

CATEGORIA 3

METODOLOGIA PARA CONTROLAR OS TEMPOS DE PERCURSO NA OPERAÇÃO DE VLTS: UM NOVO ENFOQUE

INTRODUÇÃO

A eficiência operacional de uma organização é um fator de alta relevância na garantia da competitividade e da lucratividade de seus negócios, ressaltado nos segmentos de transporte e da logística, devido aos elevados custos de operação, independentemente do modal adotado.

Assim, a eficiência operacional de uma empresa de transportes está estritamente relacionada à sua capacidade, influência considerável nas decisões estratégicas, relevantes para o seu sucesso.

Nesse contexto, este estudo, relativo a uma operação de um veículo leve sobre trilhos, tem como objetivo utilizar modelos estatísticos para apoio na análise e na orientação das equipes de campo na tarefa de promover ações para reduzir e controlar os tempos de percurso de uma determinada linha e sentido de um VLT, bem como identificar os principais trechos passíveis de melhorias em seus tempos de percurso previstos e executados, com base na diferença entre os tempos previstos e a média real desses tempos, ou na variabilidade dos tempos reais em relação às metas e tolerâncias especificadas.

FUNDAMENTOS CONCEITUAIS

1) Capacidade de Transportes Ferroviários

A capacidade de um transporte ferroviário, em termos gerais, representa o quanto um trecho específico do sistema ferroviário é capaz de atender a uma determinada demanda. Normalmente, essa quantidade é expressa em unidades de transporte por unidade de tempo, como exemplo, número de trens por dia, nos dois sentidos, ou quantidade de passageiros por hora, em um sentido, assegura Lopes (2019).

A capacidade de um sistema ferroviário é influenciada, principalmente, por:

- Processos (ex.: procedimentos de troca de maquinistas);
- Material Rodante (ex.: limitações do equipamento);
- Fatores externos (ex.: clima, interferências, incidentes etc.);
- Planejamento Operacional (ex.: limitações ou prioridades na programação), e
- Infraestrutura (ex.: condições da via férrea, sinalização etc.),

Dentre os modelos analíticos mais comuns para cálculo da capacidade de tráfego, a fórmula de Colson é a mais usada, a qual expressa a quantidade “n” de pares de trens por dia em um segmento crítico de via singela, conforme a equação (1):

$$n = K \times \frac{(24-t_b) \times 60}{t_i + t_v + t_e} \quad \text{Equação (1)}$$

na qual

t_b = tempo de bloqueio (*backout*)

t_i = tempo de ida

t_v = tempo de volta

t_e = tempo de espera

K = coeficiente de redução operacional

2) Amostragem

De acordo com Lopes (2003), a amostragem é o processo de coletar uma parte do conjunto dos dados, chamada amostra, que represente uma população para a qual se deseja inferir alguma informação a partir dessa amostra.

Os tipos de amostragem são:

- probabilística: quando cada elemento tem a mesma probabilidade de ser selecionado, e
- não probabilística ou intencional: quando houver uma escolha deliberada dos elementos que irão compor a amostra, com base nos objetivos específicos do investigador.

Neste artigo, foi utilizada a amostragem não probabilística.

3) Parâmetros de decisão

Os dois parâmetros mais utilizados para resumir uma distribuição de probabilidades são a média aritmética e o desvio padrão. A média aritmética é uma medida de representatividade no campo determinístico e, quando se refere às distribuições de probabilidade, denomina-se valor esperado. Com base na lei dos grandes números, significa que a média aritmética de um conjunto de valores quase certamente converge para esse valor esperado quando o número de repetições do fenômeno em estudo tende para o infinito. Quando uma decisão é sob incerteza, é o parâmetro da melhor escolha no contexto de informações incompletas.

O valor esperado $E(X)$ para variáveis contínuas é expresso conforme a equação (2):

$$E(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f(x) \cdot dx \quad \text{Equação (2)}$$

onde x é a variável em estudo e $f(x)$ a função densidade de probabilidade dessa variável.

Além dessa medida de representatividade (também chamada de medida de tendência central) deve haver uma medida de variabilidade, a mais utilizada sendo o desvio-padrão, calculado pela Equação (3):

$$DESVPAD(X) = \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} [x - E(X)]^2 \cdot f(x) \cdot dx} \quad \text{Equação (3)}$$

4) Teste de Bartlett

Para comparar mais de duas médias, utiliza-se a Análise da Variância (ANOVA), testando-se a hipótese de igualdade de todas as médias de onde foram retiradas as amostras. Se falsa a hipótese, ao menos uma dessas médias é diferente das demais.

A ANOVA é realizada por meio do teste F, nomeado por George Snedecor (1881-1974) em homenagem ao inglês Ronald Fisher (1890-1962), considerado o maior estatístico do século XX, técnica que verifica se duas variâncias podem ser consideradas iguais para concluir que as médias são iguais. Entretanto, a ANOVA tem como um dos seus pressupostos a igualdade das variâncias das amostras, o que nem sempre é verificado. Mais ainda, o teste F verifica essa igualdade somente para duas variâncias.

Como este estudo refere-se a mais de duas amostras, não se pode aplicar o teste F e, então, tem-se os testes de Levene, Brown–Forsythe e Bartlett como opções capazes de verificar a hipótese de igualdade das variâncias entre dois ou mais grupos de amostra se os dados não puderem ser modelados pela distribuição de Gauss. Escolheu-se o de Bartlett por ser mais sensível à não adequação do modelo de Gauss que os outros dois.

O teste de Bartlett testa a hipótese da igualdade de variâncias em vários grupos; caso rejeitada, as variâncias não podem ser consideradas iguais para ao menos dois grupos, As hipóteses são as seguintes:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2 \text{ para } i = 1, \dots, k$$

$$H_1: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2 \text{ para algum } i \neq j, i = 1, \dots, k \text{ e } j = 1, \dots, k$$

A estatística do teste de Bartlett é expressa pela equação (4).

$$T = \frac{(N-k) \ln s_p^2 - \sum_{i=1}^k (N_i - 1) \ln s_i^2}{1 + \left(\frac{1}{3(k-1)}\right) \left(\sum_{i=1}^k \frac{1}{(N_i - 1)} - \frac{1}{(N-k)}\right)} \quad \text{Equação (4)}$$

na qual:

N é o tamanho total da amostra;

k é número de grupos

s_p^2 é a variância combinada.

s_i^2 é a variância do i -ésimo grupo.

