

UMA ANÁLISE INFERENCIAL SOBRE O IMPACTO DA QUANTIDADE DE LINHAS DE ESPERA EM UM PÁTIO DE CARREGAMENTO NO CICLO DOS TRENS DE MINÉRIO DE FERRO

Jorge Ubirajara Pedreira Júnior (Universidade Federal da Bahia)

jorge.ubirajara@ufba.br

Marcello Calado Vieira de Melo (Ministério dos Transportes)

marcellocalado@yahoo.com.br

Resumo

O caráter restritivo da movimentação dos trens na via férrea constitui um grande desafio ao planejamento da capacidade de transporte ferroviário. Nesse contexto, os terminais ferroviários apresentam-se comumente como gargalo da operação ferroviária. Este trabalho apresenta uma análise estatística dos resultados obtidos a partir da simulação de um modelo de movimentação de trens da Ferrovia de Integração Oeste Leste (FIOL), previamente concebido e validado. Por meio de uma Análise de Variância (ANOVA) realizada no software estatístico Minitab® foi possível investigar a influência do número de linhas auxiliares de espera em um terminal de carregamento de trens de minério de ferro no tempo de ciclo médio destes trens. O presente estudo demonstrou que certos incrementos na oferta de linhas auxiliares no terminal de carregamento podem promover melhorias estatisticamente significativas no tempo de ciclo médio dos trens.

Palavras-chave: Operação Ferroviária; Análise de Variância; Testes de Hipóteses

1. Introdução

A Ferrovia de Integração Oeste Leste (FIOL, EF-334), atualmente em implantação, é um importante empreendimento logístico que terá como objetivo o escoamento mercadorias como minério de ferro e produtos agrícolas (principalmente soja) advindas das regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste do Brasil.

A Figura 1 ilustra a inserção regional desta ferrovia no território nacional. A FIOL inicia-se em Figueirópolis (TO), no km 0, onde haverá um intercâmbio com a Ferrovia Norte Sul (FNS, EF-151). Ao longo de sua extensão, a FIOL atravessa o sudeste do estado do Tocantins e todo o território baiano em direção ao município de Ilhéus (km 1520), onde está prevista a construção do Porto Sul para escoar as mercadorias transportadas por essa ferrovia.

Figura 1 - Traçado da FIOL entre a FNS e o Porto Sul.



Fonte: Adaptado de BRASIL (2010)

Convém destacar que a FIOL encontra-se em obras no segmento compreendido entre Barreiras-BA e Ilhéus-BA. Apesar do projeto contemplar o intercâmbio com a FNS em Figueirópolis-TO, atualmente não há previsão para concretização do trecho entre Barreiras-BA e Figueirópolis-TO.

O presente trabalho propõe-se a realizar uma análise estatística dos resultados simulados em um modelo previamente concebido para o caso em que os valores das variáveis de entrada são descritas como distribuições de probabilidade. Neste contexto, os resultados das simulações devem ser comparados por meio de testes estatísticos que permitirão avaliar a significância das diferenças entre os valores obtidos. Deste modo, é importante frisar que não compõe o escopo deste trabalho a caracterização detalhada do modelo e da simulação desenvolvidos, mas sim

efetuar a análise estatística dos resultados obtidos pela modelagem elaborada durante o desenvolvimento da dissertação de mestrado do autor.

Em função da FIOLE ainda estar em fase de implantação, os dados de entrada do modelo foram obtidos a partir dos relatórios e especificações técnicas do empreendimento. Ressalta-se também que as informações disponíveis nos relatórios técnicos (BAHIA, 2011; BRASIL, 2010) são aproximações dos valores esperados para o processo, definidos de forma determinística. Não obstante, em uma futura fase de operação, será possível coletar esses dados, permitindo dimensionar a precisão e a confiabilidade das variáveis de saída da simulação.

Para a análise estatística foi escolhida como fator a ser avaliado a variável número de linhas auxiliares disponíveis em um pátio de carregamento de trens de minério de ferro. Essa escolha também leva em conta o fato do processo de carregamento ter se apresentado como gargalo do sistema logístico. Além disso, dependendo da região em que deve se dispor de novas linhas auxiliares, esta solução pode ser mais barata quando comparada ao investimento em silos com maior capacidade de carga.

Este trabalho está organizado em seções que apresentam os componentes do sistema logístico analisado (Seção 2), uma contextualização sobre a operação ferroviária e a modelagem deste tipo de sistema (Seção 3), o problema de capacidade evidenciado no processo de carregamento (Seção 4) e as análises estatísticas realizadas com a solução de aumento de número de linhas propostas (Seção 4). Por fim, a Seção 5 tece algumas considerações finais sobre o trabalho desenvolvido.

