

CATEGORIA 3

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO DE TRAÇÃO DAS LINHAS OPERACIONAIS DA CPTM

INTRODUÇÃO

Diante dos avanços computacionais, a simulação de sistema de tração elétrica de trens foi amplamente adotada como ferramenta de engenharia durante o projeto e desenvolvimento de sistemas ferroviários novos e existentes, consolidando-se como forma mais barata para realizar previsões de desempenho e característica de comportamento dos sistemas (Goodman, et al., 1998).

Em meados da década de 90 e início dos anos 2000 houve modificação notória de ferramenta de simulação que na área acadêmica se deu através do software Matlab/Simulink, já comercialmente foram desenvolvidos outras ferramentas, como por exemplo o programa ELBAS – Sinanet (Pires, 2013).

Este artigo tem por objetivo apresentar os recursos do software de simulação do sistema elétrico de tração, destacando alguns estudos elaborados referentes a alteração de frota operacional e configuração de parâmetros do material rodante, demonstrando como a

ferramenta de simulação pode auxiliar em decisões assertivas, prevendo e antecipando desempenhos e comportamentos dos sistemas operacionais e elétricos e, portanto, economizando tempo e custo em testes.

Para estudos de simulação computacional do sistema elétrico de tração das linhas operacionais da CPTM foi utilizado o pacote de simulação ELBAS-Sinanet. Este pacote é constituído de um conjunto de ferramentas numéricas, com a funcionalidade de simulação de redes ferroviárias de curta e longa distância operadas em corrente contínua, permitindo a simulação de uma ou várias linhas e suas derivações (SIGNON Deutschland GmbH, 2020). As simulações apresentadas neste trabalho foram divididas entre os sistemas das linhas 7 – Rubi e 10 – Turquesa e os sistemas das linhas 11 – Coral, 12 – Safira e 13 - Jade.

METODOLOGIA

A ferrovia é um dos meios mais populares de transporte de massa. Todo sistema ferroviário é único em termos de especificações técnicas e serviços disponíveis, pois é construído de acordo com suas próprias demandas sociais, recursos financeiros, restrições geográficas (Ho, et al., 2002).

No entanto, um sistema ferroviário consiste em vários subsistemas, como movimentação de trens e fornecimento de energia e tração, que inevitavelmente contêm muitas complexidades e diversidades. Esses subsistemas interagem entre si

enquanto os trens estão circulando e possuem características especiais em diferentes sistemas ferroviários (Goodman, et al., 1998).

Por se tratar de uma atividade com grande exigência computacional, simulou-se um período operacional reduzido de duas horas, período suficiente para representar de forma adequada o período de pico quando temos a maior exigência do sistema. Os dados obtidos, contudo, são utilizados para inferir situações operacionais abrangentes de onde pode-se estimar o comportamento dos sistemas elétricos envolvidos.

Como dados de entrada são inseridas informações de geometria de via (estações, velocidade máxima, cautelas no trecho, paradas, gradientes, curvas, secções de via singela, secção em túnel), sistema de alimentação (subestações, cabines seccionadoras, cabos alimentadores, fios de contato, vias, pontos de isolação), material rodante e informações operacionais (SIGNON Deutschland GmbH, 2020). Para o nosso estudo, foram utilizados dados de saída como: consumo, potência, corrente, tensões, gráfico horário, entre outros.

Inicialmente as linhas foram modeladas e simuladas conforme operação vigente. Para validá-las, os resultados são comparados com registros de consumo e demanda das subestações, e com o tempo de viagem. Após a validação do modelo, o sistema foi simulado de acordo com o objeto de estudos propostos:

- Alteração de frota trens série 2100 por trens série 7000 na Linha 10 – Turquesa da CPTM e;
- Alteração de potência (plena x reduzida) nos trens da Linha 12 – Safira da CPTM.

Dessa forma é possível levantar os impactos que essas alterações provocariam no sistema elétrico de tração, subsidiando a análise de sua viabilidade.

ESTUDO 1

DIAGNÓSTICO – ESTUDO 1

A simulação apresentada no estudo 1 abrange os sistemas das linhas 7 – Rubi e 10 – Turquesa que são mutuamente influenciados devido à sua interligação física. A tabela 1 apresenta a relação e características básicas das subestações, enquanto a figura 1 apresenta a localização das subestações e cabines seccionadoras ao longo das linhas.

Tabela 1 - Relação de subestações das Linhas 7 e 10

Subestação	Sigla	Alimentação	Tensão de entrada	Potência Instalada
Campo Limpo	CLP	Subestação FMO	34,5kV	4MW
Francisco Morato	FMO	Concessionária Elektro	138 kV	9MW
Caieiras	CAI	Subestação FMO	34,5kV	9MW
Jaraguá	JRG	Subestação TIE	34,5kV	8MW
Tietê	TIE	Concessionária Enel	88 kV	8MW
Pari	PAR	Concessionária Enel	88 kV	12MW
São Caetano	SCT	Concessionária Enel	88 kV	12MW
Mauá	MAU	Subestação SCT	34,5kV	8MW