N_i é a tamanho da amostra do i -ésimo grupo;

A variância combinada é calculada pela equação (5)

$$s_p^2 = \sum_{i=1}^k (N_i - 1) s_i^2 / (N - k) \quad \text{Equação (5)}$$

As variâncias são consideradas diferentes se:

$$T > \chi_{1-\alpha, k-1}^2$$

onde, $\chi_{1-\alpha, k-1}^2$ é o valor crítico da distribuição qui-quadrado com $(k-1)$ graus de liberdade e nível de significância α .

Caso as variâncias sejam consideradas diferentes, não se pode usar a ANOVA para verificar se as médias dos tempos dos percursos são iguais; por esse motivo, deve-se empregar uma alternativa para ela, o Teste Kruskal-Wallis.

5) Teste de Kruskal-Wallis (método de distribuição livre [não paramétrico])

A ANOVA pressupõe que os erros possam ser modelados pela distribuição de Gauss e que as variâncias sejam iguais. Como esses pressupostos nem sempre são atendidos, uma alternativa é o teste de Kruskal-Wallis.

Dois requisitos para esse teste são: variável contínua e observações independentes. O primeiro passo é obter o posto (a ordem) de cada uma das observações, colocadas em ordem crescente. O menor valor tem a ordem 1, ou seja, o posto 1, o segundo o posto 2 e assim sucessivamente. Se houver um empate, o posto é a média aritmética das

ordens que seriam atribuídas a elas se não ocorresse o empate, ou seja: há um empate entre as observações 7 e 8; cada uma recebe o posto 7,5, média aritmética dos postos 7 e 8.

Desse modo, a estatística de Kruskal-Wallis H é calculada pela equação (6):

$$H = \left(\frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{k_i} \right) - 3(N+1) \quad \text{Equação (6)}$$

na qual,

N é o número total de observações;

k é o número de amostras

R_i é o i -ésimo posto observado

A estatística H tem, aproximadamente, uma distribuição qui-quadrado com $(k-1)$ graus de liberdade. Entretanto, Montgomery (2006), indica que, caso o ordenamento das observações apresente empates, a estatística H de Kruskal-Wallis deve ser substituída pela equação (7):

$$H = \frac{1}{s^2} \left[\sum_{i=1}^k \frac{\bar{R}_i^2}{n_i} - \frac{N(N+1)^2}{4} \right] \quad \text{Equação (7)}$$

na qual

N é o número total de observações

N_i é o número de observações na i -ésima amostra

k é o número de amostras

\bar{R}_i é a média dos postos da i -ésima amostra

Note-se que a equação (7) considera a variância amostral s^2 em sua composição, sendo sua estatística calculada por meio da equação (8):

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} R_{ij}^2 - \frac{N(N+1)^2}{4} \right] \quad \text{Equação (8)}$$

Onde,

N é o número total de observações

n_i é o número de observações na i -ésima amostra

K é o número de amostras

R_{ij} é o posto da observação j da i -ésima amostra

6) Controle Estatístico de Processos (CEP)

Sabendo-se que processo é a combinação de ferramentas, métodos, materiais e mão-de-obra envolvidos na produção de um bem ou de um serviço, o Controle Estatístico de Processos (CEP) tem como propósito desenvolver e aplicar métodos estatísticos para ajudar a prevenir desvios e, conseqüentemente, promover melhorias e manter a qualidade dos produtos ou serviços oferecidos por uma organização.

Uma das ferramentas para esse controle são os gráficos de controle, cujo nome mais adequado seja gráfico de acompanhamento, porque, eles, realmente, ajudam as pessoas a acompanharem as atividades de um processo.

Os valores dos dados são coletados e determina-se, por exemplo, a média amostral, a amplitude da amostra ou o desvio-padrão amostral, baseados na característica da qualidade de interesse que se deseja controlar, característica colocada em um gráfico. Se um valor observado estiver entre os chamados limites de controle e não apresentar qualquer padrão sistemático ou previsível, o processo pode ser considerado sob controle estatístico.

Os gráficos de controle são chamados, algumas vezes, de gráficos de Shewhart, porque Walter A. Shewhart, físico, engenheiro e estatístico estadunidense, foi quem primeiro propôs sua teoria geral.

Os tipos de gráficos de controle são por variáveis e por atributos. Nos gráficos de controle por variáveis, o valor de uma característica de um produto ou serviço é medido em escala numérica e são construídos para uma medida de representatividade

(normalmente a média aritmética) e para uma medida de dispersão (normalmente a amplitude ou o desvio-padrão), os quais devem ser utilizados de modo conjunto. Os gráficos de controle para variáveis informam a respeito, na amostra, da média aritmética, da amplitude total, do desvio-padrão, dos valores individuais e da média móvel. Nos gráficos de controle por atributos, indica-se a presença ou falta de uma determinada característica. Por exemplo, nos gráficos por atributos pode-se indicar, por exemplo, a fração de itens não conformes, o número de não conformidades, o número total de não conformidades e o número total de não conformidades por unidade.

A característica da qualidade a ser acompanhada é colocada o eixo vertical, enquanto que, no eixo horizontal, representam-se as amostras ou os subgrupos¹. A Figura 1 mostra um típico gráfico de controle.

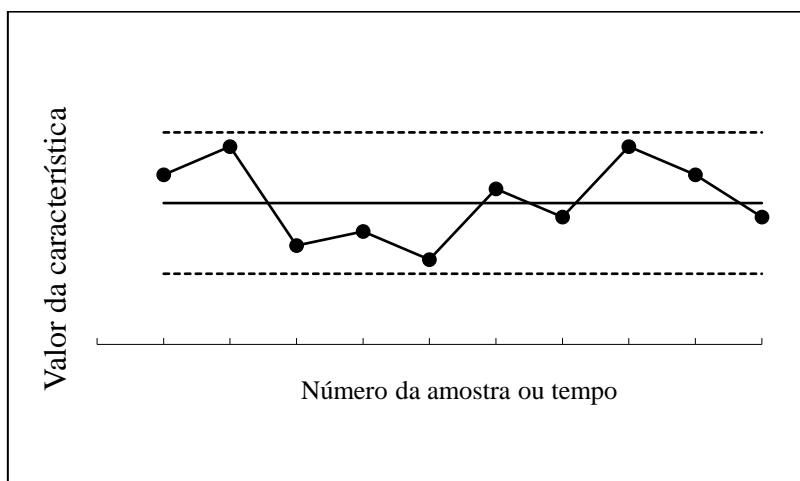


Figura 1. Gráfico de controle.

Três linhas são indicadas: a linha central (LC), que representa o valor médio da característica em estudo, geralmente definida a partir de dados das amostras ou de uma especificação, e os limites superior de controle (LSC) e inferior de controle (LIC), necessários para a tomada de decisão a respeito do processo.