2. Caracterização do Sistema Logístico Analisado

O sistema logístico modelado compreende os processos operacionais de circulação de trens nas linhas previstas na FIOLE, nos pátios de manobra e nos terminais de carregamento e descarregamento destes trens. Os processos de carregamento de trens estão previstos para acontecerem nos seguintes locais (BRASIL, 2010):

- Polo Intermodal Sudeste do Tocantins (PIST - km 349,2);
- Polo Intermodal Oeste da Bahia (PIOB - km 518,8);
- Polo Intermodal Sudoeste da Bahia (PISB - km 702,7);
- Polo de Caetité (PC - km 989,4);
- Polo de Tanhaçu (PT - km 1181,4);

As principais mercadorias que serão escoadas por esta ferrovia são produtos agrícolas (principalmente grãos e farelo de soja e etanol) provenientes do intercâmbio com a Ferrovia Norte Sul, no km 0 (Figueirópolis-TO), e dos três primeiros polos listados (PIST, PIOB e PISB). A seguir, já na região Centro-Sul do território baiano, entre Caetité e Tanhaçu, ocorrerão os carregamentos de minério de ferro, com destaque para os empreendimentos em fase de licenciamento, instalação e operação nos municípios de Caetité (km 989,4) e Brumado (km 1144,5).

O trecho de malha modelado corresponde a cerca de 530 km compreendidos entre o primeiro polo de carregamento de minério (Caetité – BA, km 989,4) e o Porto Sul (Ilhéus-BA, km 1527), conforme indicação na Figura 2 a seguir. Essa decisão foi tomada em função da importância que o minério de ferro exerce na viabilidade do projeto (70% da receita operacional do sistema no início da operação) e pelo fato das restrições de tráfego serem mais significativas neste trecho.

Figura 2 - Definição geográfica do sistema a ser modelado



Fonte: Adaptado de BRASIL (2010)

Ao longo desse trajeto de 530 km, estão previstos 20 pátios de cruzamento para uma primeira fase de operação (5 anos iniciais). Em um cenário futuro, com a ampliação do volume por parte dos operadores já consolidados e o surgimento de novos carregamentos, mais 16 pátios de cruzamento poderão ser incorporados entre Caetité e Ilhéus, visando aumentar a capacidade de tráfego no sistema. Contudo, o escopo do modelo desenvolvido limita-se à fase inicial de operação. A Tabela 1, abaixo, apresenta os pátios considerados na modelagem analisada e suas respectivas posições quilométricas.

Tabela 1 - Lista de pátios e suas localizações entre Caetité e Ilhéus nas duas fases de instalação

1ª FASE				2ª FASE			
Pátio	Posição (KM)	Pátio	Posição (KM)	Pátio	Posição (KM)	Pátio	Posição (KM)
P26	989,40	P42	1.256,80	P27	1.007,90	P51	1397,393
P28	1.032,80	P44	1.288,10	P29	1.048,75	P53	1427,643
P30	1.070,70	P46	1.318,50	P31	1.090,31	P55	1456,493
P32	1.107,60	P48	1.348,50	P36	1175,736	P57	1485,643
P33	1.127,20	P50	1.380,00	P38	1200,893		
P34	1.145,60	P52	1.413,10	P41	1241,398		
P35	1.161,40	P54	1.443,20	P43	1271,713		
P37	1.190,00	P56	1.469,50	P45	1303,143		
P39	1.214,90	P58	1.500,90	P47	1333,228		
P40	1.229,10	P60	1520,39	P49	1363,963		

Fonte: BRASIL (2010)

Os estudos de viabilidade do sistema (BRASIL, 2010) foram desenvolvidos com base nas demandas agrícolas e nos projetos de exploração mineral na zona de influência da FIOLE. Em especial, destacam-se duas propostas de intenção das minas pertencentes à Bahia Mineração (BAMIN), Cabral Resources e Santa Fé Mineração, nas proximidades dos municípios de Caetité-BA e Tanhaçu-BA, respectivamente. Com relação ao volume, o projeto da BAMIN contempla uma exploração de 20 milhões de toneladas por ano (MTPA) (BAHIA, 2011). A exploração prevista das minas pertencentes às companhias Cabral Resources e Santa Fé Mineração seriam de 15 MTPA e 20 MTPA, respectivamente, de acordo com relato das próprias companhias, que não foram contempladas no projeto à época dos estudos de viabilidade. Em decorrência deste fato, para modelar o processo de carregamento previsto para essas possíveis novas operadoras, algumas premissas foram estabelecidas:

- Uma vez que as minas de Cabral Resources e Santa Fé Mineração encontram-se em municípios bastante próximos (Contendas do Sincorá-BA e Livramento de Nossa Senhora-BA, respectivamente), optou-se pela modelagem de um único terminal de carregamento gerenciado por uma única operadora ferroviária para atender ambas as demandas no P34 (Brumado);
- O pátio de carregamento no P34 será nos mesmos moldes do P26 em Caetité, da BAMIN, contendo duas linhas auxiliares e uma única linha de carregamento;
- O trem-tipo da operadora que servirá ambas mineradoras será composto por 2 locomotivas e 140 vagões (idem à BAMIN). Será convencionada a nomenclatura “trem CR/SF” para designá-lo neste texto.

