



AEAMESP



21ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA – AEAMESP

2º. PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA - 3

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

Autores:

MARCO PONTIERI AUGUSTO – METRÔ SP

MARCOS TÁCITO – METRÔ SP

MAURÍCIO ROMERA ALVES – METRÔ SP

JOÃO CARLOS TORRAQUE DA COSTA – METRÔ SP

MARCO ANTÔNIO RAIA – METRÔ SP

CARLOS ALBERTO DE F. TIMÓTEO – METRÔ SP

GABRIEL FRANZOTTI C. DE SOUZA – METRÔ SP e

HISSAM ELDIN MOUSSA – METRÔ SP

ARTIGO TÉCNICO

1. INTRODUÇÃO

As primeiras frotas do Metrô entraram em operação no início dos anos 70 e representavam a vanguarda tecnológica da época, pois já incorporavam: suspensão pneumática ativa; freios automáticos com compensação de nível de carregamento dos carros; proteção automática das rodas contra bloqueios e escorregamentos - ABS (1); controle de tração elétrica através de sistema eletrônico de potência e automatismo total da operação do trem com controles de velocidade, parada nas plataformas e abertura automática das portas, etc. Todos esses automatismos funcionais já ocorriam, desde aquela época, sem a necessidade de qualquer atuação por parte do operador do trem.

No entanto, 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. Isso é devido ao desempenho e tempos de resposta dos controles eletro-pneumático do sistema de freio da época, frente à redução da aderência do contato roda-trilho na condição de trilhos molhados. Tal fato está relacionado com os informes apresentados em noticiários da TV e Internet que, em todo o dia chuvoso, noticiam: **“Devido às chuvas, as linhas do Metrô estão operando com velocidade reduzida”**.

Observa-se que o desempenho dos sistemas de freios dos trens para operar sob condições adversas de aderência é o que determina a redução de velocidade que deve ser imposta nos dias chuvosos, afetando diretamente o desempenho operacional e a capacidade

(1) ABS – “Sistema Anti-bloqueio de Freio” no acrônimo em Alemão.

(2) ATC/ATP sistema de sinalização por blocos de via significando “Controle Automático de Trem” e “Proteção Automática de Trem” nos acrônimos em Inglês.

de transporte do Metrô nessas condições.

Passados 40 anos, muitas evoluções tecnológicas ocorreram principalmente com relação ao aumento de capacidade e de velocidade dos sistemas eletrônicos microprocessados, aos novos semicondutores de potência e aos novos materiais. Além disso, houve também uma grande evolução dos sistemas eletropneumáticos por incorporarem novos materiais e tecnologia tornando-os muito mais rápidos e confiáveis. Essas novas tecnologias foram incorporadas e disponibilizadas para o mercado metro-ferroviário, para praticamente todos os subsistemas que compõem os trens, permitindo performances e controles muito mais rápidos, precisos e com desempenho e confiabilidade superior.

Em pesquisas e testes feitos pelo Metrô nos anos 90, já estava clara a grande diferença de desempenho dos novos sistemas de freio com controle digital microprocessados em relação aos antigos sistemas analógicos originais dos trens. Com base nessas pesquisas iniciais, foi trilhado um caminho visando à implantação de sistemas de freio com tecnologias atualizadas, principalmente para se obter melhor desempenho e frenagens mais seguras nos dias de chuva (trilhos molhados). Não é uma tarefa fácil, pois além da decisão em se investir na troca dos sistemas de freio originais, a segurança dos novos sistemas também deverá ser comprovada e certificada em relação ao melhor desempenho operacional possível, que é função da aderência disponível no contato roda-trilho molhado; do rendimento desses novos controles eletropneumáticos dos freios e de outras características físicas dos trens.

Desta forma, nos itens seguintes do presente trabalho, será apresentado o resumo deste histórico de pesquisas e testes realizados, até a comprovação e certificação da segurança disponibilizada pelos novos sistemas de freio de atrito que permitiram a obtenção das melhores performances operacionais dos trens nos dias de chuva e que hoje já estão aplica-

das na Linha 1 - Azul do Metrô.