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

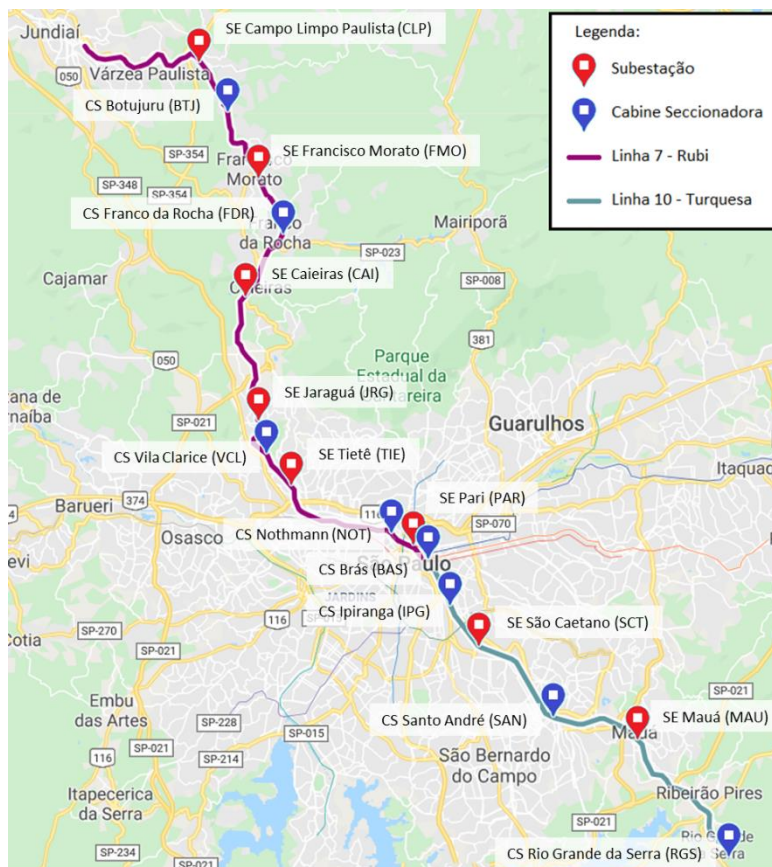


Figura 1 - Localização das subestações e cabines primárias Linhas 7 e 10

Com o intuito de melhorar a qualidade da viagem do usuário da Linha 10, a CPTM planejou o remanejamento da nova frota de trens série 7000 (figura 2), em substituição aos trens série 2100 (**figura 3**). Dessa forma, para estimar os impactos ao sistema de energia, foram realizadas simulações com a substituição de material rodante.

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 2 - Trem série 7000



Figura 3 - Trem série 2100

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



A tabela 2 apresenta algumas características dos trens série 2100 em comparação aos série 7000 que ainda são complementadas pelas figuras 4, 5, 6, 7, 8 e 9.

Tabela 2 - Características dos trens série 2100 e 7000

Característica	Série 2100	Série 7000
Ano de Fabricação	1974 / 1977	2009
Comprimento total	159,244 m	170,128 m
Massa total	300.000 kg	358.148 kg
Esforço Trator	12.960 kgf	28.300 kgf
Potência Nominal por TUE (Contínua)	1.275 kW	2.414 kW
Aceleração Máxima por TUE	0,40 m/s ²	0,90 m/s ²
Desaceleração Max. Freio de Serviço por TUE	0,80 m/s ²	1,10 m/s ²
Lotação TUE	925	1004
Frenagem Regenerativa	Não	Sim



Figura 4 - Composição do Material Rodante série 7000

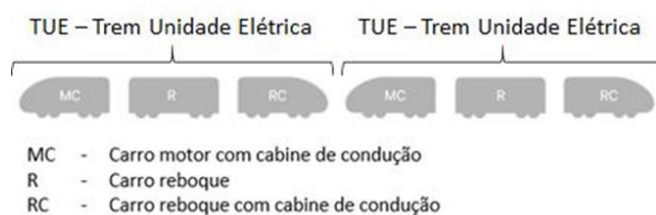


Figura 5 - Composição do Material Rodante série 2100

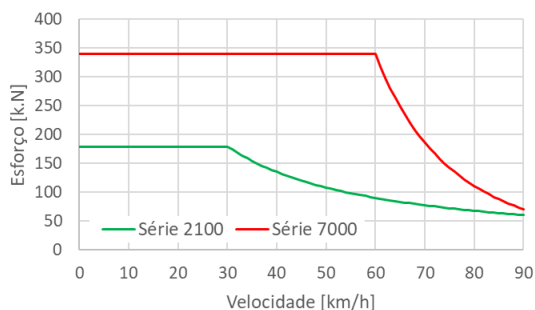


Figura 6 - Esforço tração - Série 2100 x Série 7000

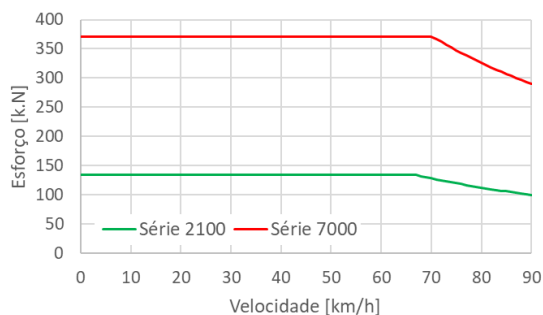


Figura 7 - Esforço frenagem - Série 2100 x Série 7000

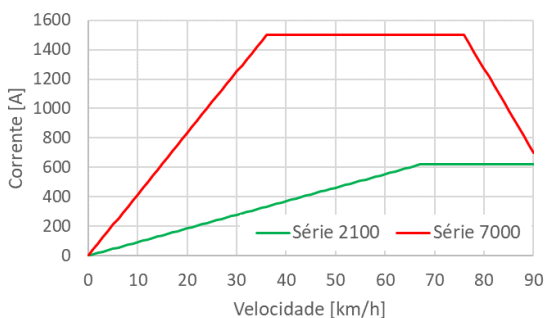


Figura 8 - Corrente tração - Série 2100 x Série 7000

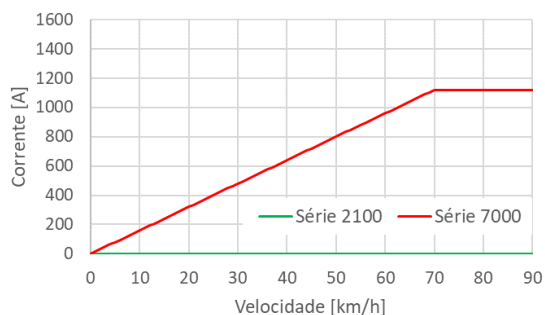


Figura 9 - Corrente frenagem - Série 2100¹ x Série 7000

ANÁLISE DA SIMULAÇÃO – ESTUDO 1

Foram simulados os sistemas das linhas 7 e 10, e comparadas os perfis de consumo, demanda, correntes máximas e médias e tensão, com a linha 10 na situação vigente (trens série 2100), bem como na situação em estudo (trens série 7000).