3. Modelagem da Operação Ferroviária

De acordo com Rosa (2016), a operação ferroviária consiste na coordenação das atividades que promovem o movimento dos trens, estejam eles em circulação, trafegando entre pátios de cruzamento, ou nos pátios ferroviários, realizando atividades de carregamento descarregamento, abastecimento, inspeção, entre outras. Este esforço de coordenação decorre da necessidade de atender um fluxo de transporte contratado entre a operadora ferroviária e seus clientes. Fioroni (2008) explica que em uma malha ferroviária podem existir 2 tipos básicos de trem:

- Trens diretos: formados em horários pré-definidos na malha, geralmente transportando vários tipos de carga. Quando ele possui prioridade sobre os demais é denominado trem expresso;
- Trens de ciclo: formados uma única vez na malha, geralmente unitários (transportando único tipo de carga), com número fixo de vagões, executando um ciclo fechado.

Os trens que circularão na FIOLE serão predominantemente de ciclo. O ciclo de transporte compreende, sequencialmente, as atividades de carregamento de vagões, deslocamento para o terminal de descarregamento, descarga e, por fim, retorno ao terminal de carregamento. Denomina-se tempo de ciclo o período compreendido para executar esse processo que se repete continuamente na operação ferroviária.

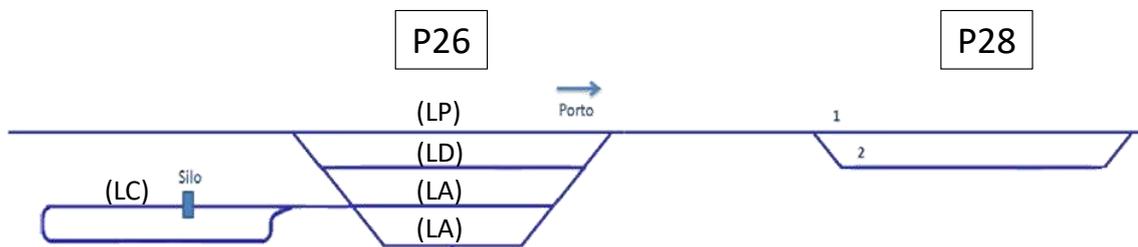
O tempo de ciclo é afetado por diversos fatores como a velocidade das composições, paradas programadas (e.g. manutenção preventiva de ativos ferroviários, atividade de abastecimento e inspeção), paradas não-programadas (e.g. manutenção corretiva, paralisações e greves), aumento dos trens em circulação (acarretando congestionamento do tráfego) e as diferenças de prioridades e velocidades entre os trens (SOGIN, BARKAN E SAAT, 2011), provocando um maior número de parada daqueles menos prioritários/velozes para realização de ultrapassagens e cruzamentos. Deste modo, para a gestão ferroviária é importante que exista um monitoramento dos tempos não-úteis (parados) dos trens associados às suas causas para que os problemas mais prioritários possam ser tratados.

O modelo utilizado como referência para a análise estatística deste trabalho consiste em 3 subsistemas que, integrados, constituem todas as regras de movimentação de trens no sistema logístico em estudo. São eles os processos de carregamento, circulação e descarregamento de trens. As características do modelo estão baseadas na lógica de resolução de conflitos de movimentação de trens descrita por Fioroni (2008).

A simulação, por sua vez, foi executada no software Arena®, com replicação única (em virtude do caráter determinístico do estudo), compreendendo 1 ano de operação e período transiente de 200 horas, devidamente eliminado no processamento dos dados.

No que se refere ao processo de carregamento dos trens, a Figura 3 fornece recorte do trecho que compreende os pátios P26, onde ocorre o carregamento dos trens da BAMIN, e o P28 de circulação, local onde os trens podem realizar cruzamentos e ultrapassagens.

Figura 3 - Esquema dos pátios P28, P26, linhas de circulação principal (LP) e desviada (LD), auxiliares (LA) e para carregamento (LC)



Fonte: Autor

Os terminais de carregamento de minério de ferro apresentam uma linha de carregamento (LC) numa configuração de pera ferroviária, dispendo de um silo para carregar os vagões, e duas linhas auxiliares (LA) que servem tanto para estacionamento de trens que esperam para carregar ou, após carregados, aguardam licença para seguir viagem de retorno.

Conforme descrito inicialmente, o objetivo deste trabalho é analisar a influência do aumento do número de linhas auxiliares de carregamento no tempo de ciclo médio dos trens. O impacto desta decisão foi avaliado por meio do resultado no tempo de ciclo dos trens da Cabral Resources e Santa Fé Mineração (CR/SF), isto é, o ciclo dos trens CR/SF que serão carregados em Brumado-BA, no pátio P34, próximo ao município de Tanhaçu-BA.