2. DIAGNÓSTICO E HISTÓRICO

2.1. SISTEMA DE FREIOS ORIGINAIS DAS PRIMEIRAS FROTAS DO METRÔ

Os sistemas de freios originais das primeiras frotas do Metrô representavam a vanguarda tecnológica da época e tiveram projetos concebidos entre o final dos anos 60 e início dos anos 70. Essa tecnologia já permitia um controle suave e combinado automaticamente com o freio dinâmico do sistema de tração, permitindo o “blending” de forma a privilegiar o sistema de freio elétrico do trem.

No entanto, em dias de chuva, devido aos escorregamentos das rodas sobre os trilhos, o sistema de freio elétrico ficava inabilitado e o controle das frenagens ficava primordialmente, a cargo do sistema de freio de atrito. Observa-se que, naquela época, o controle do sistema eletropneumático do freio era feito com tecnologia analógica.

Como o sistema de controle de ATC/ATP do Metrô funciona por blocos de velocidades permitidas em função do posicionamento (ou ocupações) do trem na via, é mandatório que a distância de segurança entre um trem em movimento e um trecho à frente ocupado por outro trem, seja sempre garantida para qualquer ponto da via e para quaisquer condições de trilhos secos ou molhados. Em função dos tempos de resposta e desempenho dos controles eletropneumáticos do sistema de freio de atrito, demais características de desempenho dos trens e tamanhos dos blocos de sinalização, foi determinado que, para manter-se a distância de segurança entre os trens sob condições de trilhos molhados, era necessário se impor uma restrição de velocidade em 71% da velocidade normal de cada trecho do sistema

de sinalização.

Testes específicos também foram realizados na época para comprovar a real necessidade e a segurança operacional, através desta limitação de velocidade, que concluíram por sua consolidação. A partir daí, essa restrição em 71% da velocidade para os dias de chuva foi adotada e implantada em todas as linhas do Metrô para todos os trechos de via sujeitos a terem trilhos molhados pela chuva.

Observa-se que essa determinação garante a segurança operacional nos dias de chuva, porém reduz significativamente a capacidade de transporte do sistema metroviário nesses dias.

2.2. PRIMEIROS TESTES COMPARATIVOS NOS ANOS 90

Em meados dos anos 90, devido à possibilidade de um fornecimento futuro de novos trens, teve-se a oportunidade de efetuar testes comparativos entre sistemas de freio de atrito original e de um novo modelo microprocessado que estava na época, sendo lançado no mercado.

Visto que o desempenho desse sistema é determinante à segurança das frenagens e ao desempenho operacional em dias de chuva, foram efetuados testes com o protótipo desse equipamento, para verificar se ele era capaz de proporcionar, pelo menos, as mesmas condições de segurança e desempenho em relação ao sistema original.

Com isso, foram executados testes com trem sob condições de degradação forçada do atrito entre roda-trilho com aspersão de: água pura, água e sabão e também com aplicação de graxa em determinadas regiões do topo do boleto.



AEAMESP



Inicialmente os resultados dos testes foram decepcionantes, inclusive observando-se desempenhos inferiores aos do sistema de freio original das frotas antigas. 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, sob o risco de comprometer a segurança e o desempenho operacional do Metrô.

Logo após a esses testes, teve-se a oportunidade de efetuar testes em protótipos de mais outros dois modelos de sistema de freio com controle digital microprocessado. Muitos testes foram efetuados sob várias condições de degradação da aderência do contato roda-trilho até se obter os melhores ajustes desses sistemas. Os ajustes dos equipamentos foram feitos por especialistas dos respectivos fabricantes.

Com essa segunda rodada de testes, pode-se então observar que, com sistemas adequadamente ajustados às condições reais dos trens e da via, ocorria uma consistente redução das distâncias de frenagem em cerca de 30% à 50%, à depender do nível de degradação imposta da aderência no contato roda-trilho.

Após esses sistemas serem adequadamente ajustados, esses protótipos deram resultados praticamente iguais e demonstraram a possibilidade de otimizar, significativamente, a segurança operacional sob condições adversas de aderência (trilhos molhados) através da redução das distâncias de frenagens. Isso era decorrente de um melhor aproveitamento do atrito roda-trilho disponível pelos algoritmos de controle dos sistemas de freio microprocessados.