¹ A corrente de frenagem do trem série 2100 é nula, pois o mesmo não possui sistema de frenagem regenerativa. Toda a corrente gerada na frenagem é consumida através de um banco de resistências instalado na própria composição.

Consumo e demanda

Os dados de consumo obtido através das simulações, são demonstrados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, de forma comparativa entre série 2100 (situação vigente) e série 7000 (em estudo). Indicando que a renovação da frota operacional implica em uma potencial economia de aproximadamente 24% no consumo de energia.

Tabela 3 - Comparação com consumo simulado série 2100 x série 7000

Subestação	Consumo simulado 2 horas de operação		Variação [%]
	Série 2100 [kWh]	Série 7000 [kWh]	
Pari	11.598,3	9.574,5	-17,45
São Caetano	10.045,8	6.136,1	-38,92
Mauá	13.981,4	11.353,6	-18,79
Total	35.625,5	27.064,2	-24,03

Assim como para os dados de consumo, foram obtidos os valores de demanda simulada e os resultados estão demonstrados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Indicando que a renovação da frota operacional implica em um potencial na redução de demanda de aproximadamente 9%, mostrando ainda que a demanda contratada das subestações das Linhas 7 e 10 é suficiente para a nova configuração não incorrendo em ultrapassagens de demanda contratada.

Tabela 4 - Comparação com demanda simulada da série 2100 x série 7000

Subestação	Demanda solicitada simulada		Variação [%]
	Série 2100 [kW]	Série 7000 [kW]	
Pari	6.663,7	5.966	-10,48
São Caetano	5.138,9	4.147	-19,29
Mauá	7.319,6	7.271	-0,67
Total	19.122,2	17.383,7	-9,09

Corrente e tensão

Devido à nova característica de carga (trens série 7000) a simulação apontou correntes superiores em comparação às anteriores (trens série 2000). A regeneração de energia do trem série 7000, ocasionou corrente em sentidos não comuns aos trens sem regeneração (caso do trem série 2000), criando um novo cenário.

As figuras **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e 11 apresentam as correntes médias ao longo da Linha 10 – Turquesa, para as duas vias, para o trem série 2100 e para o trem série 7000, respectivamente.

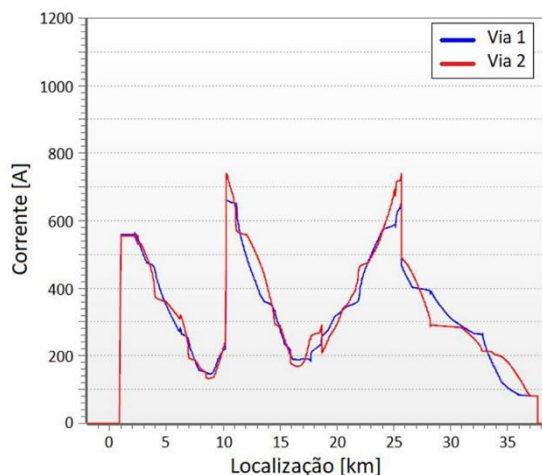


Figura 10 – Correntes médias ao longo da Linha 10 com trem série 2100

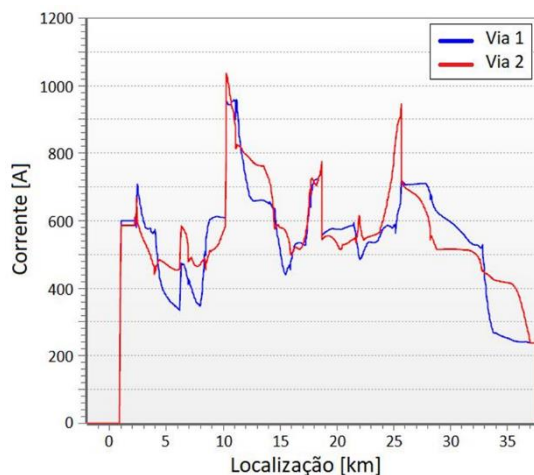


Figura 11 - Correntes médias ao longo da Linha 10 com trem série 7000

Já as figuras **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresentam as correntes máximas ao longo das vias para os trens série 2100 e série 7000 respectivamente.

