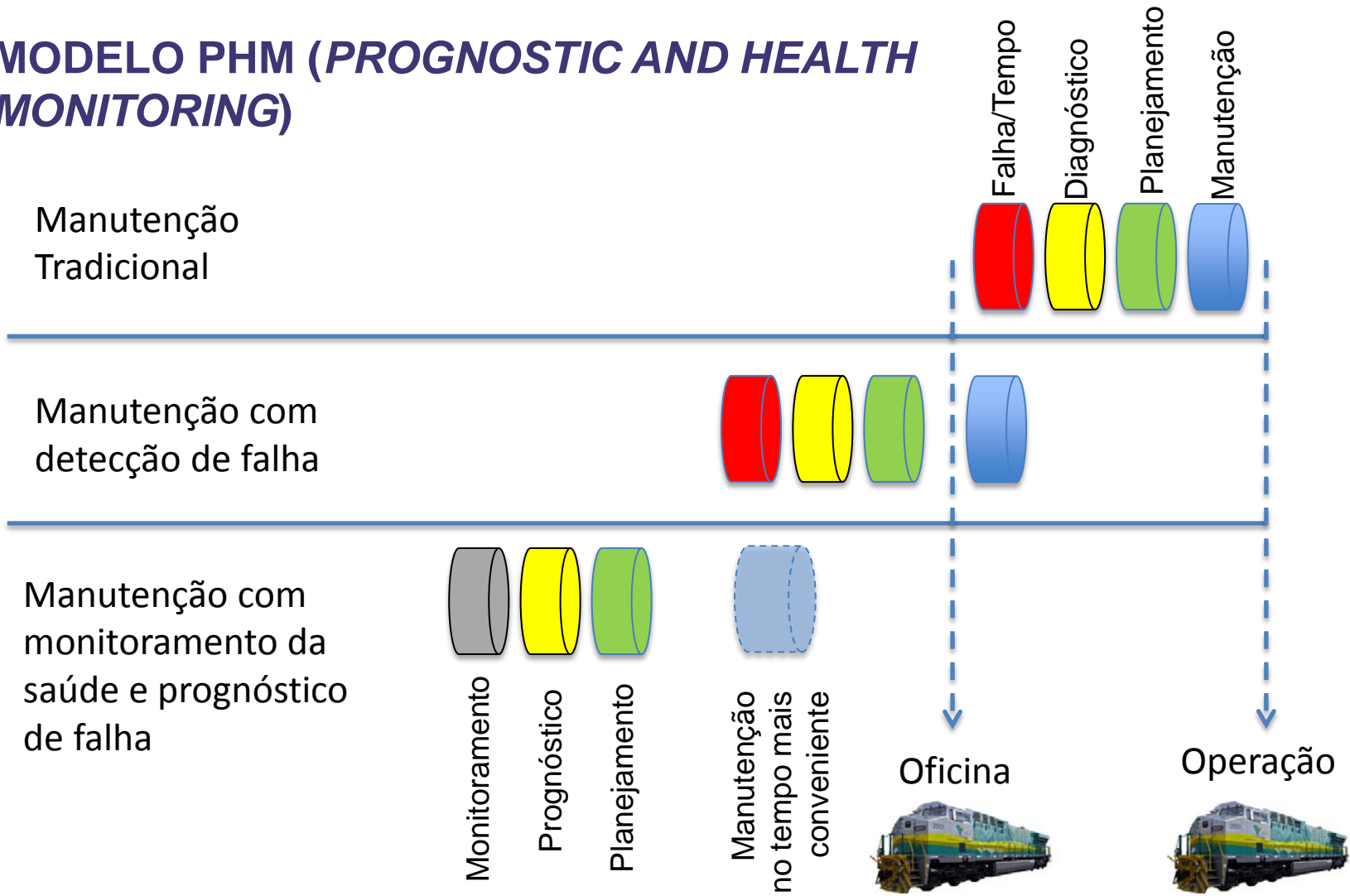
ENCONTRO ANTF DE  
**FERROVIAS**

NOVAS IDEIAS P/  
NOVOS DESAFIOS

Prognóstico de falhas  
aplicado a locomotivas



# MODELO PHM (PROGNOSTIC AND HEALTH MONITORING)



ENCONTRO ANTF DE FERROVIAS

NOVAS IDEIAS P/ NOVOS DESAFIOS



# EXEMPLO DE “HEALTH MONITORING” – PERFORMANCE DE INTERCOOLER

$$P.V = R'.T$$

Onde:

$P$  = Pressão

$V$  = Volume específico [ $m^3/kg$ ]