Pode-se afirmar que para um determinado ponto de carregamento a quantidade de mercadoria escoada em um período varia em função da quantidade de trens, da carga unitária do trem-tipo e do número de ciclos realizado pelos trens neste período (ROSA, 2016). Este último, por sua vez, é dado pela razão entre o período que se deseja analisar (e.g. ano) e o tempo médio para os trens realizarem um ciclo, que é obtido pela média aritmética dos tempos de ciclo de todos os trens ao longo da simulação. Conforme se observa na Equação 1, para o caso do minério de ferro essa quantidade média anual é dada por:

$$\overline{MF}_{ano} = N_T \cdot C_T \cdot \frac{T}{\overline{TC}} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

\overline{MF}_{ano} = quantidade média de minério de ferro entregue no porto anualmente;

N_T = número de trens;

C_T = carga útil transportada por trem (em t/trem);

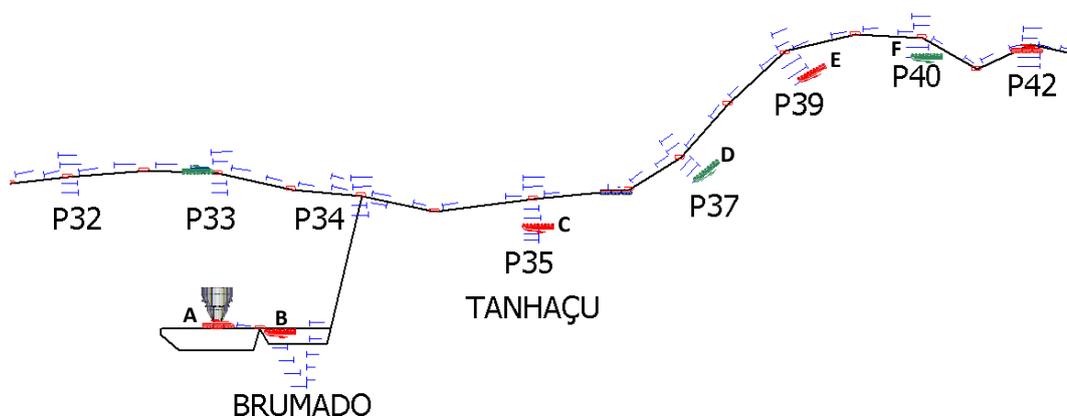
T = período de operação considerado (em h/ano);

\overline{TC} = tempo de ciclo médio dos trens (em h);

4. Problema de Capacidade no Terminal de Carregamento

Fioroni (2008) afirma que para os casos de trens operando em ciclo fechado, interrupções não-programadas que ocorrem em certas regiões da malha tendem a propagar filas que repercutem ao longo do sistema que impactam o tempo de ciclo médio dos trens. Este problema é conhecido como *knock-on effect* ou efeito “chicote”, conforme descrito por Caimi et al (2012). No modelo desenvolvido para o sistema FIOLE, a causa raiz do problema de propagação de filas acontece no processo de carregamento dos trens CR/SF. A Figura 4 apresenta uma imagem de um certo instante da animação do sistema simulado no Arena®, na qual se pode observar que o trem A, em processo de carregamento, ocasiona a espera do trem B em uma linha auxiliar (motivo carregamento – interno) que, por sua vez, exige que o trem C aguarde no P35 (motivo carregamento – externo). Deste modo, o fluxo se torna bloqueado para os trens aguardando nos pátios subsequentes ao P35 (trens D, E e F).

Figura 4 – Efeito da espera no carregamento na circulação pela FIOLE



Fonte: Autor

Portanto, observa-se que a baixa produtividade no processo de carregamento acarreta a propagação de filas de composições ao longo da ferrovia, aumentando o tempo de ciclo médio

dos trens de minério e prejudicando o tráfego de trens na FIOIOL de forma generalizada. Este resultado é bastante comum em ferrovias de alta densidade de tráfego. Conforme destaca Rosa (2016), os terminais ferroviários, em função de sua complexidade operacional, configuram-se como gargalos na operação, podendo consumir cerca de 50% do custo operacional total de uma ferrovia. Deste modo, a gestão ferroviária deve buscar soluções que diminuam consideravelmente as ineficiências que ocorrem neste processo. Dentre as possíveis intervenções, pode-se mencionar a melhoria no tempo de carregamento pelo investimento em silos de maior capacidade, melhoria nos tempos de inspeção e também aumento do número de linhas auxiliares para carregamento. Neste contexto, optou-se por investigar este último fator em função de se apresentar como uma solução mais módica em relação às anteriores. A avaliação do seu impacto consistiu na comparação estatística entre os tempos de ciclo médio dos trens nas diferentes configurações de linhas auxiliares.