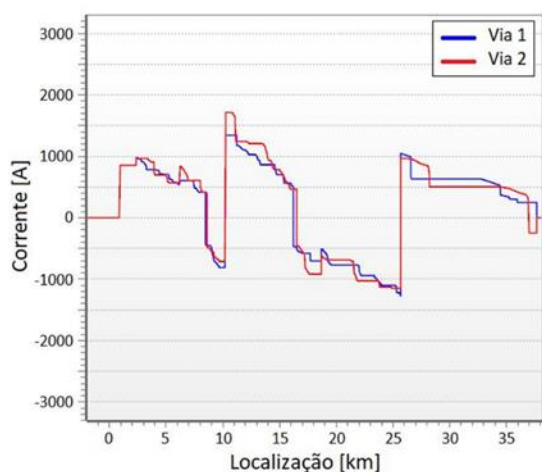


Figura 12 – Correntes máximas ao longo da Linha 10 com trem série 2100

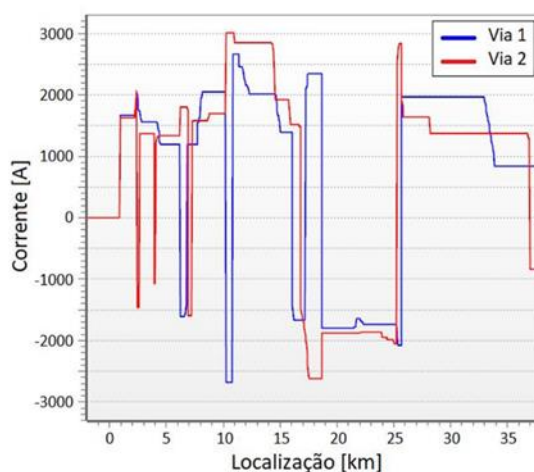


Figura 13 - Correntes máximas ao longo da Linha 10 com trem série 7000

Apesar da alteração no perfil de circulação de corrente na linha, os valores máximos e médios de corrente não ultrapassaram a capacidade dos disjuntores de tração existentes ou a capacidade de condução de corrente dos condutores da rede aérea. As informações de corrente máxima e calibração de disjuntores de tração são apresentadas na tabela 5.

Tabela 5 - Valores de corrente máxima durante a simulação

LOCAL	Calibração [A]	Corrente máxima [A]
Cabine Seccionadora Rio Grande da Serra	2.000	907,9
Subestação Mauá	3.000	2.462,4
Cabine Seccionadora Santo André	3.000	2.173,9
Subestação São Caetano	3.200	2.287,1
Cabine Seccionadora Ipiranga	2.900	1.375,7
Subestação Pari	3.000	1.969,6
Cabine Seccionadora Brás	2.800	1.803,6
Cabine Seccionadora Nothmann	3.000	2.270,7

Durante a análise de tensão ao longo da linha, nenhuma atuação por subtensão foi detectada nas simulações e os gráficos de tensões mínimas são apresentados nas figuras 14 e 15.

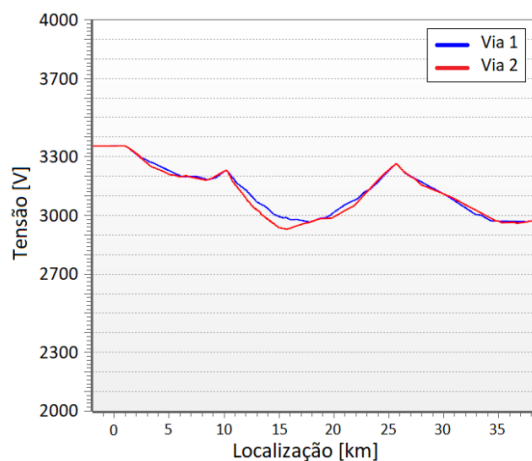


Figura 14 - Tensões mínimas ao longo da Linha 10 para trem 2100

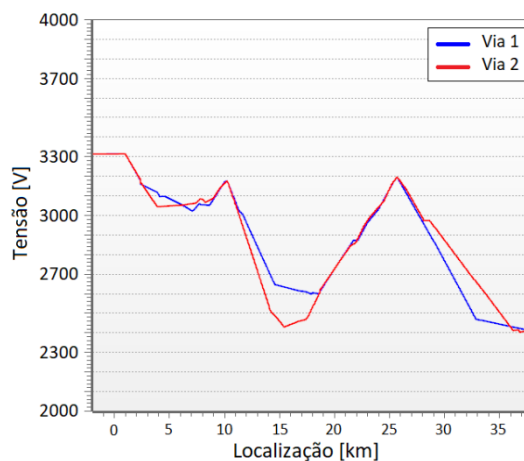


Figura 15 - Tensões mínimas ao longo da Linha 10 para trem 7000

RESULTADOS – ESTUDO 1

Com os resultados da simulação, verificou-se que apesar da maior potência nominal do trem série 7000 em comparação ao série 2100, tanto a potência instalada quanto a demanda contratada das subestações eram o suficiente para a nova configuração, que o consumo de energia ainda seria menor, devido regeneração de energia, maior aceleração e desaceleração e demais características construtivas da frota mais moderna.

Verificou-se também que não haveria atuações por subtensão na rede e que a capacidade dos disjuntores e dos condutores da rede aérea de tração estavam adequados à nova corrente.

Em posse dessas informações, a CPTM confirmou que as instalações, equipamentos e contratos de energia estavam aptos a alteração de frota e a implantou em julho de 2019.

Antes da alteração, no entanto, decidiu-se em conjunto às equipes de manutenção e operação da CPTM que devido aumento no valor das correntes máximas, seria prudente o ajuste na calibração dos disjuntores de tração em uma das subestações, compatibilizando-os dessa forma, com a nova corrente circulante e mantendo a proteção ao sistema elétrico. Também foi recomendada a realização de medições em períodos de pico durante a etapa inicial da nova operação para uma análise mais assertiva.

Após a alteração de frota, foram analisados os valores de consumo e demanda registrados pela concessionária, dados esses que corroboraram com os resultados da simulação e estão apresentados nas tabelas 4 e 7 respectivamente.

A subestação Mauá é subalimentada pela subestação São Caetano, e assim, para fins de comparação com o medidor da concessionária, os valores simulados destas duas instalações foram somados.

Tabela 6 - Comparação com consumo registrado

Subestação	Consumo em 2 horas de operação		Erro [%]
	Simulado [kWh]	Registrado [kWh]	
Tietê	12.921,8	13.268	2,68
Pari	9.574,5	9.949,1	3,91
São Caetano e Mauá	17.489,7	17.999,0	2,91
Total	3.9986	41.216,1	3,08

Tabela 7 - Comparação com demanda registrada

Subestação	Demanda solicitada		Erro [%]
	Simulado [kW]	Registrado [kW]	
Tietê	9.713,9	8.265	-14,92
Pari	5.965,5	5.282	-11,47
São Caetano e Mauá	11.418,2	10.051	-11,97
Total	27.097,6	23.597,5	-12,92

Nota-se que os valores de demanda simulada apresentam erros (de até 15%) muito maiores que os valores de consumo simulado (erros em torno de 3%). Estes valores possivelmente são decorrentes da simulação considerar uma operação padronizada. Na prática os valores de demanda são bastante sensíveis às variações temporais de corrente elétrica, decorrentes, por exemplo, da maneira com que cada maquinista acelera ou desacelera a composição, resultando em valores com grande variância.