Esses testes iniciais demonstraram o enorme potencial dessa nova tecnologia, porém também nos ensinou que as decisões de investimentos futuros teriam que ser adotadas com a maior cautela, pois os melhores ajustes foram obtidos somente após vários testes em

condições reais, considerando inclusive as características e desempenho dos trens e vias do Metrô de São Paulo e, além disso, um dos modelos testados não conseguiu apresentar um melhor desempenho em relação ao sistema de freio original dos trens.

Utilizar o potencial dessa nova tecnologia para melhorar significativamente o desempenho operacional e a capacidade de transporte em dias de chuva era de extrema importância para o Metrô, porém isso deveria ser feito sem afetar a segurança determinada para o sistema de sinalização e proteção automática dos trens (ATC/ATP).

Portanto, a decisão de se investir na modernização do sistema de freio passa por questões de risco que deveriam ser previamente avaliadas, surgindo assim as seguintes perguntas:

- a) Como garantir que um fabricante proponente de um novo sistema de freio realmente tenha e ofereça um produto que atenda aos níveis de rendimento e desempenho adequados para se obter as melhorias desejadas das restrições operacionais sob condições adversas de aderência?
- b) Como certificar que o sistema está em seu melhor ajuste e rendimento em relação ao limite dado pelo atrito disponível no contato roda-trilho nas várias condições operacionais possíveis de ocorrer nas vias do Metrô?
- c) Quais seriam os piores casos para determinar as menores taxas de frenagem disponíveis durante a operação comercial dos trens equipados com novos sistemas de freio, para com isso validar que eles continuam a atender às distâncias de segurança previstas em todos os blocos de sinalização do sistema ATC/ATP?
- d) Como se certificar de que um novo sistema de freio irá oferecer um desempenho consistente para as várias condições operacionais como: carregamento dos trens, veloci-



AEAMESP



dade em cada trecho, horário da ocorrência da chuva, declividade da via, presença de outros contaminantes que podem degradar o atrito como poluição, poeiras, oxidações etc.?

- e) Como se certificar de que durante quaisquer dessas condições operacionais e suas combinações possíveis continuarão sendo mantidas as condições de segurança exigidas pelo sistema de sinalização ATC/ATP?
- f) Como certificar esse conjunto de desempenho de sistema, de forma isenta e independente, tanto do Metrô como do fabricante?

As perguntas acima demonstram a relevância e a sensibilidade dos problemas que deveriam ser administrados durante um desenvolvimento de projeto de modernização dos sistemas de freio, porém os ganhos operacionais que poderiam ser obtidos se mostravam também de extrema importância e estratégicos para o Metrô.

Antes do processo de modernização dos freios das frotas mais antigas e devido aos resultados animadores desses testes, houve a determinação do Metrô pela opção dessa tecnologia para ser implantada no caso de novos trens e que já foi inicialmente instalada nos trens da frota E, Milênio em 1999.

Os ganhos em aumento da capacidade de transporte e melhorias de desempenho justificaram o investimento previsto e, com isso, também era recomendada a modernização dos freios das frotas mais antigas. Para encaminhamento deste processo, dessas duas frentes foram desenvolvidas:

- a) Especificações com rigorosos parâmetros de aceitação para a aquisição de novos sistemas de freio microprocessados que deveriam substituir os antigos sistemas de freio
- e



AEAMESP



- b) 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 reais e de pior caso das taxas de frenagem e do rendimento dos controles de freio em situações de baixa aderência, durante operação comercial normal e para as várias condições possíveis de ocorrer.

2.3. NOVOS SISTEMAS DE FREIOS COM CONTROLE MICROPROCESSADOS

Após mais de uma década dos testes nos anos 90, finalmente ocorreu a oportunidade de se modernizar os sistemas de freio das frotas mais antigas e também houve a contratação de empresa independente para certificar os desempenhos desses novos sistemas como também para determinar as novas taxas de frenagem disponíveis durante operação comercial.

Um intensivo programa de testes ocorreu inicialmente para implantação e comprovação dos melhores ajustes dos novos sistemas de freio. Durante esse programa de testes a aderência roda-trilho foi degradada através de um sistema de injeção de solução de água e sabão e foram verificados os comportamentos e rendimento dos algoritmos de controle dos sistemas de freio para otimizar as distâncias de frenagem e efetuar a devida proteção contra o travamento das rodas.