5. Análise Estatística da Solução (Aumento do Número de Linhas Auxiliares)

Para a condução do experimento computacional, foi considerado um dimensionamento de frota com 9 trens CR/SF para atender à demanda das mineradoras Cabral Resources e Santa Fé Mineração, além dos usuais 6 trens BAMIN previstos nos estudos operacionais. Por meio de uma Análise de Variância (ANOVA) realizada no software Minitab®, foi possível identificar se existe diferença estatisticamente significativa entre os níveis do fator investigado (2, 3, 4 ou 5 linhas auxiliares), mantendo-se os valores de todas as demais variáveis (e.g. tempo de carregamento, tempo de rota entre pátios de cruzamento, tempo de descarregamento) inalterados. A randomização do processo foi realizada substituindo-se os valores pontuais dos tempos das atividades dos terminais de carga, descarga e circulação obtidos dos relatórios por distribuições de probabilidade. Tais mudanças estão destacadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Exemplo de valores inseridos no modelo de acordo com o com o tipo de abordagem (determinística/aleatória)

Processo	Abordagem Determinística	Abordagem Aleatória
Carregamento (tempo de carga)	4,32 h/trem (BRASIL, 2010)	Distribuição normal (média 4,32 h; desvio padrão 0,75 h)
Descarregamento (tempo de descarga)	2,07 h/trem (BAHIA, 2011)	Distribuição uniforme (valor mínimo = 1,94 h; valor máximo = 2,22 h)
Circulação na FIOLE (tempo entre pátios)	Valor constante de acordo com o sentido (BRASIL, 2010)	Distribuição triangular (valor mínimo = -10% da moda; moda; valor máximo = +10% da moda)

Fonte: BRASIL (2010), BAHIA (2011)

A partir do tempo de carregamento de 4,32h, determinou-se uma distribuição normal com média 4,32h e desvio padrão de 0,75 h para o processo de carregamento. Para este processo foi definida uma faixa de valores equiprováveis (distribuição uniforme) entre 1,94 h e 2,22 h, conforme mencionado nos estudos de impacto ambiental em (BAHIA, 2011).

Os tempos de rota entre pátios, por sua vez, foram definidos de forma análoga ao trabalho de Fioroni (2008), onde os valores máximo e mínimo foram considerados como variações de 10% em relação à moda, que neste caso são os valores dos tempos de circulação entre os pátios encontrados em BRASIL (2010).

Para avaliar se existe diferença significativa entre as médias dos tempos de ciclo dos trens CR/SF para os diferentes níveis do fator analisado foi realizado o teste Fischer (Teste F) no Minitab®. Este teste estatístico permite avaliar o quão significativa é a variação nos resultados provocados pelo fator (número de linhas auxiliares) em relação à variação devida ao erro aleatório ($F = V_{Fator}/V_{Erro}$). Quanto maior for esse valor de F , maior será a probabilidade de significância (p-valor), indicando que a hipótese de nulidade de que o fator não influencia significativamente no tempo de ciclo e, por esse motivo, deve ser rejeitada. Os resultados dessa ANOVA estão sintetizados na Tabela 3.

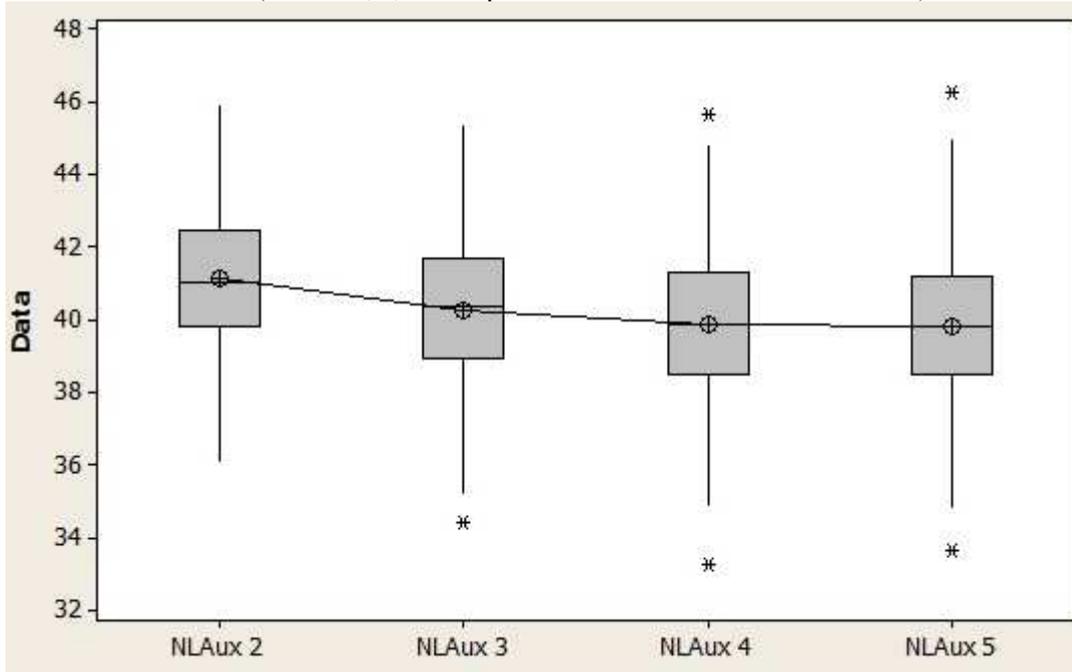
Tabela 3 - Resultado da ANOVA para as variações no número de linhas auxiliares do carregamento CR/SF

Fonte de variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma dos Quadrados (SQ)	Variância (V = SQ/GL)	Valor de F (V_{Fator}/V_{Erro})	P-Valor
Fator	3	703,97	243,66	63,98	≅ 0,000
Erro	2456	9007,16	3,67		
Total	2459	9711,13			

Fonte: Autor

Como o p-valor é menor que o nível de significância (definido nesta pesquisa como 5%), conclui-se pelo teste F que existe uma diferença estatisticamente significativa entre os diferentes níveis do fator observado. Os intervalos de confiança dos tempos de ciclo para cada nível do fator estão representados no gráfico box-plot na Figura 5, a seguir.

