



ESTUDO DOS POSSÍVEIS GANHOS ENERGÉTICOS E OPERACIONAIS DEVIDO À UTILIZAÇÃO DE VÁLVULAS ELETRO PNEUMÁTICAS EM VAGÕES DE TRENS DA ESTRADA DE FERRO VITÓRIA-MINAS.

Autor: Ricardo Penna de Azevedo Filho

Escola Politécnica – Universidade de São Paulo

Companhia Vale do Rio Doce. Rua Sapucaí 383, Térreo, Floresta, Belo Horizonte, MG – CEP 30150-904

Email: Ricardo.Penna@CVRD.com.br

Autor: Fabiano Medeiros de Oliveira

Companhia Vale do Rio Doce. Rua Sapucaí 383, Térreo, Floresta, Belo Horizonte, MG – CEP 30150-904

Email: Fabiano.Oliveira@CVRD.com.br

Resumo: *O objetivo principal desse trabalho é encontrar as diferenças e possíveis ganhos na dinâmica de um trem devido da utilização de válvulas eletrônicas do tipo EP nos vagões de composições da EFVM (Estrada de Ferro Vitória Minas, Brasil) através de simulações em softwares.*

Inicialmente foram mapeados os principais trechos de descida dentro da EFVM (Estrada de Ferro Vitória Minas). A partir dessa informação foram feitos dois tipos de simulações: simulações da operação padrão nos trechos mapeados e simulações de situações de emergência. Para cada uma dessas simulações foram comparados os resultados para o uso de válvulas do tipo AB (Pneumáticas) e válvulas EP (Eletro Pneumáticas). Foram montadas diferentes composições conforme o trem tipo existente na ferrovia, sendo montados trens de 160 e 240 vagões com tração simples e distribuída. As simulações foram feitas utilizando-se o software TDS5000 da empresa NYAB e o TEM 3.2 disponibilizado pela TTCL. Todas as simulações ocorreram dentro das instalações do CEPET (Centro de Pesquisa e Treinamento Ferroviário) da Companhia Vale do Rio Doce, Belo Horizonte, Brasil. Os dados resultantes das simulações foram tratados e os parâmetros principais analisados visando principalmente ganhos em dois aspectos: Segurança e consumo. Para análise da segurança do trem foram coletados os dados de choques de tração e compressão, L/V, distância e tempo de parada em emergência. Para análise de consumo buscaram-se os dados de gasto de combustível e transit time durante as simulações nos trechos de descida com forte utilização de freio.

Palavras-chave: *Válvula eletro pneumática, ferrovia, consumo de combustível, simulação, ganhos operacionais.*

1. INTRODUÇÃO

É importante verificar que existe hoje no mundo uma grande tendência à racionalização de recursos visando melhorias ambientais, reduções de custos e conseqüentemente aumento nos lucros das empresas. Tendo em vista uma maior otimização do sistema de transporte na CVRD (Companhia Vale do Rio Doce), fazem-se necessárias algumas reflexões sobre os possíveis ganhos com a implementação de novas tecnologias e sua importância para os resultados da companhia, a fim de que se possam ter custos minorados em função do uso responsável dessas inovações e dos ativos existentes e disponíveis para a empresa. (BARBOSA, 2000)

Existe hoje, dentro da CVRD, uma forte busca por melhoria no transporte ferroviário visando principalmente a economia de combustível e o aumento da produtividade das locomotivas dentro dos seus respectivos corredores. A redução do consumo de combustível e o aumento da produtividade geram um grande impacto sobre os resultados e são os principais indicadores para verificação das melhorias implementadas.

Para que se possa mensurar esse ganho é necessário que sejam feitas simulações em softwares que possibilitem a análise de dados e comparações entre o cenário atual e o cenário com a nova tecnologia implantada.

Esse trabalho busca realizar um estudo detalhado dos ganhos operacionais com a implementação de válvulas eletro pneumáticas nos vagões da EFVM (Estrada de Ferro Vitória Minas) e a partir desse cálculo criar um quadro de resumo com um formato simples que possibilite a visualização desses ganhos pela empresa e cálculo da sua influência sobre a produtividade e a eficiência energética no trecho.

Para isso foram montadas diferentes composições conforme o trem tipo existente na ferrovia, sendo montados trens de 160 e 240 vagões com tração simples e distribuída. As simulações foram feitas utilizando-se o software TDS5000 da empresa NYAB e o TEM 3.2 disponibilizado pela TTCI. Todas as simulações ocorreram dentro das instalações do CEPET (Centro de Pesquisa e Treinamento Ferroviário) da Companhia Vale do Rio Doce, Belo Horizonte, Brasil. Os dados resultantes das simulações foram tratados e os parâmetros principais analisados visando principalmente ganhos em dois aspectos: Segurança e consumo. Para análise da segurança do trem foram coletados os dados de choques de tração e compressão, L/V, distância e tempo de parada em emergência. Para análise de consumo buscaram-se os dados de gasto de combustível e transit time durante as simulações nos trechos de descida com forte utilização de freio.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Conceitos básicos

Originalmente desenhadas para utilização em metrô e trens de passageiros a válvula de freio eletro pneumática pode ser hoje utilizada em trens de carga. Sua maior vantagem é o fácil controle de velocidade e rápida atuação dos freios em todos os vagões de uma composição, possibilitando ao operador um controle instantâneo de todo o trem. Outra grande vantagem é o alívio gradual do freio dos vagões, o que não é possível nas válvulas comuns.