Por esse sistema de injeção de água e sabão, a solução era injetada de forma abundante na frente de cada roda do primeiro eixo de cada truque na vazão mínima de 10l/min.

As figuras a seguir ilustram o sistema de injeção de solução de água e sabão instalados nos trens:



Figuras 1 e 2 – Sistemas de injeção de água e sabão nas rodas



Figuras 3 e 4 – Bombas de pressurização de água, reservatórios e tubos de distribuição.

A figura 5 abaixo ilustra um exemplo de corrida com degradação da aderência por água e sabão:

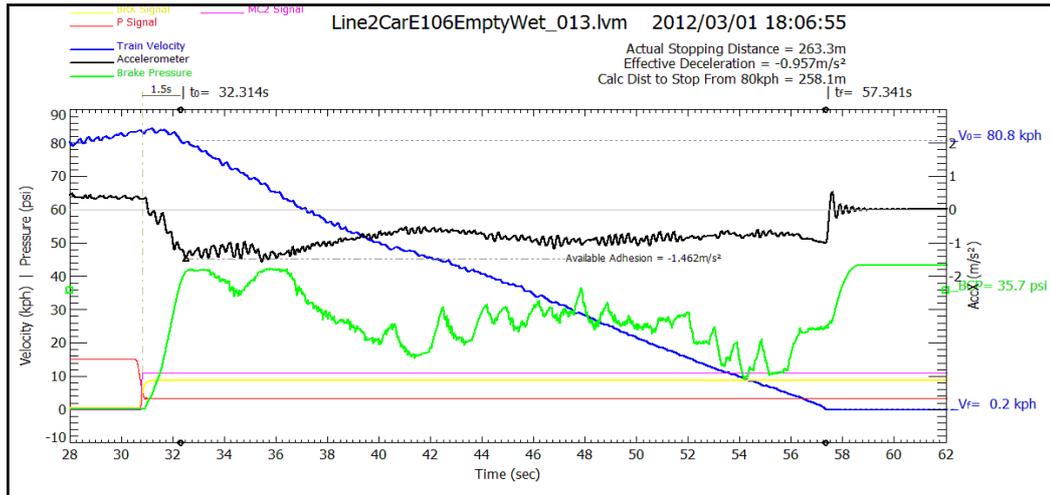


Figura 5 – Exemplo de frenagem sob condições adversas de aderência por água e sabão

A tabela 1 a seguir, apresenta um exemplo de análise de rendimento e desempenho do sistema de freios com degradação da aderência por água e sabão para as condições de freio máximo de serviço e freio de emergência com carro vazio:

Table 1. Braking Performance Under Wet Conditions

Friction Condition	Initial Velocity	Final Velocity	Time To Reach Final Velocity	Distance To Final Velocity	Calculated Stopping Distance	Effective Deceleration	Available Adhesion	Braking Efficiency	Nominal Brake Cylinder Pressure
	km/h	km/h	s	m	M	m/s ²	m/s ²		psi
Average Performance for Wet / Emergency					209.7	-1.181		90.9%	
Wet	77.1	0.2	22.213	214.7	231.3	-1.068	-1.667	64.1%	37.0
Wet	79.7	0.1	22.487	223.2	224.8	-1.099	-1.776	61.9%	50.5
Wet	80.7	0.1	26.276	265.6	260.8	-0.947	-1.417	66.8%	47.9
Wet	81.2	0.1	20.326	216.4	210.3	-1.174	-1.779	66.0%	47.0
Wet	82.1	0.1	22.859	246.9	234.5	-1.053	-1.533	68.7%	38.0
Average Performance for Wet / Full Service					232.3	-1.068		65.5%	
Wet	79.4	0.1	27.623	268.5	272.7	-0.905	-1.622	55.8%	42.9
Wet	80.1	0.1	26.514	267.3	266.5	-0.926	-1.459	63.5%	42.7
Wet	80.8	0.1	24.836	252.4	247.1	-0.999	-1.658	60.3%	42.8
Wet	80.8	0.2	25.027	263.3	258.2	-0.956	-1.462	65.4%	35.7
Wet	80.9	0.1	28.024	275.4	269.3	-0.917	-1.496	61.3%	41.7
Wet	81.5	0.1	25.868	258.6	248.9	-0.992	-1.524	65.1%	30.8
Wet	82.1	0.2	23.433	258.5	245.3	-1.006	-1.459	69.0%	31.0

Após término desta fase de implantação e comprovação dos melhores ajustes de cada um dos sistemas de freios, iniciou-se uma nova fase de testes intensivos para determinar o comportamento das frenagens dos trens durante a operação comercial. Foi instrumentado um trem de cada frota para determinação do desempenho e das taxas reais de frenagens verificadas durante a operação comercial e feitos sempre durante a época de maior incidência de chuvas na cidade de São Paulo (entre os meses de Dezembro a Abril).