Figura 5 – Box-plot com os intervalos de confiança para os diferentes níveis do fator em estudo (NLAux 2, 3, 4 e 5 representam o número de linhas auxiliares)



Fonte: Autor

O teste F, apesar de indicar a diferença estatística entre os níveis do fator, não indica quais níveis diferem entre si. Para verificar a significância da diferença estatística entre cada uma dos níveis do fator avaliado (par a par), procedeu-se com o teste de Tukey, também no Minitab®. Por meio deste teste, é possível avaliar se existe diferença estatisticamente significativa entre duas ou mais médias observadas para os níveis de um fator comparando-se as diferenças observadas entre as médias com uma diferença mínima significativa. O resultado do teste é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultado do teste de Tukey para as médias dos tempos de ciclo CR/SF

Número de Linhas Auxiliares	Número de Observações	Média do Tempo de Ciclo	Grupo
2	615	41,175	A
3	615	40,265	B
4	615	39,915	C
5	615	39,821	C

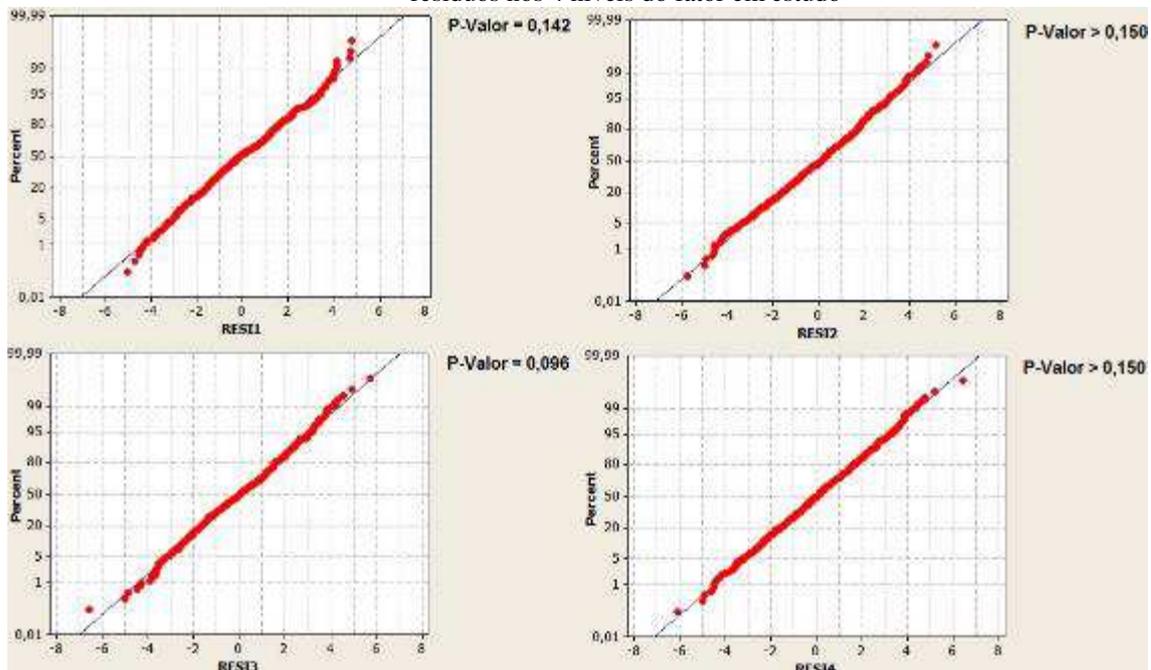
Fonte: Autor

A partir tabela com o resultado do teste de Tukey, pode-se afirmar que as médias que não compartilham as mesmas letras diferem estatisticamente. Isso significa que há diferença significativa entre os seguintes pares de níveis de linhas auxiliares: (2; 3), (2; 4), (2; 5), (3; 4) e (3; 5). Esse resultado demonstra que apesar de apresentar um tempo de ciclo médio numericamente menor, o efeito de um investimento em infraestrutura em 5 linhas auxiliares configura-se como um desperdício de recursos uma vez que não há evidência de diferença estatística entre as médias para 4 e 5 linhas auxiliares.