Os atuais sistemas de freio da EFVM funcionam através da transmissão de sinais pelo ar do encanamento geral. Esses sinais iniciam na parte frontal do trem e são transmitidos pelo encanamento até a parte traseira do mesmo. Por esse motivo haverá sempre um tempo gasto para que essa transmissão ocorra. Esse tempo é denominado taxa de propagação e ocasiona a frenagem dos vagões em diferentes instantes, por esse motivo, durante a aplicação dos freios, enquanto alguns carros na parte frontal do trem estão freando outros continuam a empurrar a composição pela cauda. Já durante o alívio a parte da frente da composição irá puxar a parte traseira que continuará freada até que o sinal seja recebido pelo último vagão. Esses cenários costumam gerar choque e forças de tração e compressão nos engates, o que pode reduzir a vida útil dos mesmos além de consumir energia da composição. (BUCHTER, 2005)

2.2 Operação da válvula

Existe um controle eletrônico disponível para o maquinista. Para alívio ou aplicação do freio basta um toque nos botões do painel até a aplicação desejada. A unidade de controle envia a informação a todos os vagões que recebem, interpretam e liberam ar do reservatório para o cilindro de freio até que a aplicação seja atingida. Os microprocessadores dos vagões monitoram continuamente a pressão no cilindro de freio para garantir a aplicação mesmo com vazamentos mantendo a pressão necessária.

Caso o operador queira aliviar a pressão do cilindro é possível que o alívio seja parcial, e caso queira aplicar novamente não é necessário aliviar por completo, como ocorre nas válvulas pneumáticas comuns.

Caso o comando de freio não seja transmitido, o vagão da cauda enviará mensagens com o status de frenagem. Todos os vagões da composição monitoram essas mensagens e se um deles obtiver falha na recepção por três tentativas o sistema considera que o trem está quebrado ou houve um problema na transmissão do sinal, e inicia automaticamente uma parada de emergência. (BUCHTER, 2005)

2.3 Fontes de energia

Todos os vagões possuem baterias recarregáveis para prover a alta demanda de energia dos solenóides. Quando não estão em uso as baterias são recarregadas através dos cabos de transmissão dos vagões (para o caso de transmissão via radio as baterias recarregam através de um gerador que gera energia através do movimento do vagão). (BUCHTER, 2005)

O sistema de cabeamento usa em torno de 25% da capacidade do sinal para o comando de freio e status das mensagens. Tração distribuída pode usar entre 10-15%, restando 60-65% da capacidade do sinal para monitoramentos especiais como sensores de pressão, temperatura e etc.

2.4 Novos desenvolvimentos

Futuros desenvolvimentos podem ser utilizados para que o sistema eletrônico seja também utilizado para diagnóstico do trem, podendo gerar e transmitir informações como posição dos vagões, “hot boxes”, temperatura, pressões, porta de vagões abertas entre outros. (HAY, 2003)

3. RESULTADOS

3.1 Mapeamento dos principais trecho

Através da análise dos perfis de linha e do trem tipo da EFVM foram listados os principais trechos a serem simulados. Para isso foram levadas em consideração: As rampas existentes nos trechos, o sentido de carga e a utilização de freio automático durante o trajeto.

Foram então definidos para simulação os trechos:

- DD à TU (KM 500 ao 450) e (KM 450 ao 400);
- FZA à CS (KM 90 ao 50);
- Simulações de emergência em rampas de 1,0 %;
- Simulações de emergência em rampas de 1,3 %;
- Simulações de emergência em nível.

Para cada trecho mapeado foram criados trens específicos e simulados com diferentes cargas e posicionamentos.

