

# DESEMPENHO DAS FRENAGENS DOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO NA CONDIÇÃO DE BAIXA ADERÊNCIA

*Autores:*

*MARCO PONTIERI*

*MARCOS TÁCITO*

*MAURÍCIO ROMERA ALVES*

*JOÃO CARLOS TORRAQUE DA COSTA*

*MARCO ANTÔNIO RAIÁ*

*CARLOS ALBERTO DE F. TIMÓTEO*

*GABRIEL FRANZOTTI C. DE SOUZA*

*HISSAM ELDIN MOUSSA*

**21ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**

# AEAMESP



**“Devido às chuvas, as linhas do Metrô estão operando com velocidade reduzida”**



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

Histórico:

As primeiras frotas do Metrô entraram em operação nos anos 70 e representavam a vanguarda tecnológica da época



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

Histórico:

Apesar dessa vanguarda tecnológica, era mandatório se impor uma restrição de velocidade para os trens, limitando em 71% da velocidade máxima permitida pelo sistema de sinalização ATC/ATP (2) nos dias de chuva



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

Histórico:

Com o tempo, muitas evoluções tecnológicas ocorreram com novos materiais e sistemas eletrônicos.



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

Histórico dos testes nos anos 90:

Inicialmente os resultados dos testes foram decepcionantes.

Isso, na época, causou uma enorme preocupação, pois seria inaceitável um sistema que não atingisse, pelo menos, o mesmo desempenho do sistema de freio original.



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

Histórico dos testes nos anos 90:

Posteriormente com outros testes, pode-se constatar uma consistente redução das distâncias de frenagem em cerca de 30% à 50%, sob condições degradadas de aderência.



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

Haviam muitos riscos e problemas que deveriam ser administrados durante um desenvolvimento de projeto de modernização do sistema de freio.

Porém, **os ganhos operacionais** que poderiam ser obtidos, se mostravam de **extrema importância e estratégicos para o Metrô!**



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

Decisão pela Modernização dos freios:

Para o encaminhamento deste processo, duas frentes foram desenvolvidas:

a) Gerar especificações com rigorosos parâmetros de aceitação, para a aquisição de novos sistemas de freio microprocessados que deveriam substituir os antigos sistemas de freio



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

Decisão pela Modernização dos freios:

b) Gerar especificações, com rigorosos parâmetros de aceitação, para contratação de empresa especializada e independente para avaliar e certificar os ajustes dos novos sistemas de freio, bem como para determinar as condições de pior caso das taxas de frenagem e do rendimento dos freios em situações reais da operação comercial.



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

Modernização dos freios:

Antes



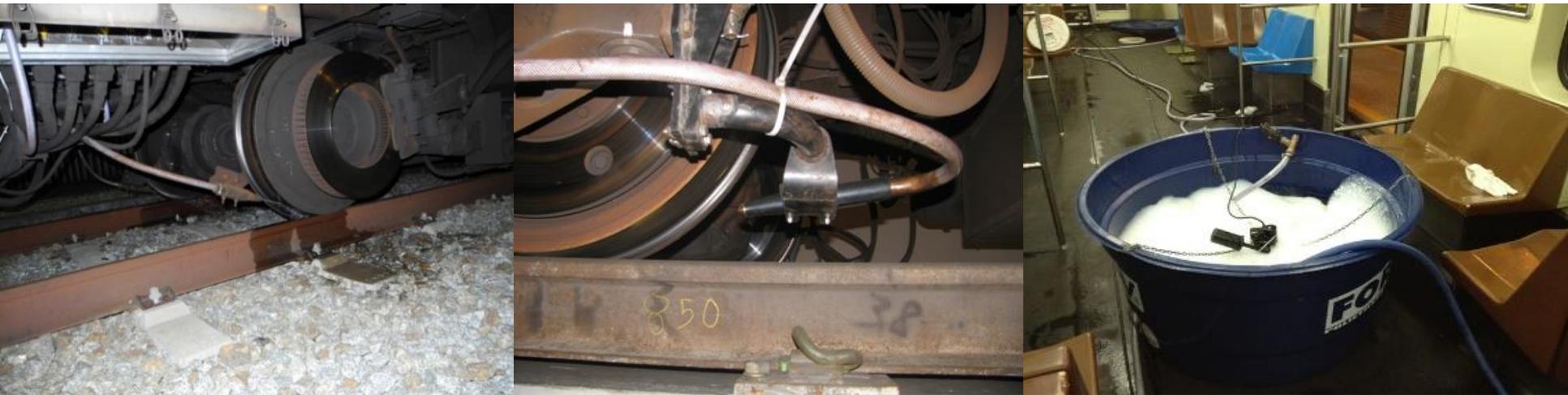
Depois



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

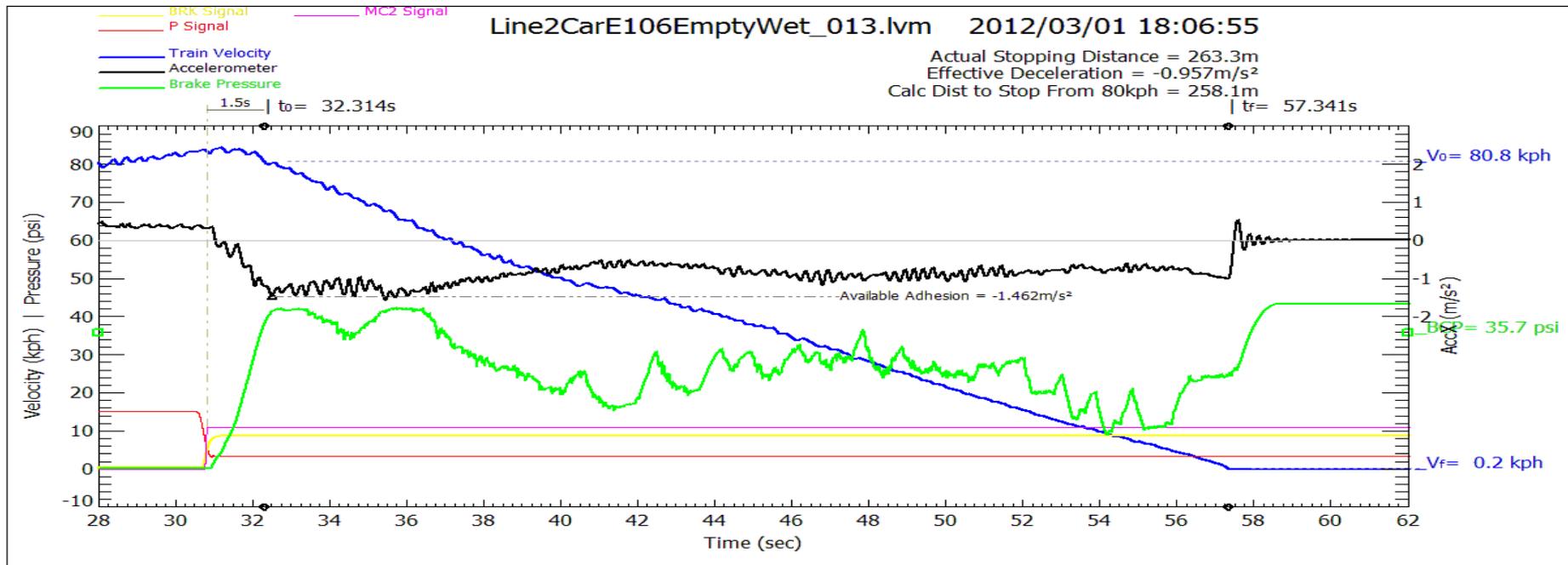
Intensivo Programa de Testes Fases 1 e 2:

Degradação forçada da aderência com injeção de solução de água e sabão nos trilhos.