Se os pontos representando os valores observados das características encontram-se dentro dos limites de controle e não exibem nenhuma disposição regular, o processo é considerado sob controle estatístico. Se algum ponto situa-se fora dos limites de

¹ Define-se como subgrupo o número de itens de uma determinada amostra

controle ou se uma disposição não-aleatória existe (como, por exemplo, inúmeros pontos sucessivos acima da linha central), o processo é considerado fora de controle estatístico.

Determinação dos limites de controle

Considere θ uma característica de interesse e $\hat{\theta}$ sua estimativa. Por exemplo, θ pode ser uma determinada medição e $\hat{\theta}$ a medição em uma amostra do processo. Sendo $DP(\hat{\theta})$ o desvio padrão, a linha central e os limites de controle são dados por:

LC é o valor de $\hat{\theta}$

LSC é o valor de $\hat{\theta} + k \cdot DP(\hat{\theta})$

LIC é o valor de $\hat{\theta} - k \cdot DP(\hat{\theta})$

onde k representa o número de desvios padrão para limites de controle a partir da linha central. Tradicionalmente, o valor de k é 3 (origem da expressão “limites 3σ ”, “Six-sigma” e “Seis Sigma”).

Os valores apresentados em um gráfico de controle são considerados, aproximadamente, como sendo modelados pela distribuição de deMoivre-Laplace-Gauss (também conhecida como distribuição normal). Para as médias amostrais, o Teorema Central do Limite garante que a distribuição de probabilidade tende para a distribuição de deMoivre-Laplace-Gauss, mesmo que a população original não seja modelada por essa distribuição. Como, na maioria dos casos, utiliza-se a média amostral dos valores de determinadas características, considera-se válida a distribuição de deMoivre-Laplace-Gauss para a determinação dos erros associados às decisões.

Desse modo, $k=3$ significa que existe a probabilidade de que, caso o processo esteja sob controle, somente 0,27% dos valores poderiam encontrar-se fora dos limites de controle.

Limites de advertência

Os limites de advertência são aqueles em que os limites de controle são calculados para $k=2$. Se um ponto estiver fora dos limites de advertência, mas dentro dos limites de controle, o processo não é considerado fora de controle, mas serve como uma advertência para o usuário.

METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido em 3 (três) etapas:

Etapa 1. Amostragem e estruturação da base de dados:

- 1.1. Identificação dos dias típicos;
- 1.2. Levantamento dos tempos de viagem de uma determinada linha e sentido, e
- 1.3. Tratamento dos dados

Etapa 2. Estruturação do problema e cálculos estatísticos

- Média e desvio-padrão dos tempos, conforme o dia da semana;
- Verificação da hipótese de igualdade das médias dos tempos pela ANOVA;
- Elaboração dos gráficos das médias para identificar os segmentos prioritários;
- Elaboração dos gráficos de controle para os segmentos prioritários;

Etapa 3. Resultados e conclusões.

Para obter os dados, foram utilizados os logs de exportação do sistema específico de controle operacional da companhia que opera o modal, todos exportados já em formato para leitura no Excel 2016, use usado como ferramenta de apoio para os cálculos estatísticos.

DESENVOLVIMENTO

1) Aplicação da fórmula de capacidade ferroviária de Colson

Este artigo visa à aplicação de ferramentas estatísticas para estabelecer um novo enfoque do processo de controle dos tempos de viagem de uma operação de um veículo leve sobre trilhos. A importância de se controlar essa variável pode ser obtida pela interpretação da fórmula teórica de Colson para cálculos de capacidade ferroviária, equação (9).

$$n = K \times \frac{(24-t_b) \times 60}{t_i + t_v + t_e} \quad \text{Equação (9)}$$

Ao se analisar a equação (9), verifica-se que, sendo “K” uma constante e numerador da fração, período operacional, a relação entre “n”, o número de pares de trens, e o tempo de ciclo, composto por “t_i”, “t_v” e “t_e”, é inversamente proporcional. Desse modo, uma redução nesses tempos aumenta “n”, um ganho na eficiência operacional.

Mais ainda, a fórmula teórica de Colson representa, por meio da constante “K”, a condição de eficiência operacional, que tem entre suas componentes, a variabilidade dos tempos de viagem e, quanto mais constantes e previsíveis os tempos de viagem, menores serão os valores de “K”.

Com o objetivo de verificar o uso da metodologia para identificar os tempos de percurso na operação de VLTs e sua variabilidade, foi necessário coletar informações de uma determinada linha e sentido, referente ao primeiro trimestre do ano de 2019. Identificar o comportamento desses dados proporciona a base para auxiliar a tomada de decisões no gerenciamento do sistema, cuja otimização resulta no aumento do desempenho operacional.

2) Amostragem e estruturação da base de dados

2.1) Identificação dos dias típicos

Dia típico é aquele em que há um processo de operação dentro das condições esperadas de normalidade. Para selecionar os dados da amostra, deve-se garantir que não haja influência anormal de fatores externos e internos no processo, para não influenciar os valores esperados dos tempos de viagem.

Como exemplo de características dos dias que foram desconsiderados, tem-se:

- Ocorrência de incidentes operacionais prolongados;
- Eventos externos, próximos às vias de operação, como, manifestações populares, festividades ou quaisquer outras ocorrências sem condições de gerenciamento pela operação;
- Falhas ou restrições operacionais por período prolongado que afetem diretamente os tempos de viagem;
- Condições climáticas prolongadas que provoquem alagamentos ou redução nas condições de visibilidade dos operadores.

2.2) Limitação para a coleta dos tempos de viagem de uma determinada linha e sentido

Uma importante limitação deste estudo é que foi realizado somente para uma determinada linha e um determinado sentido de circulação, embora sabendo-se que as condições operacionais apresentam diferentes características entre as linhas e até mesmo nos sentidos de circulação. Para verificar a metodologia com essa amostra, os tempos de viagem total, em minutos, e o detalhamento dessa viagem, trecho a trecho entre uma estação e outra, foram obtidos por meio dos softwares de controle operacional.

2.3) Tratamento dos dados

Esta etapa consistiu na avaliação geral da base de dados para exclusão dos que apresentaram equívocos operacionais como, por exemplo, registro de viagem durante o período de *blackout* operacional (0h às 6h) ou falhas óbvias no registro gerado pelo

sistema, casos em que o tempo de viagem registrado apresentou um valor nulo (zero) ou valores superiores a duas vezes o tempo previsto para a viagem (1h).

3) Estruturação do problema e cálculos estatísticos

3.1) Parâmetros de decisão conforme o dia da semana

Com base nos dados válidos, calculou-se a média aritmética e o desvio padrão para cada um dos dias da semana, obtendo-se a Tabela 1.