$R'$  = constante universal dos gases pela massa molar =  $8,314[kJ/kmol.K] / 28,97 [kg/kmol]$

$T$  = Temperatura

Assim,

$$V = 1/\rho \Rightarrow \rho = P/(R'.T)$$

Fazendo  $K = (P/R)$  para pressão constante de 28,7 psi, temos que:

$$K = 689,53$$

Então

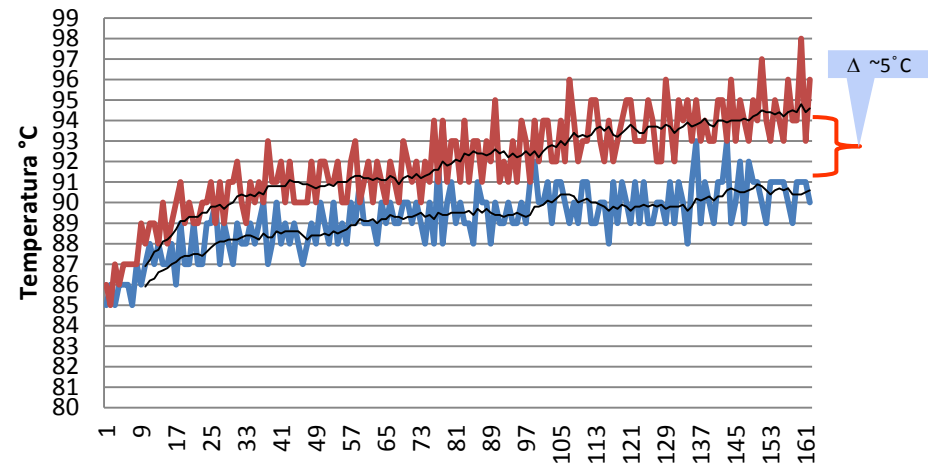
$$\rho = K/T$$

Fazendo densidade pela temperatura, pode-se observar uma derivada de 0,3%.

Considerando volume constante e sabendo que:

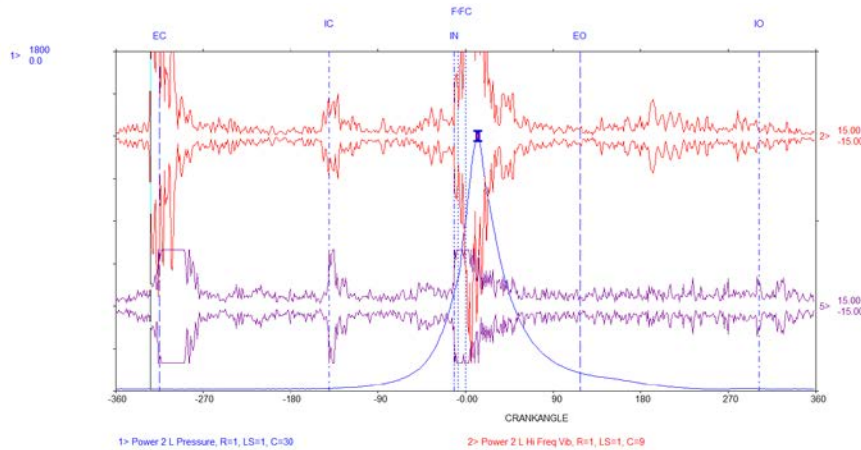
$$\rho = m/V$$

## Intercooler Novo X Fim de Vida



*Pode-se concluir preliminarmente que para cada grau de temperatura do ar de admissão fora da faixa especificada de trabalho do motor diesel, há uma redução de 0,3% de massa de ar, que deve ser compensada pela injeção de diesel, aumentando o consumo de combustível.*