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

Intensivo Programa de Testes Fases 1 e 2:  
Exemplo de resultado de corrida



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

Intensivo Programa de Testes Fase 3:

Medições estatísticas em operação comercial.

## Results of Statistical Data Filtering

Files name (collected data)	Records (seconds of data)	# of Train Runs	Dates	Data Quality Filtered	Data Collection Efficiency
mspbA51out_and_phase3out	2506647	31435	1/23-4/4/2012	27740	88%

# Desempenho das frenagens em baixa aderência

Intensivo Programa de Testes Fase 3:

Desaceleração Efetiva da Frenagem – **Aef**

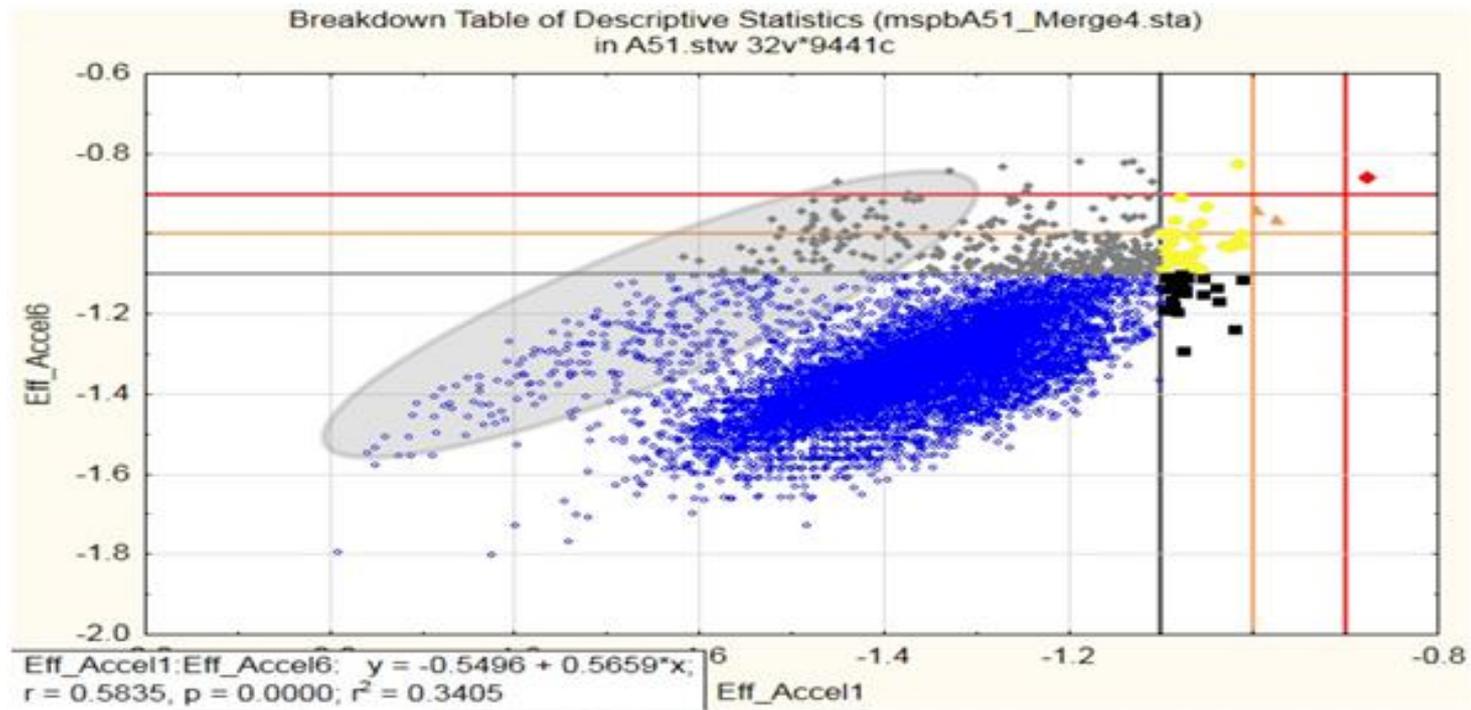
Definição:

“Valor ponderado da aceleração **a(t)**, durante a frenagem, tal que produz a mesma dissipação de energia com a mesma potência média e percorrendo a mesma distância”.