ESTUDO 2

DIAGNÓSTICO – ESTUDO 2

A simulação apresentada no estudo 2 abrange os sistemas das linhas 11 – Coral, 12 – Safira e 13 – Jade que são mutuamente influenciados devido à sua interligação física. A tabela 8 apresenta a relação e características básicas das subestações, enquanto a figura 16 apresenta a localização das subestações e cabines seccionadoras ao longo das linhas.

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Tabela 8 - Relação de subestações das Linhas 11, 12 e 13

Subestação	Sigla	Alimentação	Tensão de entrada	Potência Instalada
Pari	PAR	Concessionária Enel	88 kV	12MW
Engenheiro São Paulo	ISP	Subestação PAR	34,5kV	12MW
Patriarca	PTR	Concessionária Enel	88 kV	9MW
Itaquera	ITQ	Concessionária Enel	88 kV	9MW
Guaianazes	GUA	Subestação CVN	34,5kV	8MW
Calmon Viana	CVN	Concessionária EDP	88 kV	9MW
Braz Cubas	BCB	Concessionária EDP	88 kV	6MW
Eng. Sebastião Gualberto	SGU	Concessionária Enel	88 kV	6MW
Ermelino Matarazzo	ERM	Concessionária Enel	88 kV	9MW
Engenheiro Manoel Feio	EMF	Concessionária EDP	88 kV	8MW
Engenheiro Goulart	EGO	Subestação AYR	34,5kV	16MW
Ayrton Senna	AYR	Concessionária EDP	88 kV	8MW
Aeroporto	AGU	Subestação AYR	34,5kV	8MW

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

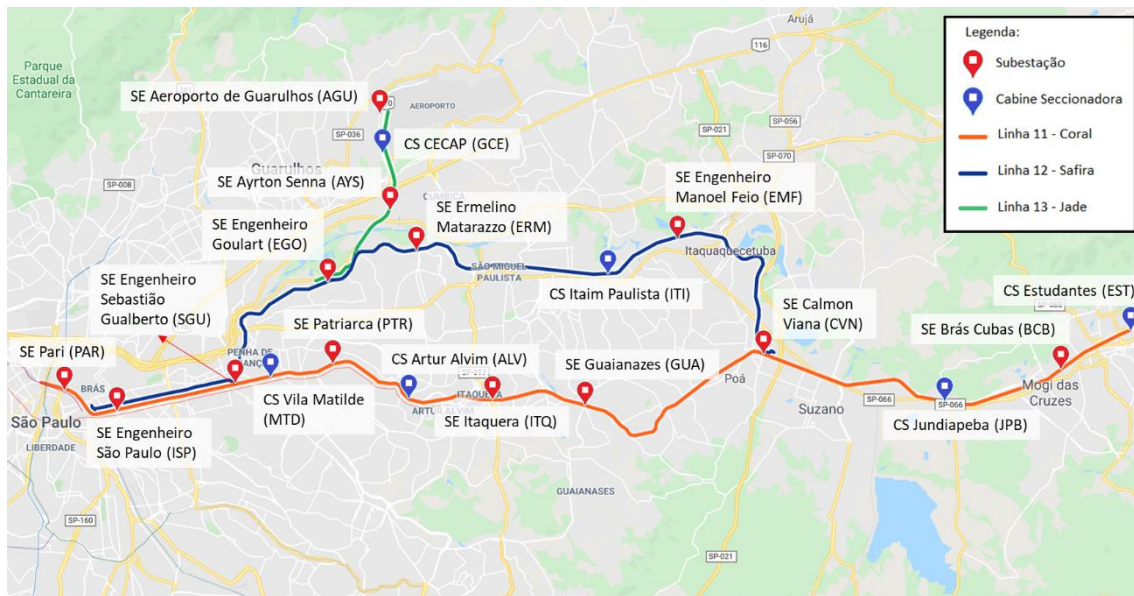


Figura 16 - Localização das subestações e cabines primárias Linhas 11, 12 e 13

Com o intuito de diminuir o tempo de viagem da Linha 12 – Safira da CPTM, propôs-se a simulação com alteração de potência reduzida para potência plena dos trens que são utilizados nessa linha.

Nesta linha circulam os trens série 7000 (figura 2), série 2000 (figura 17) e série 2070 (figura 18). Para fins deste estudo a série 2000 e 2070 receberam a mesma modelagem devido as características elétricas equivalentes.

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 17 - Trem série 2000



Figura 18 - Trem série 2070

A seguir algumas características dos trens série 2000, 2070 e 7000 que são complementadas pelas figuras 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26.