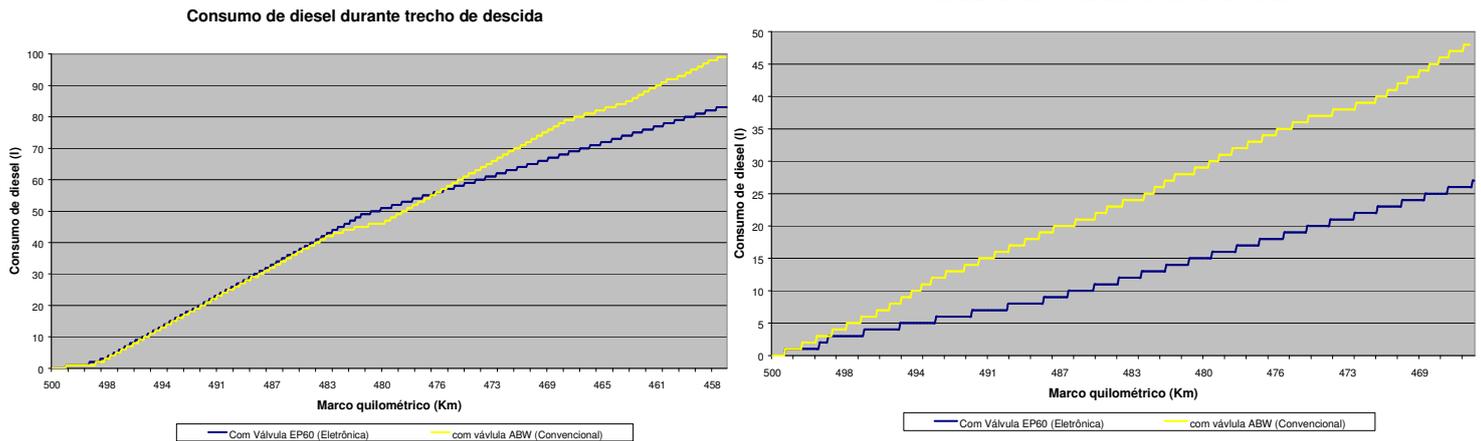
3.2 Análise das simulações

3.2.1 Trecho de DD a TU

Esse trecho foi simulado utilizando-se um trem com duas locomotivas Dash9 e 160 vagões GDE carregados. Carga total de 12800 TB, 2,5 PSI de vazamento e comprimento total de 1649 m.

Foram realizadas duas simulações para cada tipo de válvula (EP e ABW), cada uma das simulações com um tipo diferente de condução e trechos de perfil de descida. Foram analisados os choques, forças, consumo e tempo total de viagem. Os resultados são mostrados abaixo.

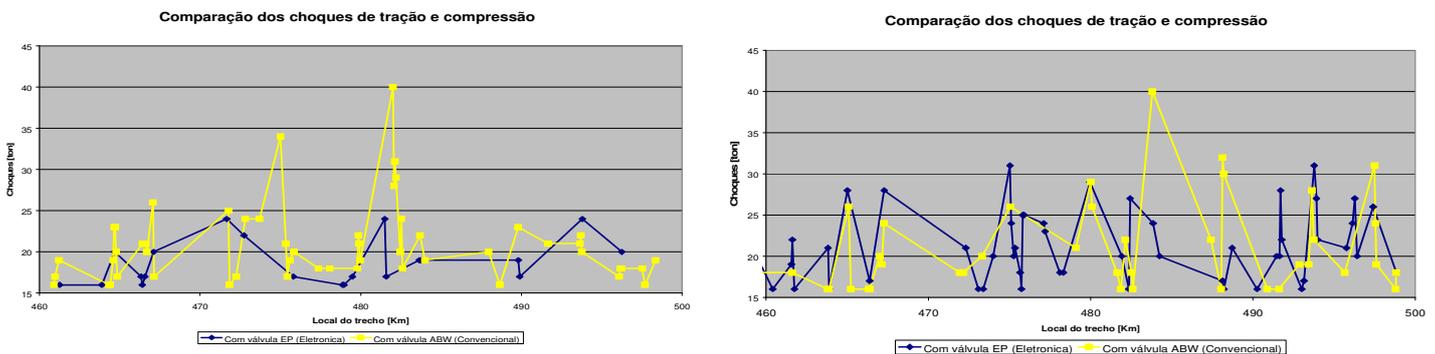
1. Consumo de Combustível



É possível observar por esses gráficos que o tipo de condução influencia muito no resultado de consumo final de combustível. No entanto nas duas simulações é possível observar um ganho com o uso das válvulas eletrônicas em trechos de descida, já que a utilização das mesmas faz com que o uso do freio dinâmico possa ser reduzido, o que diminui o consumo total.

4. Choques de tração e compressão

Nos gráficos abaixo são mostrados, em módulo, os choques de compressão e tração acima de 15 toneladas ocorridos durante o trecho de descida do Km 500 ao 450. A quantidade total de choques ocorrido também pode ser observada pelos gráficos.



Os choques ocorridos durante as simulações mostraram-se muito variados em função do tipo de condução. Na primeira simulação é possível observar uma grande redução nos choques com a utilização da válvula eletrônica, já na segunda simulação esse ganho não é tão expressivo. Esse resultado mostra a importância de estudarmos a melhor operação para o uso de novos equipamentos antes de iniciarmos testes em campo, dessa forma é possível medir os ganhos e optar pelo melhor formato. (MAGALHÃES, 2000)

Não houve nenhuma relação de influência do tipo de válvula com o transit time no trecho. Isso porque a velocidade permanece a mesma, a utilização da válvula eletrônica apenas facilita o controle da mesma não havendo ganhos no resultado final.

3.2.2 Trecho de FZA a CS

Esse trecho foi simulado utilizando-se dois tipos diferentes de trem:

- Locotrol com 2 Dash9 + 160 vg + 1 dash9 + 80 vagões GDE Carregados, carga total 19400 TB, 2,5 PSI de vazamento e comprimento total de 2628 m.
- Tração simples com 2 Dash9 e 160 vagões GDE carregados. Carga total de 12800 TB, 2,5 PSI de vazamento e comprimento total de 1649 m.