Por essa instrumentação, foi calculada a taxa de desaceleração efetiva Aef (3) para cada uma das frenagens comandadas pelo sistema de controle ATP no período e foi desenvolvida uma estatística dessas ocorrências. Visto que o trem não é um corpo pontual e pode estar uma parte sujeita a uma inclinação de via diferente da outra parte do trem, foram colocados dois acelerômetros, um em cada extremidade do trem (carro 1 e carro 6), para a estimativa do valor de Aef.

A título de exemplo, somente para os trens da frota A da Linha 1 – Azul, foram colhidas, digitalizadas e analisadas 27.740 frenagens na condição de freio máximo e freio em nível de emergência. A tabela 2 e a figura 5 a seguir apresentam os valores de Aef calculados a partir dos instrumentos dos carros 1 e 6 para essas frenagens:

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%

Tabela 2 – Resumo das corridas colhidas em operação comercial nos trens da frota A

(3) Definição de Aef – Desaceleração Efetiva - Valor ponderado das desacelerações em relação ao tempo A(t) verificadas durante o período da frenagem que produz a mesma redução de velocidade, no mesmo espaço percorrido e dissipando a mesma potência média pelos freios.

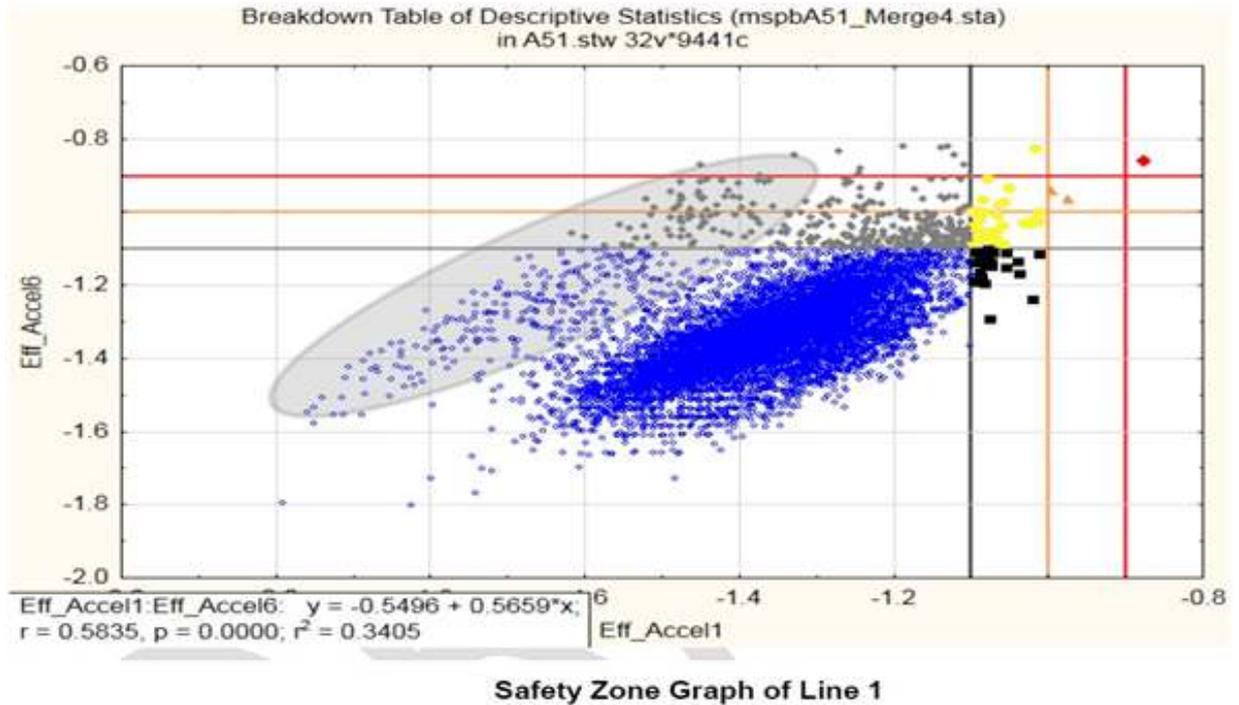


Figura 5 – Distribuição das taxas de frenagens na operação comercial em trens da frota A