Tabela 1: Média e desvio-padrão dos tempos de viagem durante uma semana.

Estatística	domingo	segunda-feira	terça-feira	quarta-feira	quinta-feira	sexta-feira	sábado	Total Geral
Média	29,80	31,19	31,29	31,49	31,31	31,41	30,12	31,21
Desvio Padrão	1,33	1,83	2,22	2,49	2,01	2,25	1,74	2,18
nº de Observações	222	1003	1198	1446	1372	1128	501	6870

Observa-se que as médias e os desvios padrão dos dias da semana apresentam, à primeira vista, valores muito próximos à meta de 31 minutos e 30 segundos para essa determinada linha e esse sentido operacional, sugerindo um comportamento semelhante entre os dias e, portanto, oriundos de uma mesma distribuição de probabilidade.

Contudo, está afirmação não pode ser feita apenas com base em uma tabela de médias e desvios-padrões, sendo necessário aplicar métodos mais precisos para testar essas hipóteses de igualdade de médias e de variâncias.

3.2) Verificação da hipótese de igualdade das médias pela ANOVA

Para verificar a hipótese de que não há diferença entre as médias dos tempos de percurso de cada dia da semana, utiliza-se a Análise da Variância, que tem por base o teste F (Fisher-Snedecor). Entretanto, antes de sua aplicação é preciso garantir um de seus pressupostos: que todas as mostras tenham variâncias iguais, o que pode ser feito pelo teste de Bartlett.

A estatística do teste de Bartlett é dada pela equação (10).

$$T = \frac{(N-k) \ln s_p^2 - \sum_{i=1}^k (N_i - 1) \ln s_i^2}{1 + \left(\frac{1}{3(k-1)}\right) \left(\sum_{i=1}^k \frac{1}{(N_i - 1)}\right) - 1/(N-k)} \quad \text{Equação (10)}$$

na qual:

s_i^2 é a variância do i-ésimo grupo

N é o tamanho total da amostra

N_i é o tamanho da amostra do i-ésimo grupo

K é o número de grupos

s_p^2 é a variância combinada.

Note-se ser necessário obter a variância combinada s_p^2 antes do cálculo da estatística T , por meio da equação (11):

$$s_p^2 = \sum_{i=1}^k (N_i - 1) s_i^2 / (N - k) \quad \text{Equação (11)}$$

$$s_p^2 = 0,0000022$$

Logo, tem-se que o valor de T é:

$$T = \frac{(6870 - 6) \times \ln(0,0000022) - (-635453,13)}{1 + \left(\frac{1}{3(7-1)}\right) \times 0,00965} = 535713,38$$

Aas variâncias são consideradas diferentes se:

$$T > \chi_{1-\alpha, k-1}^2$$

onde $\chi_{1-\alpha, k-1}^2$ é o valor crítico da distribuição qui-quadrado com $(k-1)$ graus de liberdade e nível de significância α .

Com base nos resultados obtidos, se $T > \chi_{0,95,6}^2 = 12,59$, então se rejeita a hipótese de igualdade das variâncias. Como o valor de $T = 535713,30$ é maior que 12,59, as variâncias foram consideradas diferentes. Desse modo, não se pode usar a Análise da Variância para verificar se as médias dos tempos dos percursos são iguais. Por essa razão, deve-se empregar uma alternativa pela a ANOVA, o Teste Kruskal-Wallis

3.3) Teste de Kruskal-Wallis (método de distribuição livre ([não paramétrico]))

A estatística H de Kruskal-Wallis é um método de distribuição livre adequado para substituir a ANOVA para testar a hipótese de que não há diferenças significativas entre os tempos médios de percurso de cada dia da semana.

Em virtude da ocorrência de observações empatadas, durante o passo de ordenamento e atribuição de postos, primeiro obtém-se a variância amostral dos tempos de percurso pela equação (12).

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} R_{ij}^2 - \frac{N(N+1)^2}{4} \right] \quad \text{Equação (12).}$$

Para os dados obtidos, tem-se que:

$$s^2 = \frac{1}{6870 - 1} \left[107679945665,02 - \frac{6870(6870 + 1)^2}{4} \right] = 3878711,11$$

Em seguida, com os dados aplica a estatística H de Kruskal-Wallis, equação (13), resulta no valor 320,38.

$$H = \frac{1}{s^2} \left[\sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - \frac{N(N+1)^2}{4} \right] \quad \text{Equação (13)}$$

$$H = \frac{1}{3878711,11} \left[82279735804,99 - \frac{6870(6870 + 1)^2}{4} \right] = 320,38$$

Comparando-se o resultado de H com o qui-quadrado de $\alpha = 0,05$ e 6 graus de liberdade, vê-se que 320,38 é maior do que 12,59, rejeitando-se a hipótese nula H_0 : As médias dos tempos dos percursos dos dias da semana não apresentam diferenças significativas entre si.

3.3) Identificação dos segmentos prioritários

Em função do percurso total da linha apresentar particularidades trecho a trecho, foram elaborados gráficos divididos em segmento por par de estações a montante e a jusante, para identificar os resultados necessários para planejar as oportunidades de melhoria, o que foi feito verificando a aderência do valor médio ao previsto e também a

variabilidade em relação aos limites superior e inferior especificados em 10%, tolerância admitida n para mais e para menos, respectivamente.

É importante ressaltar que como os dias da semana apresentam perfis de distribuição diferentes, evidenciado pelo teste Kruskal-Wallis, serão apresentados sete gráficos, um para cada dia da semana:

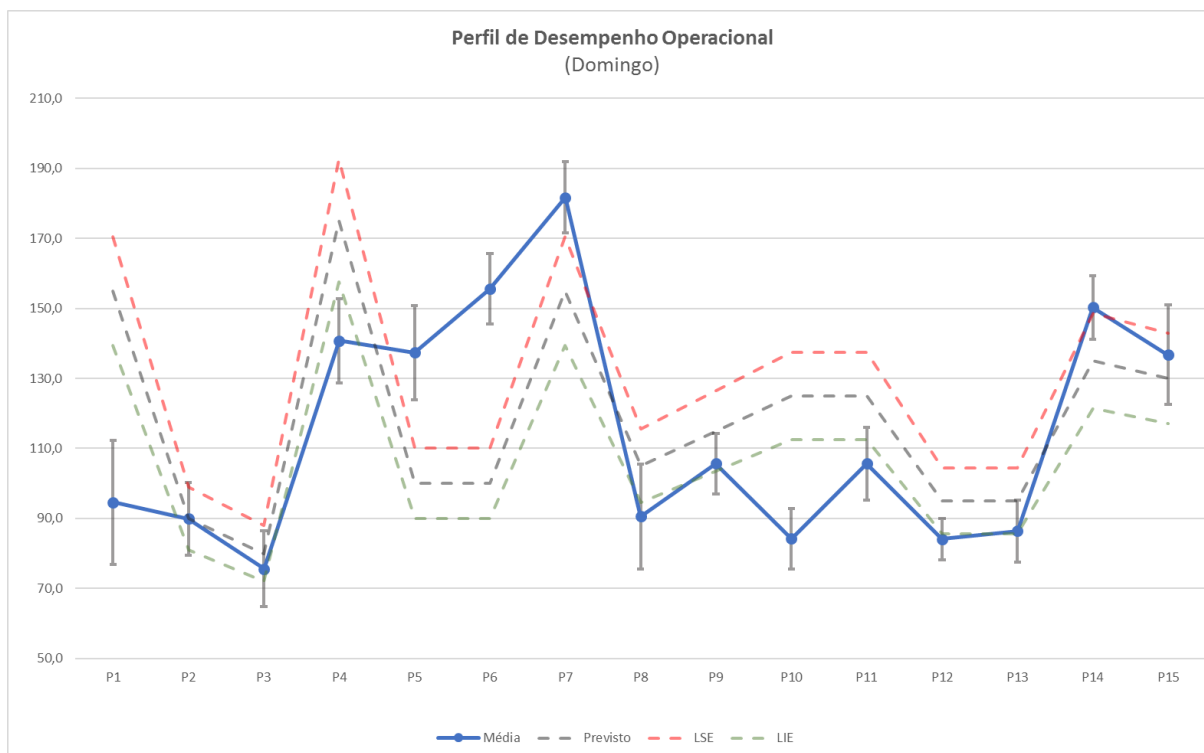


Figura 2. Perfil operacional do domingo.