Foram realizadas quatro simulações:
 Para o trem Locotrol foram realizadas duas simulações. Uma para cada tipo de válvula.
 Para o trem convencional mais duas simulações. Uma para cada tipo de válvula (EP e AB).
 Foram analisados os choques, forças, consumo e tempo total de viagem. Os resultados são mostrados comparando-se os dados obtidos com a utilização da válvula AB e EP.

1. *Consumo de combustível*

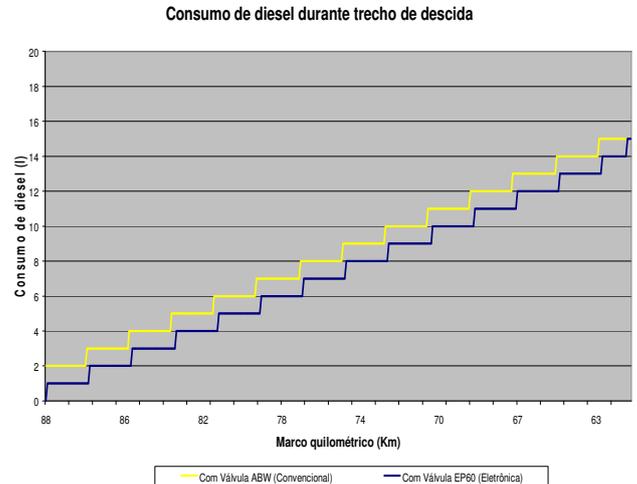
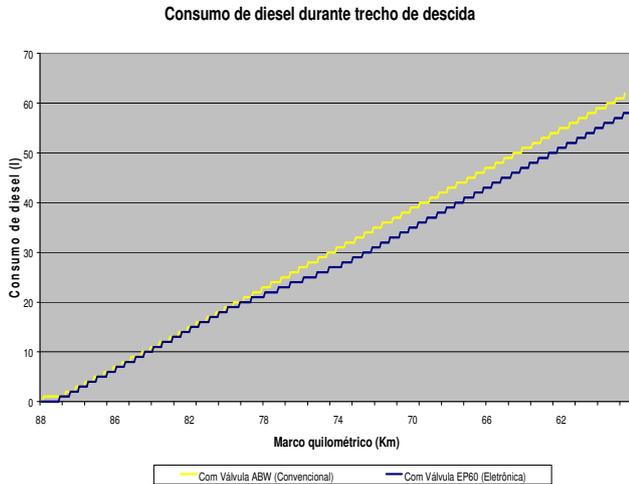


Gráfico 3 - Comparação entre consumos. Simulação do trem comum e Locotrol.

É possível observar por esses gráficos que devido ao tipo de condução utilizada na simulação de tração simples o uso de válvula eletrônica nesse trecho não influenciou de forma significativa no resultado do consumo final de combustível.

2. *Choques de tração e compressão*

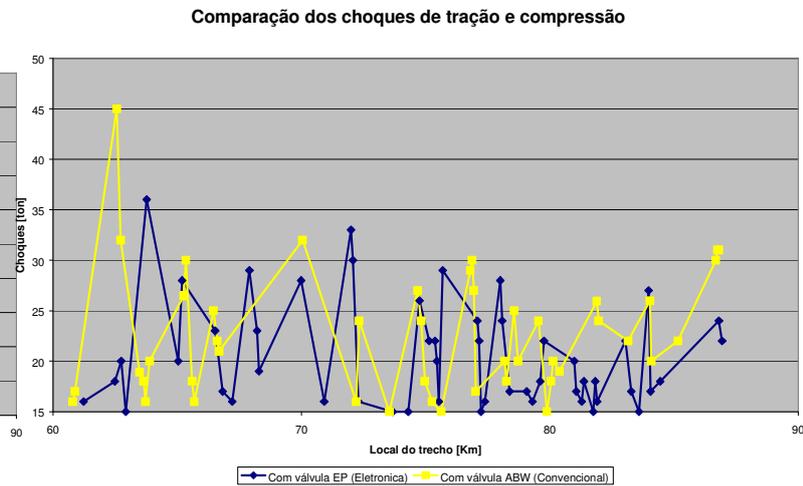
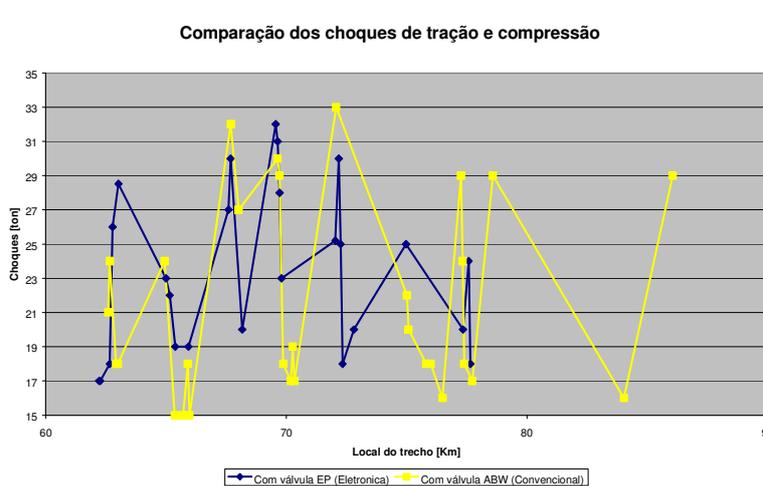


Gráfico 4 - Comparação entre choques (com e sem Válvula eletrônica). Tração simples e Locotrol.