A região cinza foi expurgada, pois houve um deslocamento de offset do acelerômetro do carro 1 em determinado período dos testes e as regiões com pontos em amarelo, laranja e vermelho foram selecionadas como as de piores casos. Análises mais detalhadas destas corridas (38 no total) demonstram que foram corridas de muito curta duração (no máximo 5s) e onde as acelerações foram afetadas pelo momento de transição do freio dinâmico (pelos motores) para o freio de atrito, não representando assim nenhum significado para a segurança do sistema.

Portanto essas corridas demonstram que as taxas de frenagens medidas em operação comercial em época das chuvas estão muito próximas das taxas necessárias para o sistema operar praticamente sem restrição de velocidade!

2.4. TESTES COMPLEMENTARES EM COM TRENS EM CIRCUITOS DE VIA DA LINHA 1 - AZUL

Até então, todos os resultados se mostravam favoráveis a se alterar os parâmetros de restrição de velocidade dos trens em dias de chuva, pois os novos sistemas de freio já estavam adequadamente com seus ajustes otimizados e testes em operação comercial também indicavam disponibilidade de taxa suficiente ($> 1,0\text{m/s}^2$).

Para determinar qual o valor de restrição de velocidade que poderia ser implementado no sistema, considerando os testes realizados, foram realizadas simulações com os modelos SAFEPRO (trens sem DSF) e SAFEPRO Modificado (trens com DSF), que simulam os circuitos de via dos sistemas ATC/ATP da Linha 1 – Azul, com o objetivo de calcular qual a taxa mínima de freio garantida que era necessária para se utilizar a restrição de velocidade de 86%, que é uma condição fácil de ser utilizada nos trens das linhas 1, 2 e 3.

Dos resultados das simulações constatou-se que para a restrição de velocidade de 86% era necessário ter uma taxa de frenagem garantida de, pelo menos, $0,9\text{ m/s}^2$, ou seja, nessas condições todas as distâncias de frenagem são inferiores às praticadas na condição normal de operação sem chuva. Observa-se que para os trens operarem em trilho seco e sem restrições, a taxa de frenagem mínima de $1,092\text{m/s}^2$.

Devido ao enorme número de trechos existentes sujeitos a terem os trilhos molhados por chuva, das simulações feitas foram selecionados alguns dos circuitos mais relevantes e representativos com relação a: menores distâncias de segurança até ao trecho ocupado, velocidade de aproximação ao trecho ocupado e declividade da via. Esses circuitos seriam utilizados como parâmetros de verificação de que os trens poderiam operar agora com uma restrição de velocidade de 86%. Foram selecionados 8 trechos com velocidade de aproximação entre 44km/h a 87 km/h e declividade de até 3% (máximo encontrado nas vias em regi-

ões sujeitas a terem os trilhos molhados da Linha 1 – Azul).

Para validar as simulações efetuadas, tomou-se o cuidado de realizar corridas com trens modificados para simular os piores desempenhos previstos e, com isso determinar se os fatores de segurança dessas simulações foram adequadamente utilizados. Nesses testes de validação, os trens modificados em desempenho sempre apresentaram resultados melhores que os piores resultados simulados, indicando boa margem de segurança dessas simulações.

Assim, como comprovação final da segurança envolvida com a alteração das restrições de velocidade em dias de chuva, que era de 71% da velocidade de código para 86% da velocidade de código, foram realizadas mais de 200 corridas nos 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.