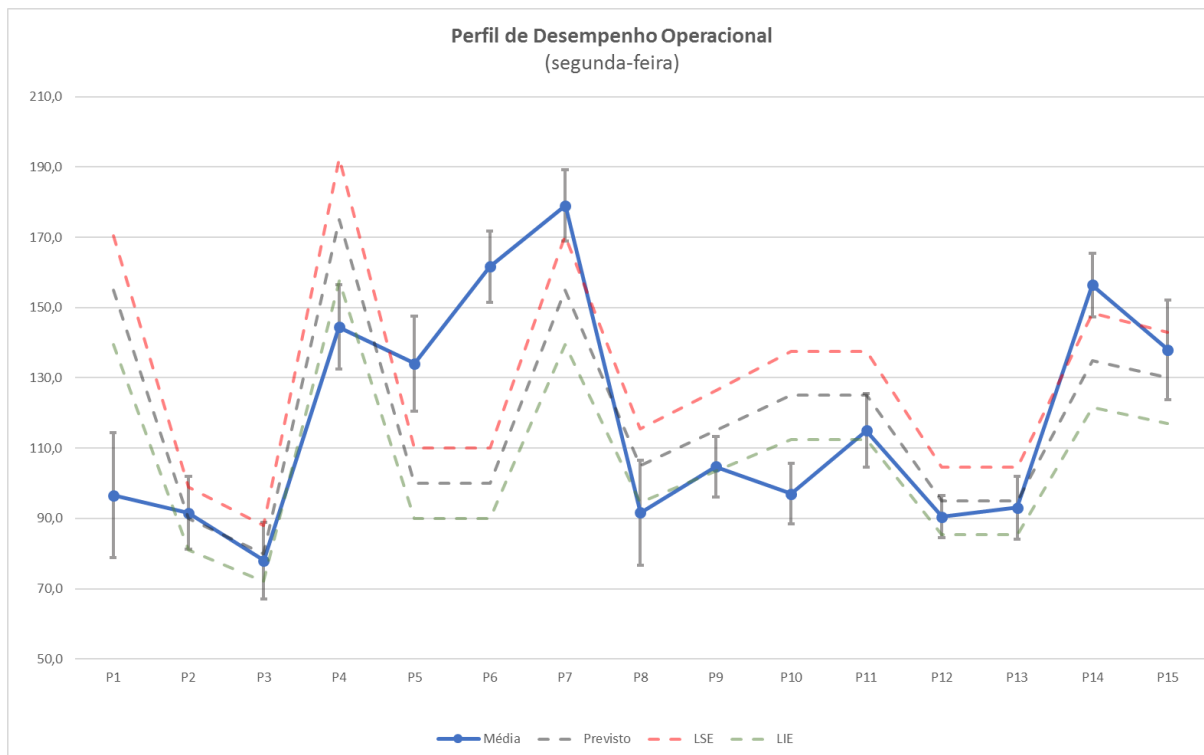


Figura 3. Perfil operacional da segunda-feira

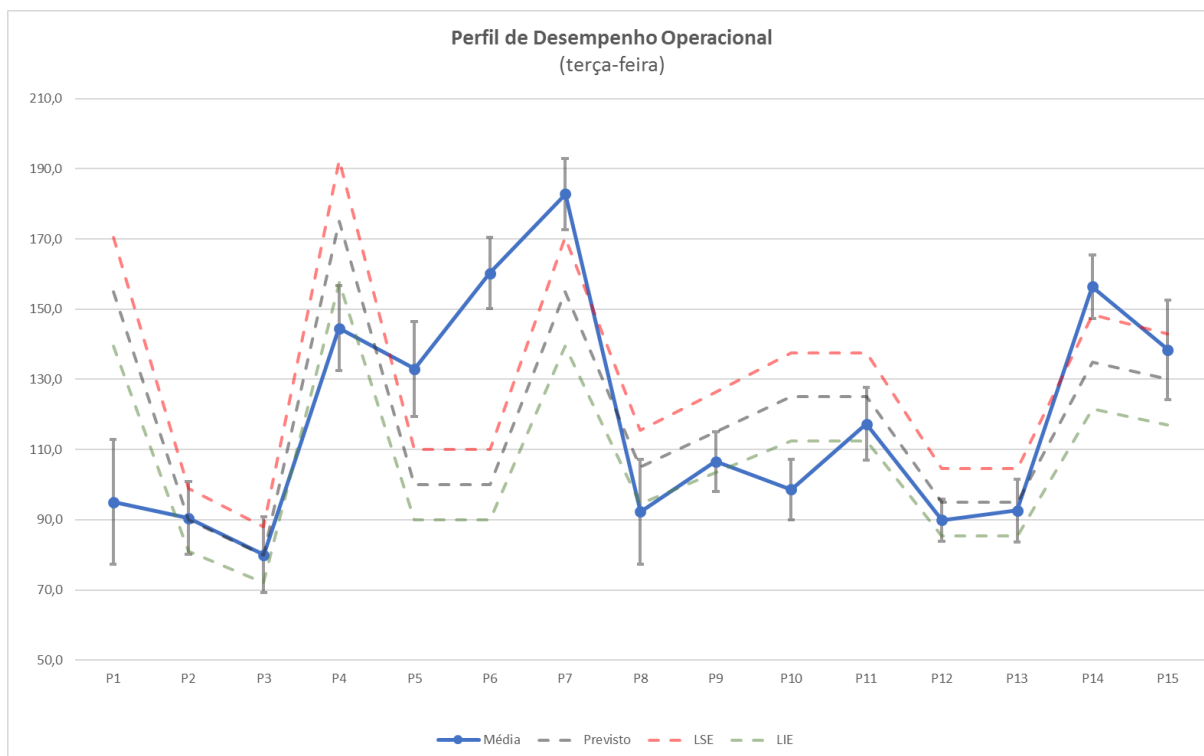


Figura 4. Perfil operacional da terça-feira

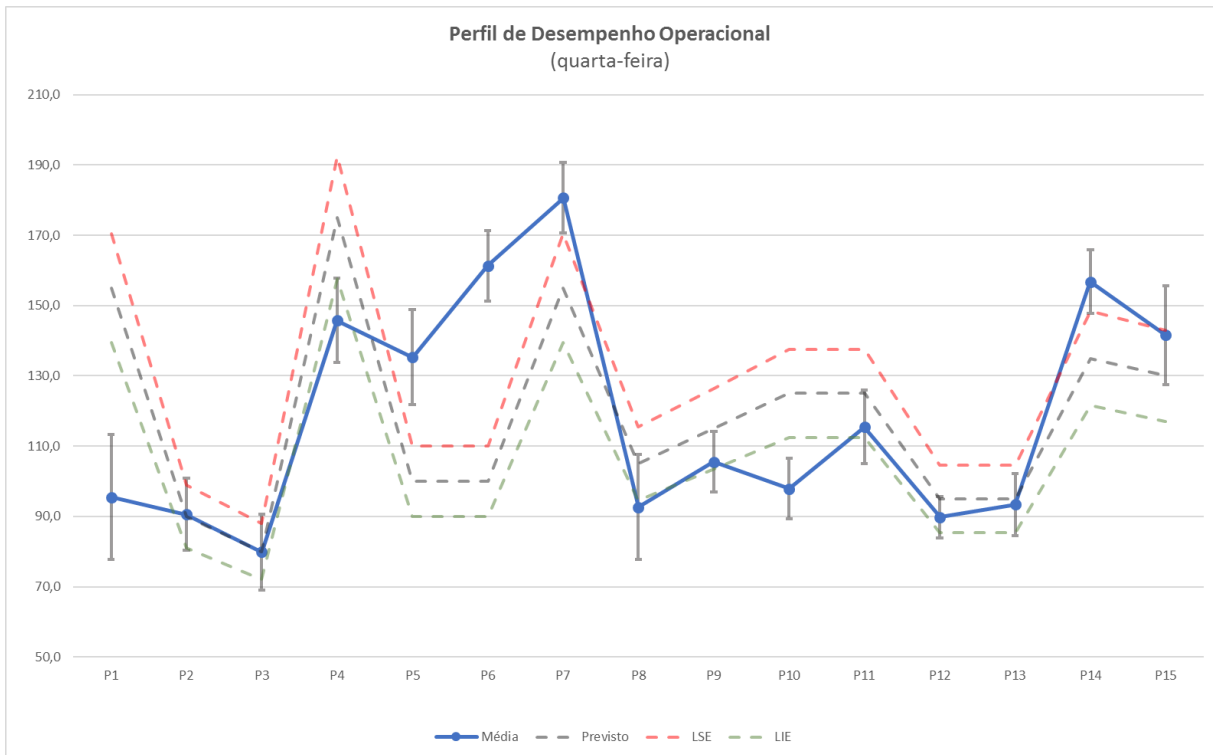


Figura 5. Perfil operacional da quarta-feira

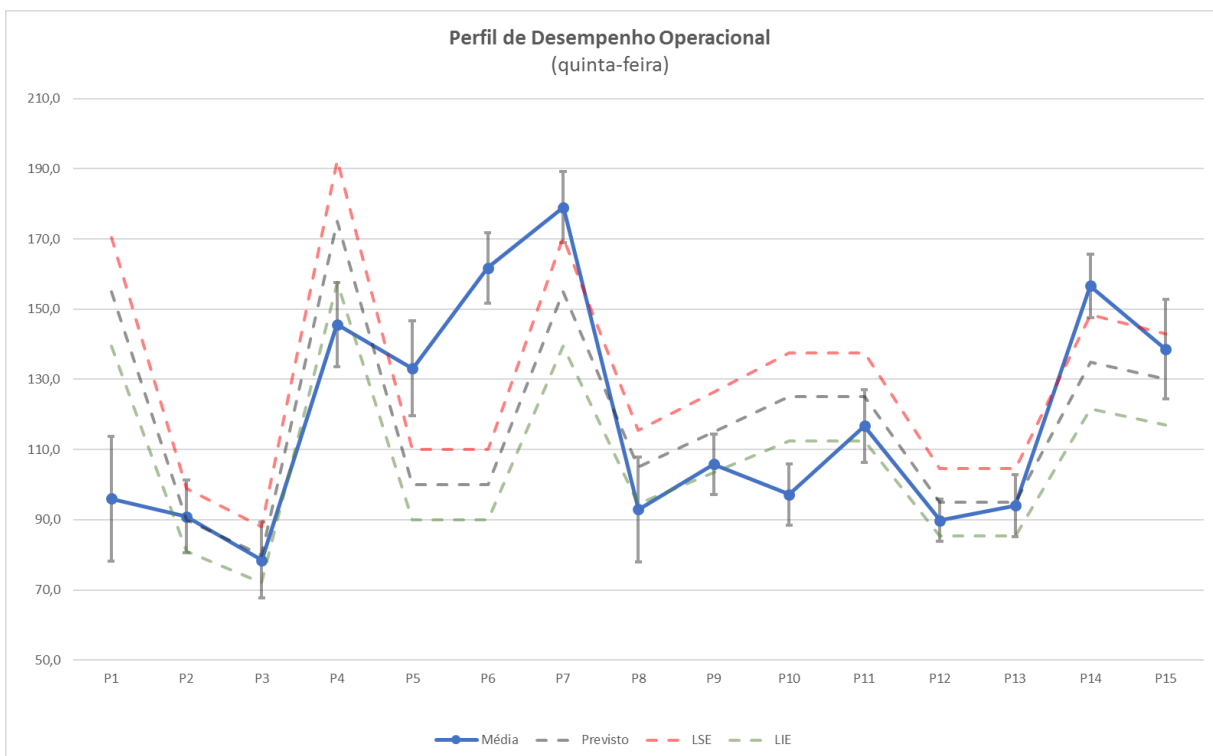


Figura 6. Perfil operacional da quinta-feira

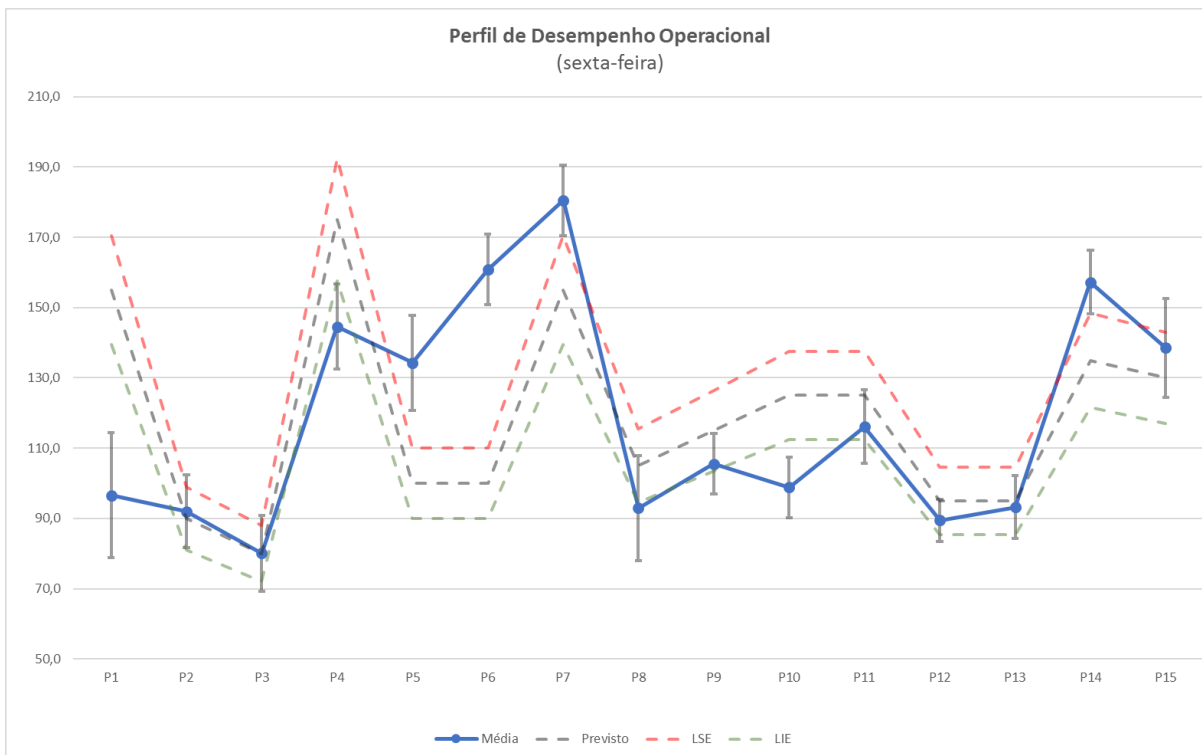


Figura 7. Perfil operacional da sexta-feira

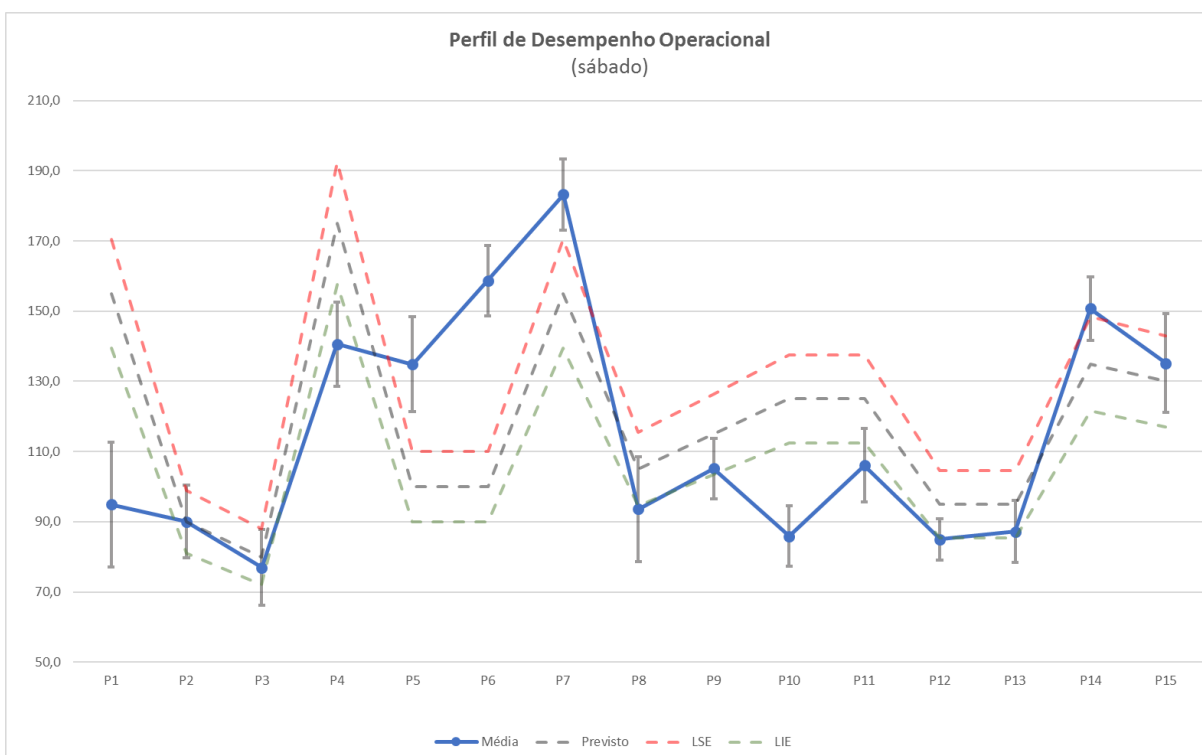


Figura 8. Perfil operacional do domingo

Embora tenham sido comprovadas as diferenças nos tempos médios de cada dias da semana, foram considerados prioritários para ações de melhoria aqueles com maiores

desvios entre a meta e os tempos realizados, além de elevada variabilidade desses tempos. Os seguimentos classificados em função de sua não conformidades, são:

a) Desvio da meta:

- P6;
- P7;
- P10;
- P11, E
- P14.

b) Elevada variabilidade (fora dos limites especificados de 10%):

- P8, E
- P15.

c) Desvio da meta e elevada variabilidade (fora dos limites especificados 10%):

- P1, E
- P5;

Vale ressaltar que o critério utilizado para considerar um desvio ou variabilidade elevada foi a sua distância em relação à meta e aos limites superiores e inferiores de 10%, estipulados como nível máximo de aceitação pela companhia.