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

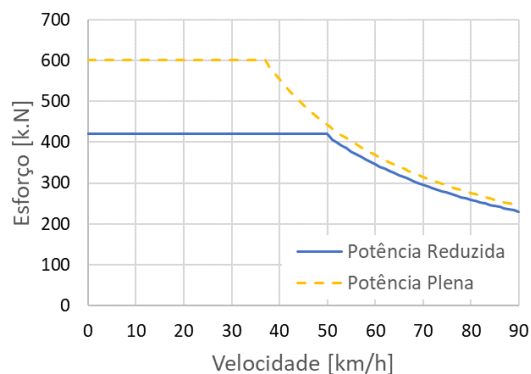


Figura 19 - Esforço tração - Série 2000/2070 – potência plena x reduzida

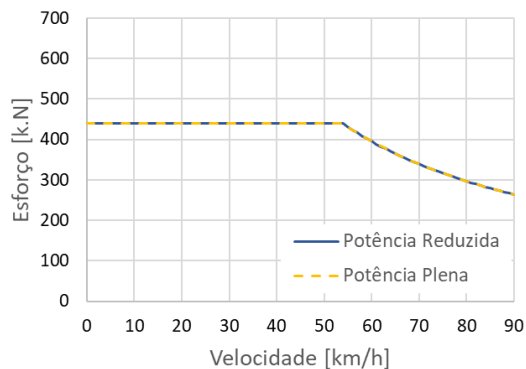


Figura 20 - Esforço frenagem - Série 2000/2070 – potência plena x reduzida

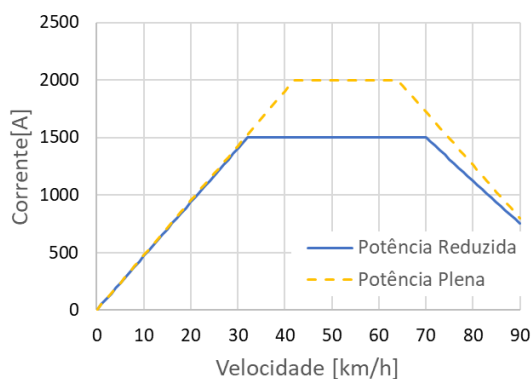


Figura 21 - Corrente tração - Série 2000/2070 – potência plena x reduzida

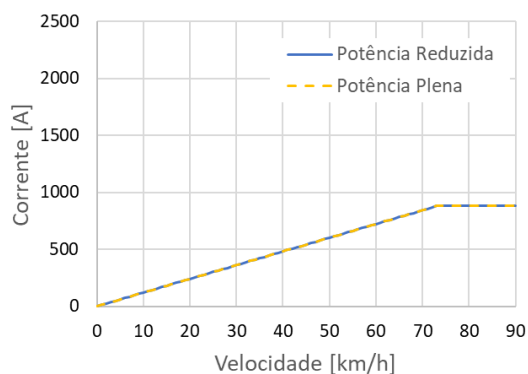


Figura 22 - Corrente frenagem - Série 2000/2070 – potência plena x reduzida

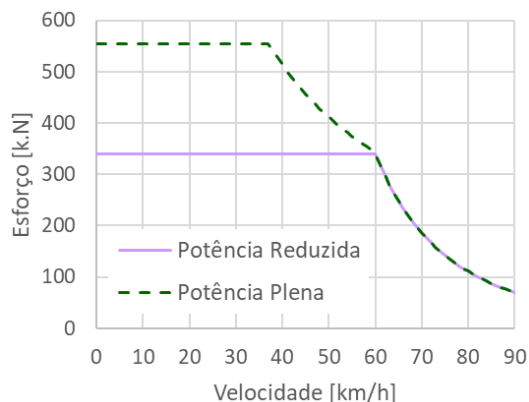


Figura 23 - Esforço tração - Série 7000 – potência plena x reduzida

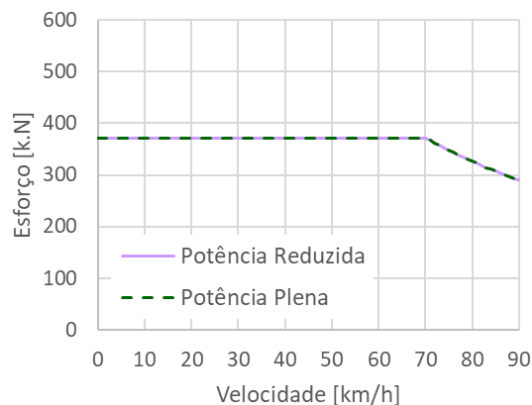


Figura 24 - Esforço frenagem - Série 7000 – potência plena x reduzida

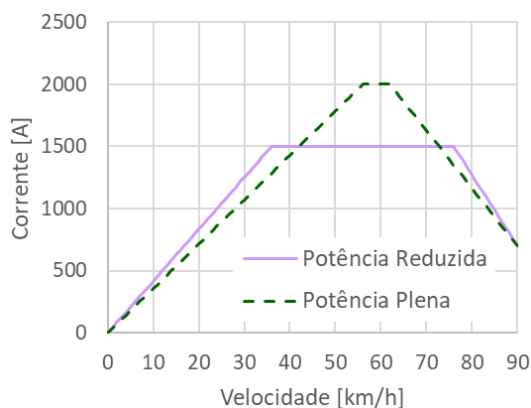


Figura 25 - Corrente tração - Série 7000 – potência plena x reduzida

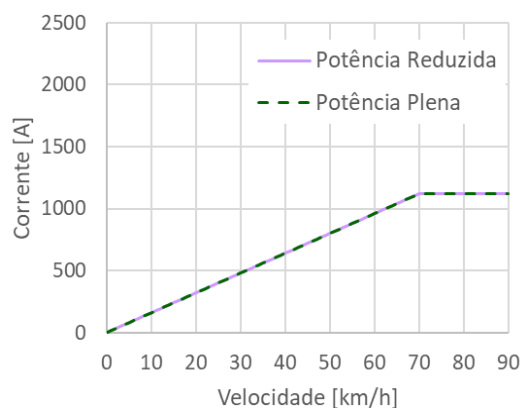


Figura 26 - Corrente frenagem - Série 7000 – potência plena x reduzida

ANÁLISE DA SIMULAÇÃO – ESTUDO 2

A seguir são apresentados os resultados do estudo de comparação da simulação da situação atual (potência reduzida) com a simulação da circulação do material rodante na configuração de potência plena.

Consumo e demanda

As tabelas 9 e 10 comparam os valores de consumo e demanda de energia entre potência plena e potência reduzida para as duas horas de operação simulada respectivamente. A subestação Guaianazes é subalimentada pela subestação Calmon Viana, e assim, para fins de comparação os valores simulados destas duas instalações foram somados.