Os choques ocorridos durante as simulações mostraram-se abaixo do permitido pelas normas da AAR nas duas simulações, não havendo diferença significativa para o caso do uso da válvula eletrônica nesse trecho.

Na simulação do Locotrol é possível observar uma grande redução no número de choques em relação ao trem convencional, porém o uso do freio não influenciou diretamente nesse resultado.

3.2.3 Simulações de emergência

Para as simulações de emergência foram feitos testes com tração simples em perfil de linha em nível e em rampa além de testes com tração distribuída em rampa. Foram analisados os dados de desaceleração, choques, tempo e distância de parada em todas as simulações.

1 Trem tração simples em nível

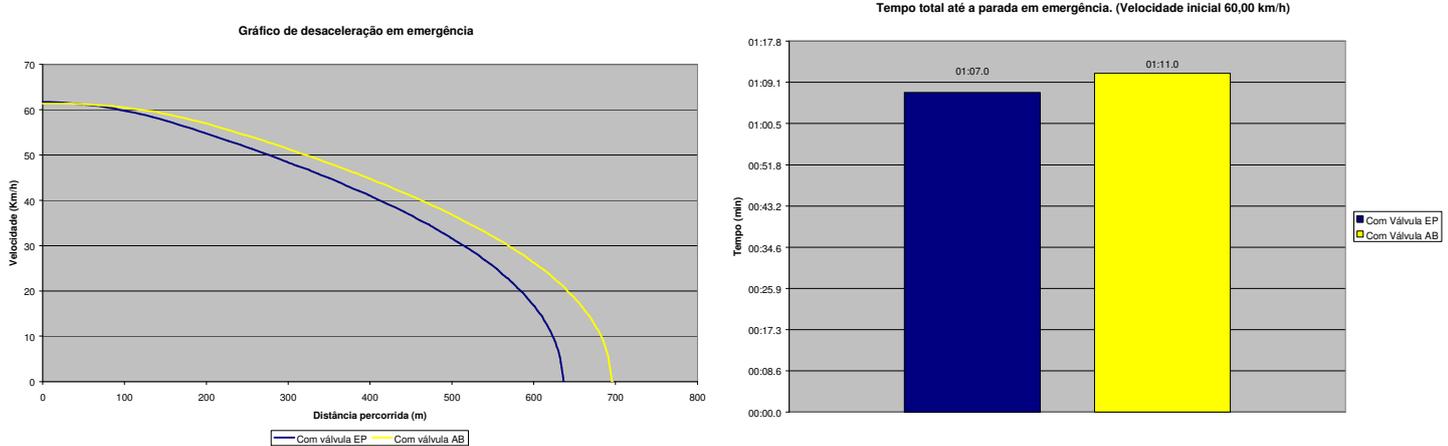


Gráfico 5 – Comparativo da distância percorrida até a parada total no acionamento de emergência e comparativo de tempo decorrido até a parada total no acionamento de emergência.

É possível observar um forte ganho na distância e no tempo total de parada com a utilização da válvula eletrônica. Isso ocorre, pois a aplicação do freio com a válvula eletrônica ocorre instantaneamente em todo o trem. Esse resultado mostra melhora na segurança da operação devido ao uso da válvula EP.

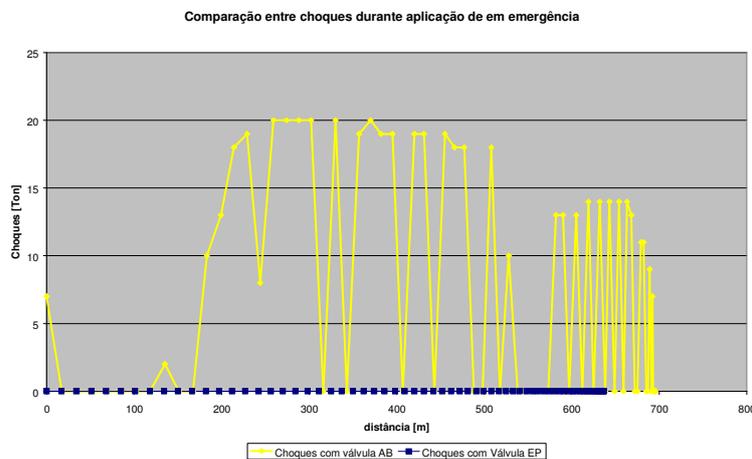


Gráfico 6 – Comparação entre choques (com e sem Válvula eletrônica). Emergência em nível

Os choques ocorridos durante as simulações foram nulos com a utilização da válvula de freio eletrônica. Isso se deve ao fato da válvula eletrônica permitir que a aplicação do freio ocorra no mesmo instante para todos os vagões da composição. O que não acontece na válvula AB devido ao fluxo de ar que leva alguns segundos para se deslocar por toda a composição gerando choques no trem.