# EXEMPLOS DE PROGNÓSTICO DE FALHA – FALHAS POTENCIAIS EM MOTOR DIESEL

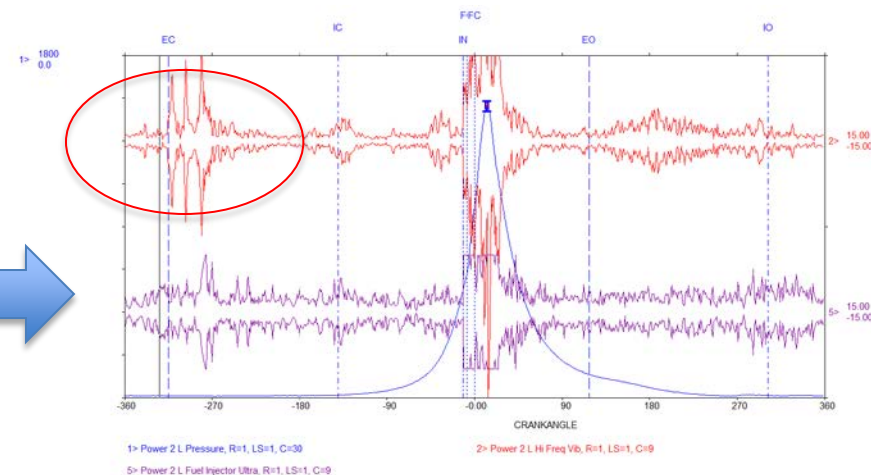


*Vibração de alta frequência e Ultrassom versus CrankAngle em condição normal*

Válvula passa a fechar 10 graus atrasada seguido de múltiplos impactos, indicativo de folga excessiva do sistema de acionamento

## Folga válvula de exaustão

Fechamento da válvula de exaustão a aproximadamente 35 graus

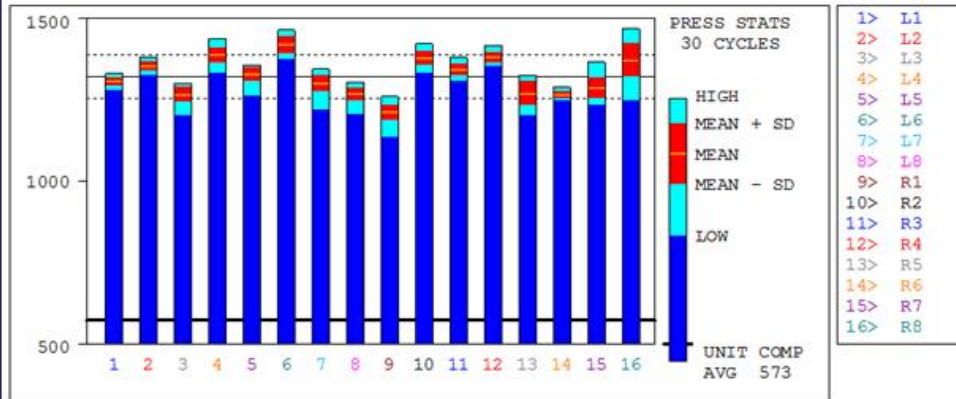


*Vibração de alta frequência e Ultrassom versus CrankAngle com folga de válvula*



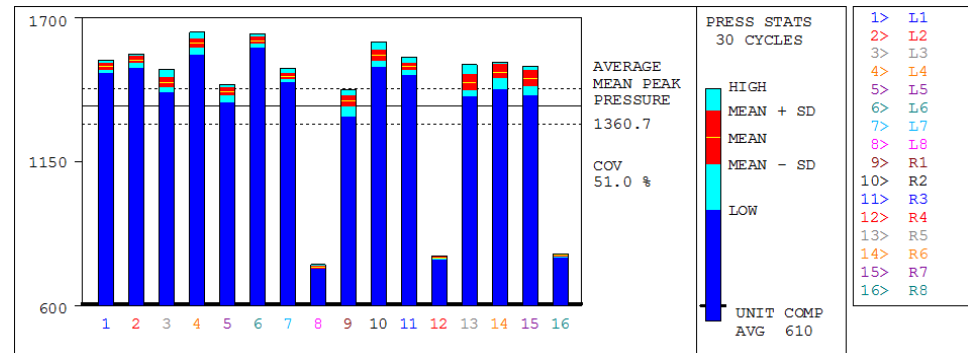
# EXEMPLOS DE PROGNÓSTICO DE FALHA – FALHAS POTENCIAIS EM MOTOR DIESEL

## Desbalanceamento de potência do motor



Dados Estatísticos resultado das medições do Peak Firing Pressure dos cilindros

Cilindros L8, R4 e R8 com maior contribuição no desbalanceamento de potência por não ter havido injeção de combustível.