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

Intensivo Programa de Testes Fase 3:



Safety Zone Graph of Line 1



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

Os resultados da fase 3 se mostravam muito favoráveis a se alterar os parâmetros de restrição de velocidade dos trens em dias de chuva.

Foram feitas simulações que determinaram que para a restrição de velocidade de 86% era necessário ter uma taxa de frenagem mínima garantida de  $0,9 \text{ m/s}^2$  e para trilho seco, esse parâmetro era de  $1,092 \text{ m/s}^2$ .



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

Intensivo Programa de Testes Fase 4:

Para validar as simulações efetuadas, trens reais foram modificados com degradação de desempenho e efetuados testes em trechos significativos das vias da Linha 1, sujeitas à trilhos molhados pela chuva.

Os trens modificados sempre apresentaram resultados melhores que os resultados simulados, indicando boa margem de segurança dessas simulações.



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

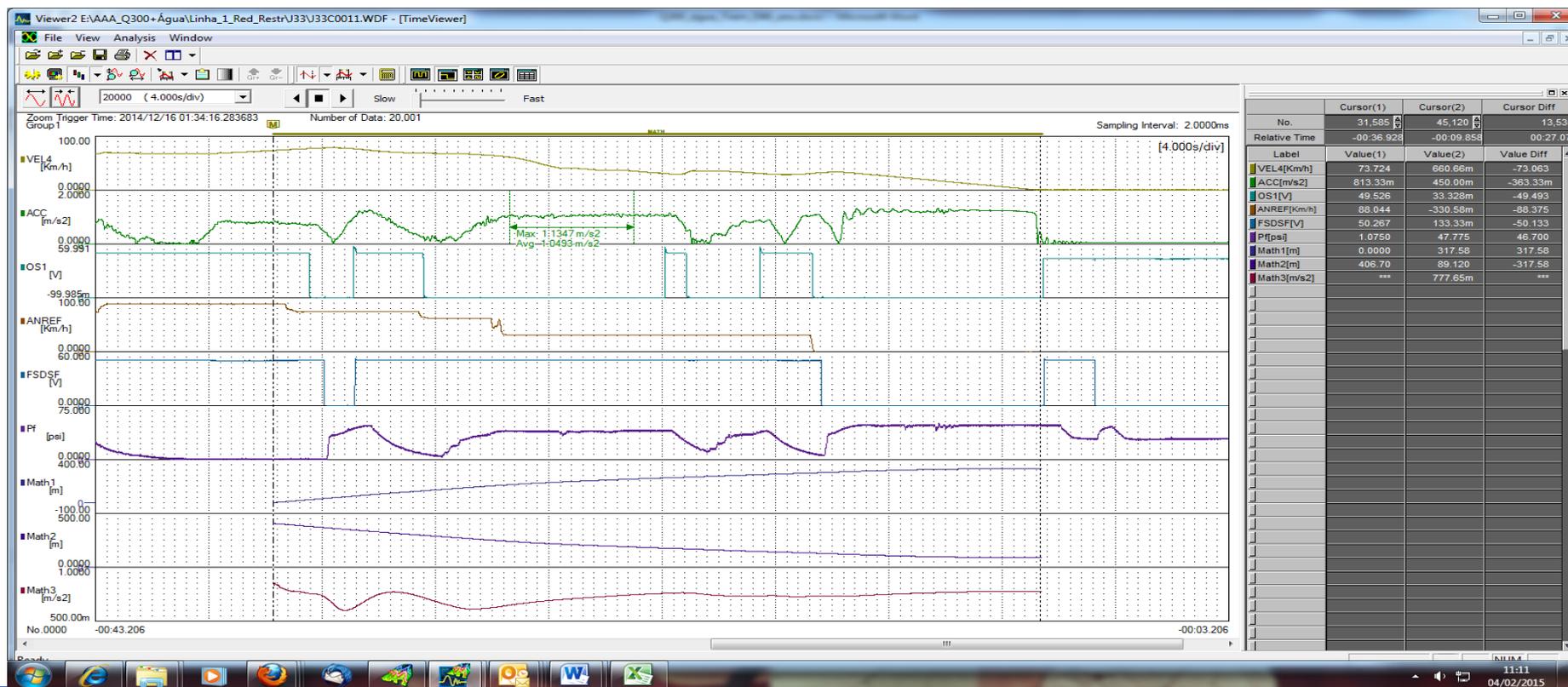
Intensivo Programa de Testes Fase 5:

Como comprovação final da segurança envolvida com a alteração das restrições de velocidade em dias de chuva, foram realizadas **mais de 200 corridas em trechos selecionados** de forma a testar todas as combinações possíveis de frotas, modelo e tipo de sistema ATC de bordo e sistema de freio instalado no trem.



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

Intensivo Programa de Testes Fase 5:



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

Intensivo Programa de Testes Fase 5:

- Todas as corridas com trilhos molhados a 86% da velocidade resultaram uma distância de segurança maior que o trem operando a 100% da velocidade;
- As corridas com trilhos molhados a 100% da velocidade resultaram em resultados próximos à de trilhos secos!



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

Intensivo Programa de Testes Fase 5:

Medições de tempos de percurso feitos na Linha 1 entre (TRD a TUC) apresentaram um acréscimo no tempo de viagem em **somente 147s** para a condição de 86% no percurso total do trem de ida e volta, que é de cerca de **1h20min!**



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

Intensivo Programa de Testes Fase 5:

Esse pequeno acréscimo de tempo foi possível de ser absorvido no trajeto em túnel sem restrição (100%) e praticamente eliminando impactos na capacidade de transporte em dias de chuva dessa linha!



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

Conclusão:

O sucesso desta aplicação na Linha 1 – Azul permite que o Metrô opere praticamente com a mesma capacidade de transporte, independentemente das ocorrências de chuva devido aos benefícios operacionais obtidos com essa modernização dos freios.



# Desempenho das frenagens em baixa aderência

Por esse motivo, para a Linha 1 – Azul, também já **não é mais informada a condição de “velocidade reduzida dos trens em dias chuvosos”** nos noticiários da TV e Internet!



# DESEMPENHO DAS FRENAGENS DOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO NA CONDIÇÃO DE BAIXA ADERÊNCIA

*MARCO PONTIERI - [mpontieri@metrosp.com.br](mailto:mpontieri@metrosp.com.br)*

*MARCOS TÁCTO - [mtacito@metrosp.com.br](mailto:mtacito@metrosp.com.br)*

*MAURÍCIO ROMERA ALVES - [mralves@metrosp.com.br](mailto:mralves@metrosp.com.br)*

*JOÃO CARLOS TORRAQUE DA COSTA - [jctorraque@metrosp.com.br](mailto:jctorraque@metrosp.com.br)*

*MARCO ANTÔNIO RAIA - [mraia@metrosp.com.br](mailto:mraia@metrosp.com.br)*

*CARLOS ALBERTO DE FTIMÓTEO - [ctimoteo@metrosp.com.br](mailto:ctimoteo@metrosp.com.br)*

*GABRIEL FRANZOTTI C. DE SOUZA - [gfcsoouza@metrosp.com.br](mailto:gfcsoouza@metrosp.com.br)*

*HISSAM ELDIN MOUSSA - [hmoussa@metrosp.com.br](mailto:hmousa@metrosp.com.br)*

# Obrigado