1. *Trem convencional em rampa descendente*

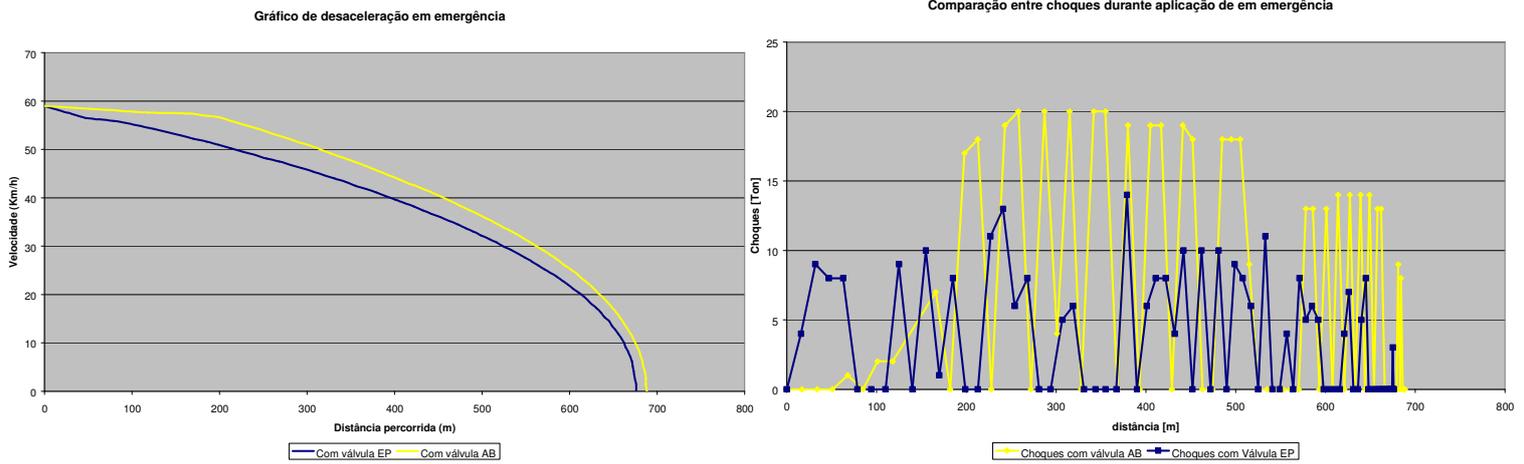


Gráfico 7 – Comparativo da distância percorrida até a parada total no acionamento de emergência e comparação entre choques (com e sem Válvula eletrônica). Emergência em rampa

3. *Trem Locotrol em rampa descendente*

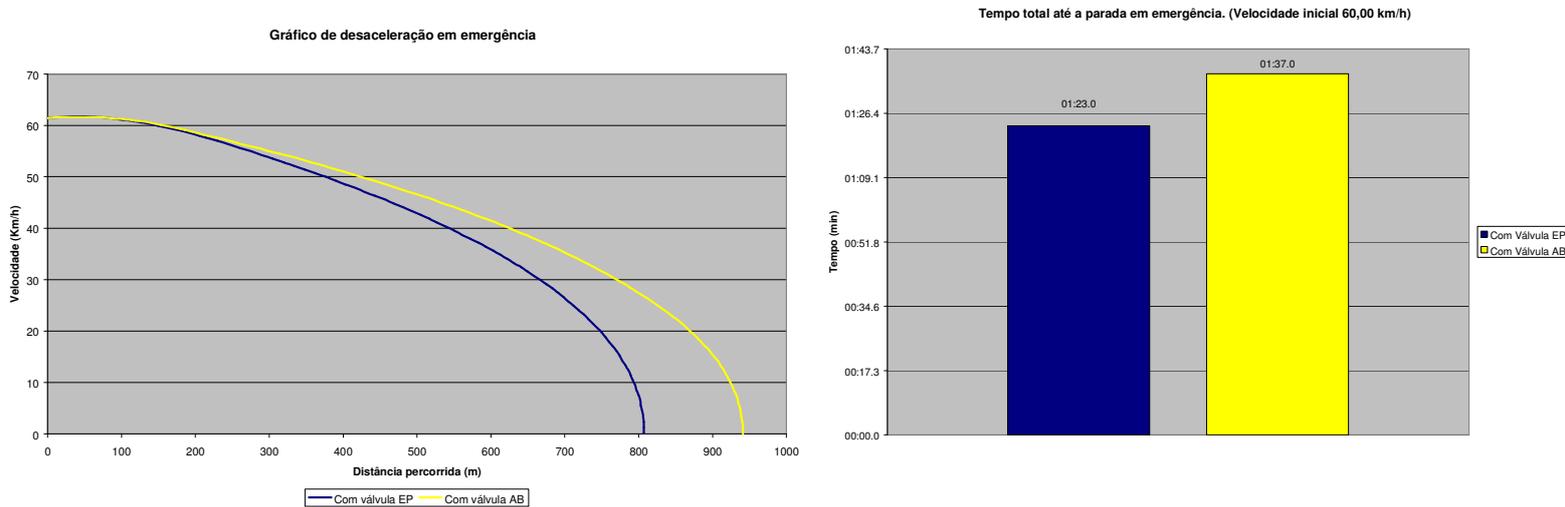


Gráfico 8 – Comparativo da distância percorrida até a parada total no acionamento de emergência em rampa e Comparativo de tempo decorrido até a parada total no acionamento de emergência em rampa descendente. (Trem Locotrol)