Vale salientar que a validade da ANOVA realizada está atrelada ao atendimento de certos pressupostos verificados por meio de uma análise de resíduos (diferença entre os valores observados e a média amostral). São eles:

- Os resíduos são distribuídos normalmente: verifica-se o atendimento de acordo com os gráficos de probabilidade normal e os respectivos testes de aderência Kolmogorov-Smirnov, com p-valor $> 5\%$ para todos os casos, como se observa na Figura 6.

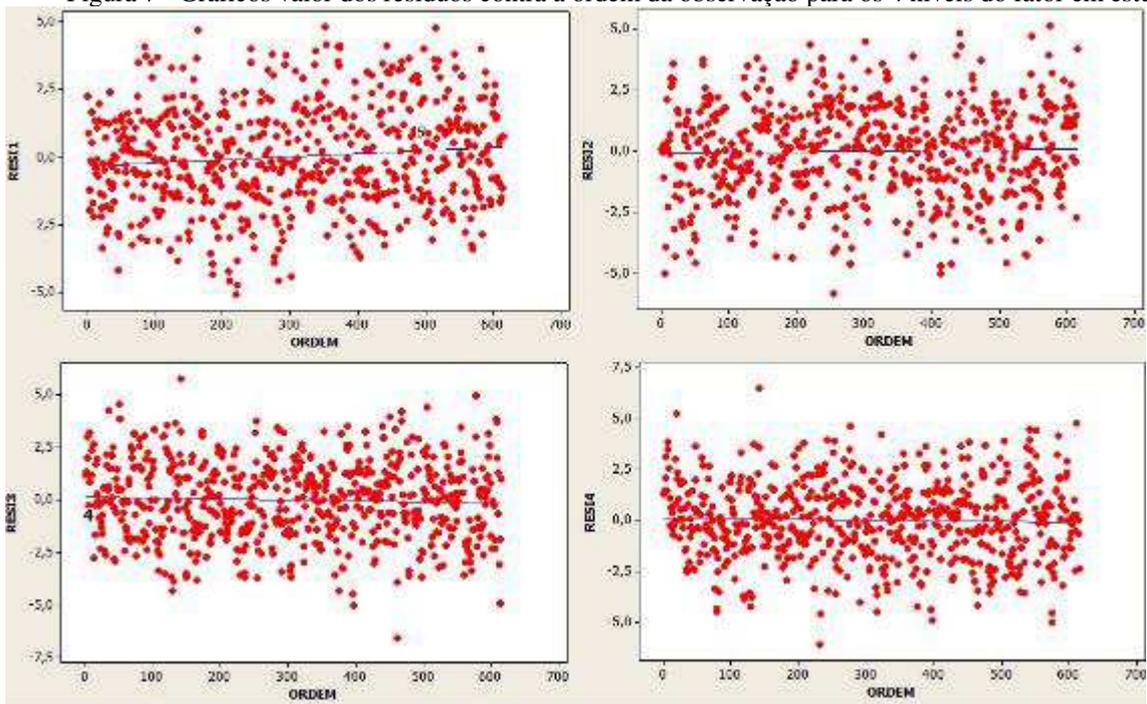
Figura 6 - Gráficos de probabilidade normal e teste de Kolmogorov-Smirnov para normalidade dos resíduos nos 4 níveis do fator em estudo



Fonte: Autor

- Os erros são independentemente distribuídos: conforme se evidencia nos gráficos dos valores dos resíduos contra o tempo da Figura 7, não existem tendências atreladas à ordem temporal dos resíduos (auto-correlação).

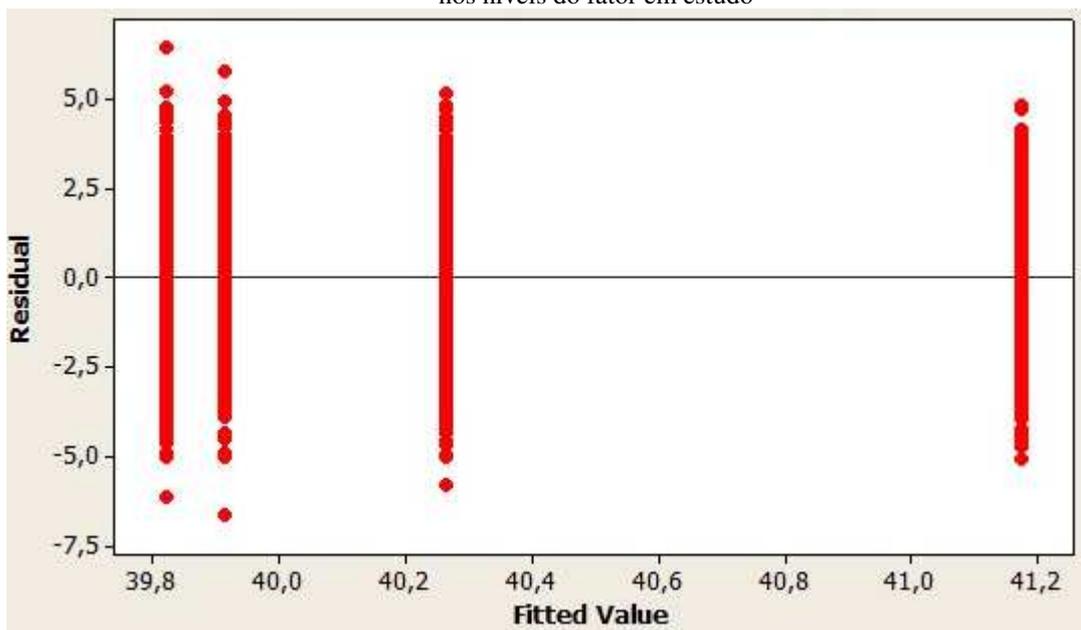
Figura 7 - Gráficos valor dos resíduos contra a ordem da observação para os 4 níveis do fator em estudo