Para a realização dessas corridas, cada carro do trem era preparado mantendo o freio de atrito ajustado para o valor no limite inferior de pressão e com o freio dinâmico desligado. Um dos carros do trem ficava com seus freios totalmente isolados (freio de atrito e freio dinâmico) para simular uma falha geral de freio no instante da frenagem. Também era injetada água em abundância nas rodas do primeiro eixo de todos os carros com freio operante, na vazão de 10l/min, com sistema injetor semelhante ao apresentado anteriormente. Esse sistema simula a ocorrência de uma chuva de extrema intensidade.

Como procedimento, antes das corridas com água eram feitas corridas com trilhos secos para parâmetro de comparação da variação das distâncias de segurança. Posteriormente eram feitas corridas com trilhos molhados e sem colocar restrição de velocidade e, por fim corridas com restrição de velocidade em 86%. Os trens partiam em velocidade co-

mandada pelo sistema ATP e corriam contra um trecho com ocupação simulada. Nesses testes os trens deveriam parar sempre a uma distância de segurança superior à distância de segurança prevista pela simulação para cada trecho e nunca invadindo a região ocupada.

Em todas as corridas efetuadas com todas as frotas, sem nenhuma exceção, foram verificadas manutenção de muito boas distâncias de segurança com grande folga em relação aos valores previstos nas simulações, inclusive para a condição sem restrição de velocidade. As distâncias de segurança para trilhos secos e molhados sempre se mantiveram muito próximas em todas as corridas, indicando uma ótima performance de controle dos sistemas de freio de atrito.

A figura 6 a seguir apresenta um exemplo de gráfico de corrida feito com trilhos molhados no trecho 1N15T e sem restrição de velocidade:

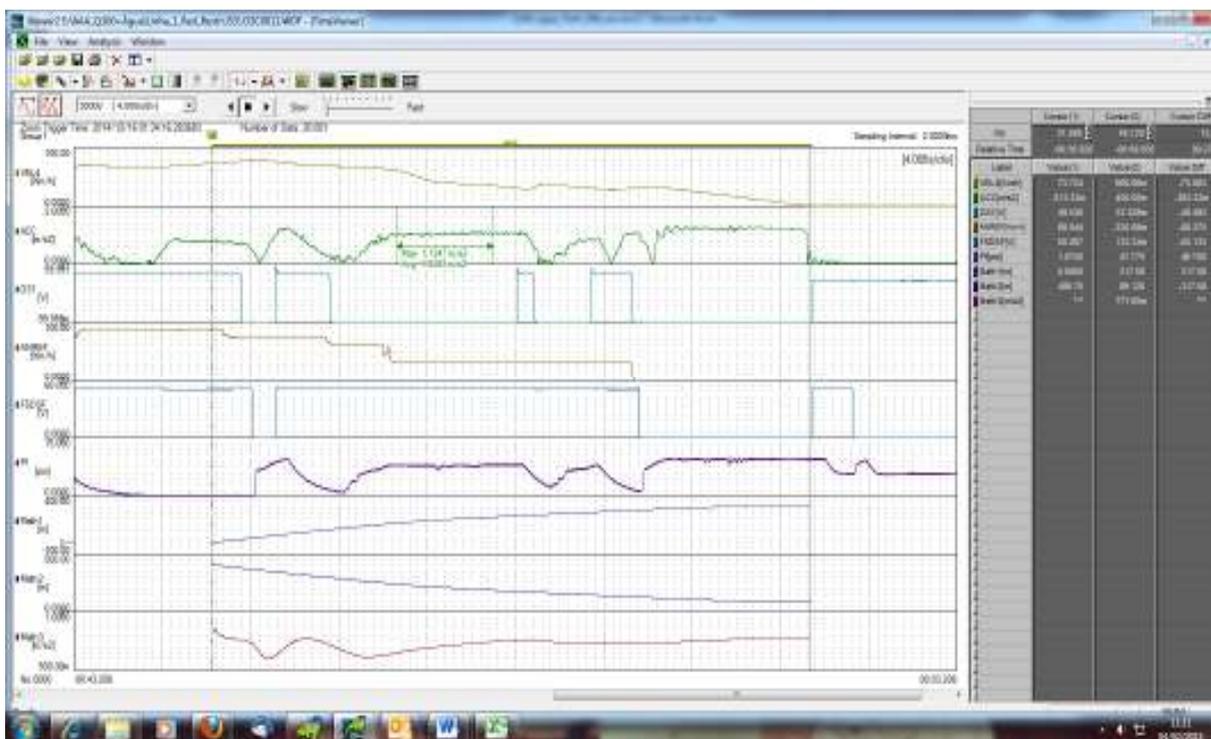


Figura 6 - TRD 1 – Trecho 1N15T Cód 87, Dist. Occ=406,7 m 100% + Água.