Tabela 9 - Comparação de consumo potência: reduzida x potência plena

Subestação	Consumo em 2 horas de operação		Aumento [%]
	Potência Reduzida [kWh]	Potência Plena [kWh]	
Sebastião Gualberto	1.232,4	1.457,0	18,22
Ermelino Matarazzo	3.698,5	5.146,2	39,14
Engenheiro Manoel Feio	4.304,6	5.472,8	27,14
Calmon Viana e Guaianazes	11.881,1	12.167,2	2,41

Tabela 10 - Comparação de demanda potência: reduzida x potência plena

Subestação	Demanda em 2 horas de operação		Aumento [%]
	Potência Reduzida [kW]	Potência Plena [kW]	
Sebastião Gualberto	919,3	1.067,80	16,15
Ermelino Matarazzo	2.668,1	3.706,80	38,93
Engenheiro Manoel Feio	2.661,5	3.446,90	29,51
Calmon Viana e Guaianazes	6.787,9	6.949,90	2,39

Corrente e tensão

A seguir gráficos de valores de tensões mínimas, correntes médias e correntes máximas ao longo da linha.

No gráfico de tensões mínimas ao longo da Linha 12 - Safira, para as duas vias, nenhuma atuação por subtensão foi detectada na simulação, com tensão mínima de 3.038 V para trens circulando em potência reduzida conforme figura 27 e 2.899 V em potência plena conforme figura 28 **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Nos gráficos de correntes passamos de valores de corrente média de 518,38 A (figura 29) e corrente máxima de 1.993,5 A (figura 30) ao longo da linha com trens circulando em potência reduzida para corrente média de 592,7 A (figura 31) e corrente máxima de 2.356 A (figura 32) para trens circulando em potência plena.