Por essa razão, os segmentos identificados como prioritários devem sofrer uma investigação específica para identificar as causas dos desvios e para que se possa elaborar um plano de ações para corrigi-los.

3.4) Elaboração dos gráficos de controle para os segmentos prioritários

Por fim, esta etapa consiste na elaboração dos gráficos de controle para os segmentos selecionados como prioritários para as ações de melhoria.

É importante salientar que este estudo está limitado ao diagnóstico e à seleção dos trechos prioritários para atuação específica em campo para determinar as causas reais dos desvios. Portanto, para ilustrar como este trabalho deverá ser direcionado e conduzido com as equipes de campo, um gráfico de controle foi elaborado para um dos dias, referente ao segmento P1.

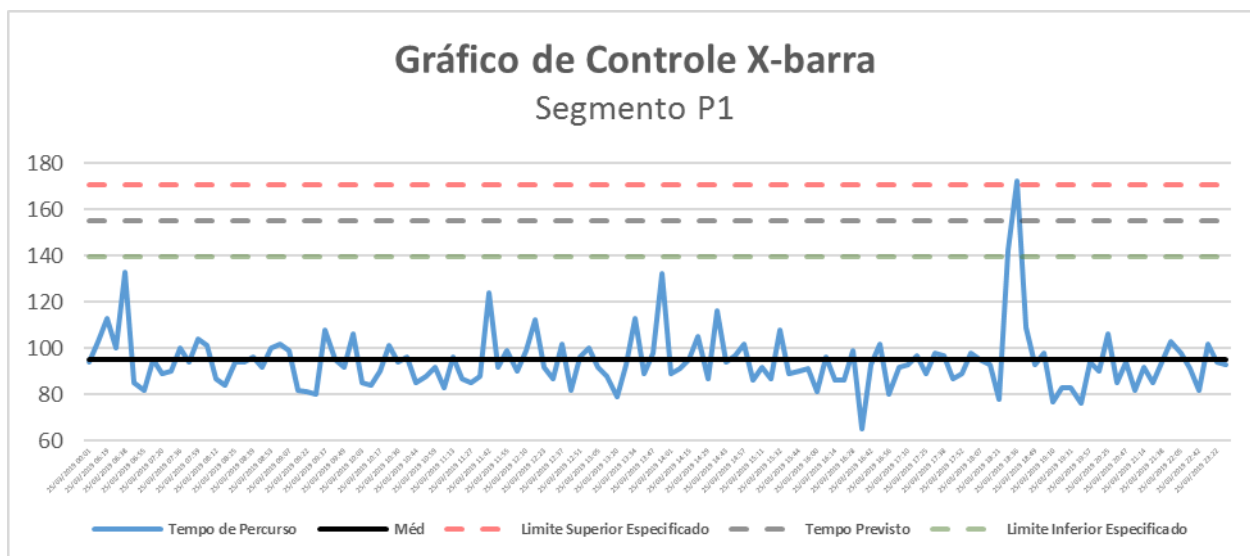


Figura 9. Gráfico de controle do segmento P1, referente ao dia 25 de março de 2019.

A Figura 9 apresenta todos os tempos de percurso registrados no segmento P1 no dia 25 de março de 2019, das 06h00 às 23h59. Pelo gráfico, nota-se um desvio da média para baixo do valor previsto (situação favorável), indicando uma oportunidade de redução do tempo previsto em aproximadamente 60 segundos. Além disso, nota-se elevada variabilidade em alguns momentos que precisam ser analisadas de maneira intensiva, a fim de prover maior regularidade do tempo de percurso praticado.

Com relação ao perfil de variabilidade e com base nas observações de apenas um dia, é indicada uma investigação mais aprofundada visando ações que resultem em maior controle do processo, de modo que seus tempos fiquem dentro dos limites superior e inferior especificados.

Por fim, a cada ação assumida no processo, o gráfico de controle deve ser atualizado e analisado para acompanhamento e garantia da efetividade dessas ações. Sem esse acompanhamento, a qualidade pode diminuir sem que se identifique as causas raízes dos desvios.

CONCLUSÕES

A contribuição deste trabalho está no uso de um método estatístico livre de distribuição (não paramétrico) para tornar mais precisa a identificação das oportunidades de melhoria no que tange à eficiência operacional de um veículo leve sobre trilhos. Embora os tempos de viagem de toda a linha satisfaçam os previstos, a consideração da variabilidade aprimorou a interpretação das estimativas dos tempos médios dos percursos, cujos valores passam a ter um controle estatístico referente à qualidade, processo para o qual este artigo também provê breves instruções.

A partir desses fatos, conclui-se que diminuir e tornar estável a variabilidade dos tempos entre as estações resultará na regularidade e na redução total dos tempos previstos, aumentando a eficiência operacional, que induzirá os passageiros de outros modais a escolherem o VLT como solução de seus deslocamentos.

Os dados obtidos do estudo estão limitados aos períodos considerados e tiveram como objetivo fornecerem valores numéricos a serem usados na metodologia do diagnóstico do problema e orientação para o direcionamento da atuação das equipes operacionais em campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A.; ELLIAN, S; NOBRE, J. **Modificações e alternativas aos testes de Levene e de Brown e Forsythe para igualdade de variâncias e médias.** Revista Colombiana de Estadística, v.31, no 2 (dez), pp.241-260, 2008.

LOPES, L. A. S. **Apostila de capacidade ferroviária.** Rio de Janeiro: IME, 2019.

LOPES, Paulo Afonso. **Probabilidades e Estatística: conceitos, modelos, aplicações em EXCEL.** Reichmann&Affonso Editores, 1ª. edição, 3ª. reimpressão, 2003.

MONTGOMERY, Douglas C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros.** 4ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade.** 7ª. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

NIST/SEMATECH **e-Handbook of Statistical Methods**, Disponível em:
<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>, Acesso em 26/4/2019.