Dados Estatísticos resultado das medições do Peak Firing Pressure dos cilindros

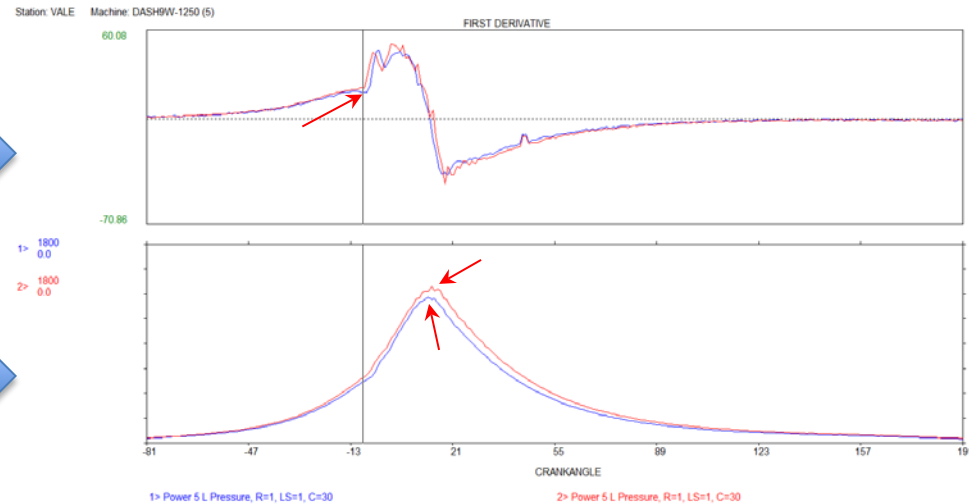
# EXEMPLOS DE PROGNÓSTICO DE FALHA – FALHAS POTENCIAIS EM MOTOR DIESEL

## Bico injetor com defeito

Pela primeira derivada a combustão começa 1° adiantado, logo sistema de injeção comandou corretamente, pois estava trabalhando sem 3 bombas injetoras

Pico de pressão 62 psi maior e 1 grau atrasado

Atraso na posição do pico de pressão, mesmo com o adiantamento do sistema de injeção



*Pressão x Crankangle e primeira derivada temporal. A primeira derivada auxilia na identificação do início da combustão. Combustão inicia aproximadamente 1 grau adiantada, porém o resultado foi pico de pressão 1 grau atrasado.*

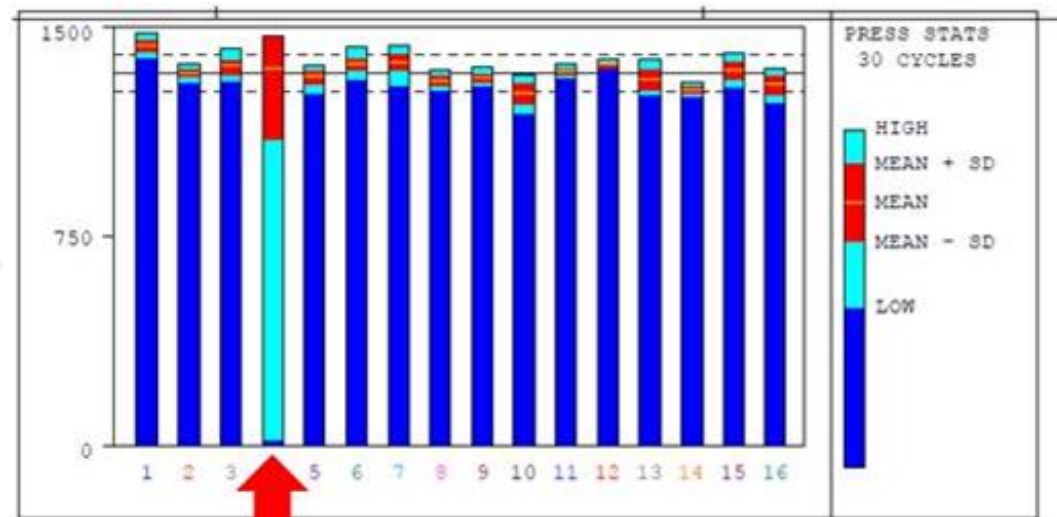




# EXEMPLOS DE PROGNÓSTICO DE FALHA – FALHAS POTENCIAIS EM MOTOR DIESEL

## Falha intermitente na bomba de combustível

Desvio padrão muito grande e o nível mínimo de pressão coletado indeterminado, indicando a indeterminação na definição do pico de pressão



Falha intermitente bomba injetora



## CONCLUSÃO

- A migração do paradigma de manutenção de um modelo Corretivo ou Preventivo para manutenção Preditiva é uma tendência em grande parte das aplicações.
- Isso se justifica ainda mais através de equipamentos e ferramentas capazes de coletar e analisar dados de forma cada vez mais otimizada.
- Análise superficial dos dados relativos ao Intercooler reforça que conceito de PHM aplica-se não somente a monitoramento para predição de falhas, mas também para degradação de performance de componentes que por sua vez podem estar diretamente relacionada aos custos operacionais.
- A análise do Motor Diesel indica potencial para adoção de manutenção preditiva e prognóstico de falhas também para esse componente de locomotiva.





**ANTF**

Associação Nacional dos  
Transportadores Ferroviários



**VALE**

[WWW.ANTF.ORG.BR](http://WWW.ANTF.ORG.BR)