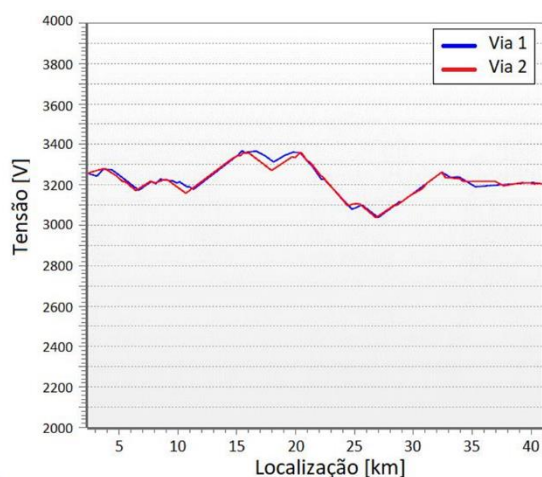


Figura 27 - Tensões mínimas ao longo da Linha 12 para potência reduzida

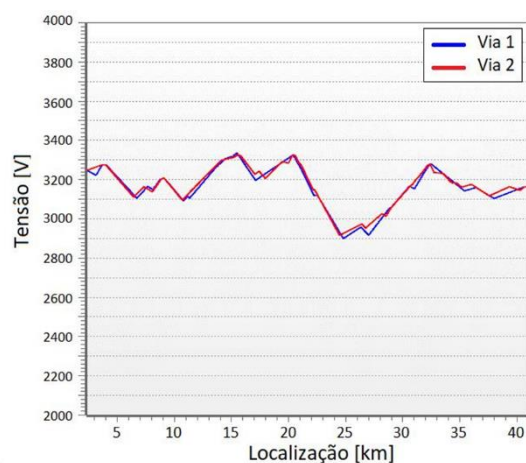


Figura 28 - Tensões mínimas ao longo da Linha 12 para potência plena

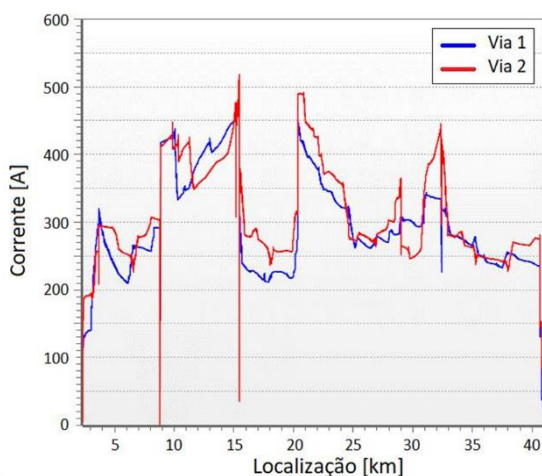


Figura 29 – Correntes médias ao longo da Linha 12 para potência reduzida

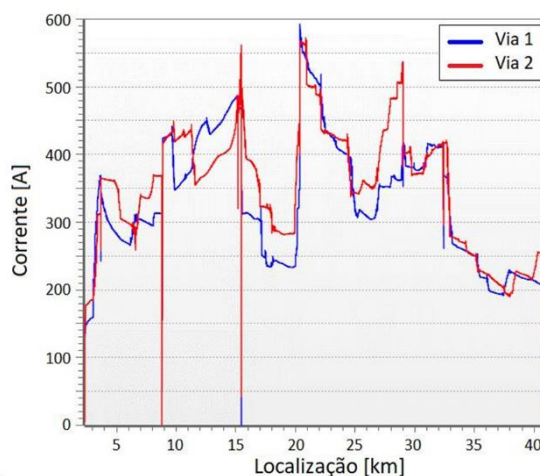


Figura 30 - Correntes médias ao longo da Linha 12 para potência plena

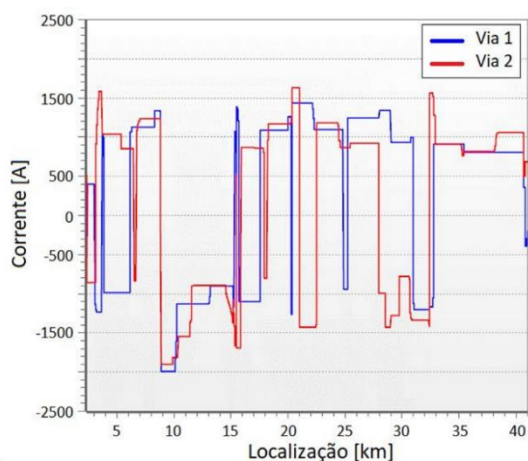


Figura 31 – Correntes máximas ao longo da Linha 12 para potência reduzida

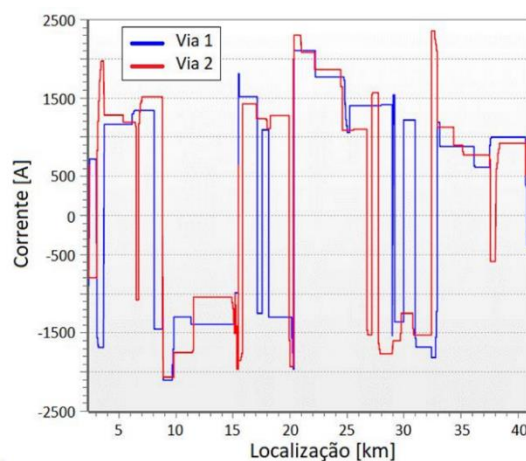


Figura 32 - Correntes máximas ao longo da Linha 12 para potência plena

A tabela 11 compara as correntes máximas nos alimentadores para potência plena e potência reduzida para as duas horas de operação simulada. Demonstrando que a alteração da configuração dos trens para potência plena implica em considerável aumento de correntes instantâneas com grandes chances de desarmes nas subestações Eng. Goulart, Ermelino Matarazzo e Eng. Manoel Feio.

Tabela 11² - Comparação de correntes máximas: reduzida x potência plena

Subestação (SE)/ Cabine seccionadora (CS)	Corrente máxima em 2 horas de operação			
	Potência Reduzida [A]	Potência Plena [A]	Aumento [%]	Calibração dos disjuntores [A]
SE Engenheiro São Paulo	1.629,0	1.971	20,96	3200
SE Sebastião Gualberto	1.826,7	2.105	15,22	2800
CS Engenheiro Goulart	1.307,6	1.508	15,33	2400
SE Engenheiro Goulart	1.522,2	1.810	18,92	2500
SE Ermelino Matarazzo	1.565,1	2.304	47,19	2800
SE Engenheiro Manoel Feio	1.495	2.357	57,64	3000
SE Calmon Viana	1.290,5	1.287	-0,27	3000

² Em destaque são os valores de correntes de pico próximos às calibrações atuais dos disjuntores que deixam pouca margem para as oscilações de circulação ou partidas simultâneas que possam ocorrer.

Tempo de viagem

Com a alteração de potência reduzida para potência plena, nos trens da Linha 12 – Safira, o impacto no tempo de viagem para a linha foi de 21 segundos numa viagem de aproximadamente uma hora por toda sua extensão de quase 39 km, da Estação Brás até a Estação Calmon Viana.

RESULTADOS – ESTUDO 2

Como resultado da simulação verificou-se que, apesar das correntes instantâneas mais altas, acréscimo no consumo e acréscimo de demanda causados nos picos de partida, a redução no tempo de viagem seria insatisfatória. Mostrando-se tal alternativa inconveniente na análise entre vantagens e desvantagens.

A melhora no desempenho operacional proporcionada em termos de ganho no tempo de viagem é irrisória frente aos riscos de desligamentos e transtornos na operação.

Em posse de tais informações, a possibilidade de se utilizar os trens na Linha 12 em potência plena foi descartada.

CONCLUSÕES GERAIS

A simulação computacional do sistema elétrico de tração propiciou resultados que proporcionaram auxílio decisivo nas tomadas de decisão referentes a alterações propostas. Desta forma, mostrou-se uma ferramenta de grande relevância por meio da

apresentação das previsões de consumo, demanda, correntes circulantes e grade horária.

Com o primeiro estudo de caso apresentado foi possível comprovar a viabilidade da alteração da frota operacional da Linha 10 – Turquesa, que posteriormente apresentou valores medidos compatíveis com os resultados da simulação.

Com o segundo estudo de caso apresentado a alteração estudada se mostrou não ser vantajosa e desta forma a simulação foi crucial na tomada de decisão evitando um grande acréscimo de esforço no sistema de alimentação que acarretaria um ganho operacional imperceptível.

A modelagem detalhada dos dados de entrada trouxe uma forte base de informações a ser aproveitados nos posteriores trabalhos de simulação, reduzindo tempo despendido em tais atividades.

Para aprimoramentos do uso das ferramentas de simulação e mais agilidade em futuros estudos, indica-se o desenvolvimento de rotinas de atualização e qualidade dos dados de entrada, como por exemplo, a modelagem atualizada de todos os trens da frota operacional CPTM, viabilizando novos estudos de variação de frotas entre as linhas, otimização do aproveitamento da regeneração de energia, de viabilidade de alterações de circulação, dos impactos de alterações no sistema de alimentação de energia, análise de contingências e expansões da rede.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Goodman C.J., Siu L.K. e Ho T.K. A review of simulation models for railway systems

[Conferência] // International Conference on Developments in Mass Transit Systems. -

London : Copyright 1998 IEEE, 1998.

Ho T.K. [et al.] Computer simulation and modeling in railway applications [Periódico]. -

Computer Physics Communications : ScienceDirect, 2002. - 1-10 : Vol. 143 (1).

Pires Cassiano Lobo Engenharia elétrica ferroviária e metroviária: do trólebus ao trem

de alta velocidade [Livro]. - Rio de Janeiro : LTC, 2013.

SIGNON Deutschland GmbH SIGNON SINAnet and SIGNON WEBAnet [Online] //

SIGNON Tools. - 08 de 06 de 2020. - https://www.elbas.de/sinanetwebanet_e.html.