A tabela 4 a seguir mostra um exemplo de resultados obtidos com o trem de uma

das frotas testadas nos trechos selecionados.

Tabela 4 – Resultados das corridas com trem J33

Domínio	Ocupação	Grade	Vel_Cód km/h	Restr_Vel 100%_86%	Vel_ATP km/h	Condição Roda- Trilho	Vel_Máx Medida km/h	Dist_Segur Medida m
TRD 1 16/12/14	1N13T	0	62	1	61	seco		94
			62	0,86	52,3	seco		104
			62	0,86	52,3	molhado		102
			62	0,86	52,3	molhado	46,7	101
			62	1	61	molhado		99
			62	1	61	molhado		92
TRD 1 16/12/14	1N15T	0	87	1	86	seco		95
			87	0,86	73,8	seco		115
			87	0,86	73,8	molhado	75,2	115
			87	1	86	molhado		97
			87	1	86	molhado		89
SAN 1	1N01T	1,5	44	1	43	seco		72
			44	0,86	36,8	seco		86
			44	0,86	36,8	molhado	40,7	88
			44	1	43	molhado		73
			44	1	43	molhado		70
SAN 1	1N02T	1,5 para 0	75	1	74	seco		117
			75	0,86	63,5	seco		139
			75	0,86	63,5	molhado	63,7	132
			75	1	74	molhado		120
			75	1	74	molhado		135
TUC 1	1S16T	0,25 para -1,3	62	1	61	seco		100
			62	0,86	52,3	seco		105
			62	0,86	52,3	molhado	54,1	102
			62	1	61	molhado		103
TUC2 18/12/14	2S13T		75	1	74	seco		112
			75	0,86	63,5	seco		120
			75	0,86	63,5	molhado	61,4	127
			75	1	74	molhado		80
			75	1	74	molhado		108
TRD 2	2N15T	0	75	1	74	seco		100
			75	0,86	63,5	seco		125
			75	0,86	63,5	molhado	58,7	125
			75	1	74	molhado		101
			75	1	74	molhado		105
TRD2	2N02T	-4 a 0,4	62	1	61	seco		91
			62	0,86	52,3	seco		115
			62	0,86	52,3	molhado	58,3	111
			62	1	61	molhado		92
			62	1	61	molhado		101
			62	1	61	molhado		102

2.5. AVALIAÇÃO DO IMPACTO NA OPERAÇÃO DA LINHA 1 COM A RESTRIÇÃO EM 86%



AEAMESP



Apesar dos testes terem demonstrado que os trens estavam apresentando desempenho de frenagem com trilhos molhados muito próximos aos de trilho seco, por questões de cautela optou-se para inicialmente diminuir a restrição de velocidade em dias de chuva para a Linha 1 – Azul de 71% para 86% da velocidade de código.

Para a Linha 1 – Azul esse aumento de velocidade praticamente resolveu o problema de diminuição de capacidade de transporte em dias de chuva pois menos de 1/3 da linha fica sujeita a redução de velocidade devido à chuva. Medições de tempos de percurso feitos nos trechos sujeitos à condição de trilhos molhados (TRD a TUC) apresentaram um acréscimo no tempo de viagem em **somente 147s** para a condição de 86% em relação ao tempo de percurso sem restrição de velocidade (100%), no percurso total do trem **de ida e volta**, que é de cerca de **1h20min**! 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.

2.6. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS

- A modernização dos sistemas de freios das frotas mais antigas do Metrô de São Paulo proporcionou uma melhoria do desempenho e da segurança operacional devido uma substancial redução das distâncias de frenagem, decorrente de um melhor aproveitamento do atrito disponível no contato roda-trilho.
- Com base nos estudos realizados pela empresa especializada e independente, que constatou o bom ajuste dos sistemas de freios de atrito dos trens, inclusive nas condições de baixa aderência (condições de chuva) nas quais as taxas de freio foram sempre superiores