Fonte: Autor

- As variâncias dos resíduos são homogêneas (homocedásticas): o requisito de homocedasticidade é garantido observando-se a dispersão dos valores para cada nível observado, de acordo com gráfico da Figura 8.

Figura 8 - Distribuição dos valores dos resíduos para cada média de tempo de ciclo CR/SF observada nos níveis do fator em estudo



Fonte: Autor

Deste modo, pelo atendimento aos requisitos da análise de resíduos conclui-se que as diferenças observadas pelo teste de Tukey estão garantidas pelos requisitos para a condução de uma ANOVA.

6. Considerações Finais

Conforme foi observado nos resultados do experimento computacional, as médias dos tempos de ciclo diferem de forma estatisticamente significativa com o aumento do número de linhas auxiliares de 2 para 3 e de 3 para 4 linhas auxiliares, reduzindo o tempo de ciclo médio de 41,175h para 40,265h e de 40,265 para 39,915h, respectivamente. Somente no caso do incremento de 4 para 5 linhas auxiliares essa melhoria não foi observada. Isto ocorreu em função da variabilidade presente no modelo simulado, demonstrando que é inexpressiva a redução no tempo de ciclo médio de 39,915h para 39,821h, dado um nível de significância de 5%. É importante salientar que o incremento de linhas auxiliares é somente uma das possíveis melhorias no sistema, podendo-se destacar o investimento em silos de maior capacidade de carga, aumento de linhas de carregamento, bem como melhoria nos processos de inspeção e testes de trens, antes da partida. Outra importante observação é que a redução no tempo de ciclo, dada pelo aumento do número de linhas auxiliares, não decorre de uma melhoria na redução do tempo de permanência no pátio de carregamento dos trens. Tal fato resulta do descongestionamento da malha em virtude da ampliação da capacidade de recepção de trens no terminal de carregamento, uma vez que a limitação de espaço no terminal obrigava os trens a aguardarem ao longo da linha de circulação principal da ferrovia. Deste modo, há uma transferência de filas no sistema, de uma região onde a influência do trem parado é sensivelmente maior (circulação) para outra região onde o trem, nesta condição, provoca menor interferência ao tráfego das outras composições (pátio de carregamento).

Por fim, cabe salientar que este estudo não teve a pretensão de exaurir a presente matéria; por esta razão, além da análise promovida neste trabalho, acredita-se que trabalhos futuros poderão promover um aprofundamento sob a ótica de expectativas de retorno, empregando-se critérios de avaliação econômica de projetos para escolha da melhor alternativa proposta ao sistema. Isso implica a comparação de métricas como Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e Período de Recuperação do Capital (payback) entre cada uma das possíveis intervenções, permitindo que a tomada de decisão de melhoria seja realizada de forma racional.

7. Referências

- BAHIA. **Estudo de Impacto Ambiental (EIA) do Porto Sul - Tomo 1 Caracterização do Empreendimento**. Salvador, 2011.
- BRASIL. **EF-334 - Volume I - Estudo Operacional da Ferrovia de Integração Oeste Leste - EF-334**. Disponível em: <<http://www.valec.gov.br/FerroviasEstudos.php>>. Acesso em: 14 maio. 2010.
- BRASIL. **EF-334 - Ferrovia de Integração Oeste Leste**, 2015. Disponível em: <http://www.valec.gov.br/acoes_programas/FerroviaIntegracaoOesteLeste.php>.
- CAIMI, G. et al. A model predictive control approach for discrete-time rescheduling in complex central railway station areas. **Computers & Operations Research**, v. 39, n. 11, p. 2578–2593, nov. 2012.
- FIORONI, M.M. **Simulação em ciclo fechado de malhas ferroviárias e suas aplicações no Brasil: Avaliação de alternativas para o direcionamento de composições**. 2008. 216 f. Tese (Doutorado) - Engenharia Naval e Oceânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- ROSA, R. A. **Operação Ferroviária: Planejamento, Dimensionamento e Acompanhamento**. Editora LTC. Rio de Janeiro. 2016.
- SOGIN, S.; BARKAN, C. P. L.; SAAT, M. R. **Simulating the effects of higher speed passenger trains in single track freight networks**. Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference (WSC), p. 3684–3692, 11 dez. 2011.