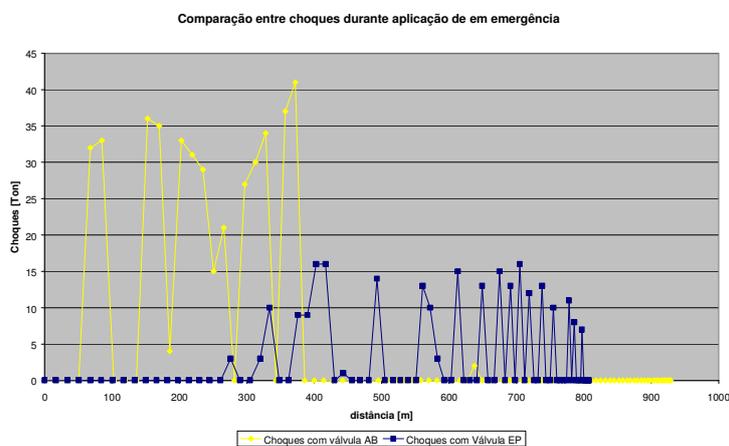


Gráfico 9 – Comparação entre choques (com e sem Válvula eletrônica). Emergência em rampa Locotrol

Mesmo em rampas descendentes é possível verificar a melhora nos choques e na desaceleração do trem quando em emergência

3.3 Resumo Geral das Simulações

Na tabela 1 pode-se visualizar o resumo com os ganhos nos trechos simulados em função da utilização da válvula de freio eletrônica nos vagões GDE-EFVM.

Tabela 1. Resumo dos ganhos obtidos com a utilização de válvulas eletrônicas (EP)

Resumo dos resultados					
DD a TU (KM 500 ao 400)					
Trem: 2 Dash + 160 vagões carregados (Tração simples)					
	Choque Máximo [ton]	Consumo [litros]	Tempo total [min]	Tempo de parada [s]	Distância de parada [m]
C/ Freio Eletronico	24	963	113.50	-	-
Freio convencional	40	993	112.20	-	-
Ganho em %	66.67%	3.12%	-1.15%	-	-
Trem: 2 Dash + 160 vagões carregados (Tração simples)					
	Choque Máximo [ton]	Consumo [litros]	Tempo total [min]	Tempo de parada [s]	Distância de parada [m]
C/ Freio Eletronico	33	430	58.20	-	-
Freio convencional	40	460	59.50	-	-
Ganho em %	21.21%	6.98%	2.23%	-	-
FZA a CS (KM 90 a 60)					
Trem: 2 Dash + 160 vagões + 80 vagões carregados (Tração Locotrol)					
	Choque Máximo [ton]	Consumo [litros]	Tempo total [h:min:s]	Tempo de parada [s]	Distância de parada [m]
C/ Freio Eletronico	32	60	37.50	-	-
Freio convencional	33	63	37.12	-	-
Ganho em %	3.13%	5.00%	-1.01%	-	-
Trem: 2 Dash + 160 vagões carregados (Tração simples)					
	Choque Máximo [ton]	Consumo [litros]	Tempo total [min]	Tempo de parada [s]	Distância de parada [m]
C/ Freio Eletronico	36	15	36.50	-	-
Freio convencional	45	15.2	41.10	-	-
Ganho em %	25.00%	1.33%	12.60%	-	-
Emergências					
Tração simples em nível					
	Choque Máximo [ton]	Consumo [litros]	Tempo total [min]	Tempo de parada [s]	Distância de parada [m]
C/ Freio Eletronico	0	-	-	67	637
Freio convencional	20	-	-	71	692
Ganho em %	Ganho Ótimo	-	-	5.97%	8.63%
Tração simples em rampa					
	Choque Máximo [ton]	Consumo [litros]	Tempo total [min]	Tempo de parada [s]	Distância de parada [m]
C/ Freio Eletronico	14	-	-	71	670
Freio convencional	20	-	-	77	690
Ganho em %	42.86%	-	-	8.45%	2.99%
Tração Locotrol em rampa					
	Choque Máximo [ton]	Consumo [litros]	Tempo total [min]	Tempo de parada [s]	Distância de parada [m]
C/ Freio Eletronico	16	-	-	83	810
Freio convencional	42	-	-	97	940
Ganho em %	162.50%	-	-	16.87%	16.05%

4. CONCLUSÃO

Para as simulações em trecho foi possível observar um ganho importante no consumo de combustível pela utilização da válvula eletrônica, estes chegaram a alcançar quase 7% em alguns casos. Os resultados mostraram também a importância de se estudar a operação de um novo equipamento antes de iniciar a sua utilização. A forma de condução do trem é muito alterada quando uma válvula do tipo EP é colocada na composição. Por esse motivo mais estudos sobre a operação de trens com a utilização dessa válvula devem ser feitos. Os choques podem ser reduzidos se a operação for padronizada para esse tipo específico de equipamento, o que não foi feito nesse trabalho. Não foi encontrada relação de ganho no transit time em função da alteração da válvula, isso pode ter sido influenciado pela falta de experiência do operador em válvulas do tipo pneumática.

Durante os testes de emergência os ganhos foram ainda mais expressivos. As reduções de tempo e distância de parada chegaram a 15% e estas são importantes para a segurança da operação e a redução de choques durante a frenagem pode evitar alguns acidentes.

Em geral os ganhos alcançados com a utilização da válvula eletrônica nos vagões da EFVM foram muito bons e mostram uma possibilidade de melhoria muito grande dentro da operação da Vale do Rio Doce. No entanto é necessário ressaltar que esses ganhos foram medidos apenas para os trechos de rampa, não sendo esse ganho o mesmo em todos os trechos da ferrovia. Para termos esses dados mais elaborados torna-se necessário um estudo mais abrangente e que inclua testes em campo com protótipos reais para validação das simulações teóricas.

Outros benefícios da válvula eletro pneumática não foram apresentados neste trabalho. Entre eles podemos citar o aumento das velocidades máximas do trecho devido a rápida resposta dos freios, menor desgaste de sapatas, rodas e engates, além dos ganhos em tempo de manutenção.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, Roberto Spinola. Estudo da dinâmica longitudinal de um trem. Universidade Estadual de Campinas, 1993.
- BARBOSA, Roberto Spinola, Tratado de Estradas de Ferro Material Rodante, Capítulo 4 Dinâmica de Veículos ferroviários. Editores: José Eduardo S. Castello Branco & Ronaldo Ferreira. Rio de Janeiro, 2000.
- BRINA, Helvécio L, Estradas de Ferro – Volume 1. Belo Horizonte: Ed UFMG, 1988
- BUCHTER, Randy. Electronically Controlled Pneumatic brakes being used on various railroads in the US. <http://www.railway-technical.com>, Upgraded in March 2005.
- HAY, W, Railroad Engineering, Second Edition. John Wiley & Son's INC. New York. USA, 2003
- MAGALHÃES, Paulo César Barroso, Tratado de Estradas de Ferro Material Rodante Capítulo 2 - Limites para Tração Múltipla. Editores: José Eduardo S. Castello Branco & Ronaldo Ferreira. Rio de Janeiro, 2000.
- ROZA, Leopoldo Corrêa, Tratado de Estradas de Ferro Material Rodante, Capítulo 1 Teoria da Tração. Editores: José Eduardo S. Castello Branco & Ronaldo Ferreira. Rio de Janeiro, 2000.

STUDY OF THE POSSIBLE ENERGY AND OPERATIONAL GAIN DUE TO USE OF ELECTRO PNEUMATIC VALVES IN CARS OF CONSISTS IN VITÓRIA-MINAS RAILROAD.

Ricardo Penna de Azevedo Filho

Companhia Vale do Rio Doce. Rua Sapucaí 383, Térreo, Floresta, Belo Horizonte, MG – CEP 30150-904
Email: Ricardo.Penna@CVRD.com.br

Fabiano Medeiros de Oliveira

Companhia Vale do Rio Doce. Rua Sapucaí 383, Térreo, Floresta, Belo Horizonte, MG – CEP 30150-904
Email: Fabiano.oliveira@CVRD.com.br

Abstract: *The main objective of this paper is to find the differences and possible gains in the dynamics of a train due to the use of electro pneumatic valves of type EP in the cars of consists in the EFVM (Vitória-Minas Railroad, Brazil) through simulation in softwares. Initially the main descending routes of the EFVM had been described. With this information two types of simulation had been made: Simulation of standard operation in the described routes and emergency simulation. For each one of these simulations the results for the use of AB valves (Pneumatics) and EP valves (Electro Pneumatic) had been compared. Different kinds of consists had been created in agreement of existing type train in the railroad, being created trains of 160 and 240 wagons with simple and distributed traction. The simulations had been made using software TDS5000 of company NYAB and TEM 3,2 by the TTCI. All the simulations had occurred inside of the CEPET installations (Center of Research and Railroad Training) in the Vale do Rio Doce Company, Belo Horizonte, Brazil. The resultant data of the simulations had been treated and the main parameters analyzed aiming at gains in two mainly aspects: Security and consumption. For security train analysis the tractive and compression run in/out data, L/V, distance and stopped time in emergency had been collected. For consumption analysis the fuel consumption rate and transit time had been searched during the simulations in the descending routes with strong use of brake.*

Keywords: *Electro Pneumatic valves, railroad, fuel consumption, simulation, operational profits.*