

### **CATEGORIA 3**

## **DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA PARA ALOCAÇÃO ÓTIMA DAS JORNADAS DE TRABALHO EM UM VLT**

### **AUTORES**

*Vitor Nunes Cruz: Engenheiro de Produção, graduado pela Universidade Federal de Ouro Preto. Mestrando em Engenharia de Transportes, pelo Instituto Militar de Engenharia (IME). Atua na Concessionária do VLT Carioca como Coordenador de Engenharia Operacional.*

### **INTRODUÇÃO**

O principal objetivo deste trabalho é a apresentação dos resultados práticos de uma ferramenta, desenvolvida em Excel, para alocação ótima da escala de trabalho dos condutores em uma operação de VLT (veículo leve sobre trilhos), baseada em métodos de programação linear inteira.

Deste a sua implementação, a ferramenta tem sido um instrumento de auxílio ao time de operações do VLT Carioca, na tarefa de alocação destes recursos de forma equilibrada, de tal maneira que sejam preservadas as condições contratuais e restrições legais de trabalho, especificidades práticas do contexto operacional deste sistema e,

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



sobretudo, as limitação de recursos humanos imposta pelos desdobramentos da pandemia do Covid-19.

A busca pela otimização de recursos e a maximização da capacidade produtiva são fatores fundamentais para geração de valor em qualquer tipo de organização. Em alguns casos mais extremos, em que há escassez de recursos financeiros, a gestão eficiente dos recursos torna-se crucial para manutenção e, até mesmo, sobrevivência destas companhias.

Imersas no cenário de pandemia ocasionado pelo Covid-19, as empresas de transporte, sobretudo empresas do segmento público que dependem de incentivos governamentais para custear sua operação, apresentam-se como as maiores interessadas em instrumentos que favoreçam o racionamento de seus recursos, visando a garantia do equilíbrio econômico-financeiro de sua operação.

Nesta ótica, este trabalho primou pelo alcance da eficiência operacional, no que tange a alocação de recursos humanos na operação do VLT, a curto prazo, médio e longo prazo, de tal forma que atenda às necessidades mínimas operacionais da demanda de passageiros e as restrições de recursos apresentadas pela companhia no período pandêmico.

## **DIAGNÓSTICO**

### **1. CONTEXTUALIZAÇÃO**

O VLT Carioca, como a grande maioria dos sistemas de transporte metroferroviários, depende de operadores, denominados condutores, para pilotar as composições (trens) em sua malha ferroviária, portanto, este recurso humano é imprescindível para funcionamento básico do sistema.

Alinhada com as diretrizes da companhia e planejamento operacional exigido pela demanda de passageiros, um dos grandes desafios na gestão destes recursos é alocar estes profissionais em jornadas diárias e escalas de trabalho, de modo que a quantidade de operadores atenda às necessidades operacionais e atinja seu efetivo mínimo, porém sem que as suas condições trabalhistas, legais e pessoais, fossem desrespeitadas.

Assim, a criticidade desta tarefa agravou-se ainda mais no período de pandemia, visto que o volume de passageiros transportado registrou uma queda abrupta, chegando a patamares na ordem de 90% da demanda anteriormente praticada, o qual levou às companhias de transporte adotarem medidas críticas para a atenuação da crise econômica, como é o caso da MP 935/20 (Programa Emergencial de Manutenção do Emprego e da Renda).

Neste sentido, as equipes de Engenharia e Operações do VLT Carioca se engajaram no desenvolvimento de uma ferramenta capaz de prover, em poucos minutos, a alocação ótima destes operadores de forma que os aspectos de produtividade e atendimento da

demanda pudessem ser distribuídos em jornadas diárias e escalas de trabalho, em substituição dos métodos empíricos, dos quais a solução prima pelo atendimento da demanda, mas não considera se a solução possui um condição de otimalidade.

## **2. A FERRAMENTA**

Totalmente desenvolvida no software Excel, a elaboração da ferramenta foi baseada em poucas fórmulas, exploração do módulo suplementar Solver<sup>1</sup> e, principalmente, uma interface amigável e processamento ágil, dos quais pudessem ser manejados com facilidade para desenvolvimento de vários cenários operacionais.

Dividida em 2 etapas de processamento, conforme os horizontes de planejamento, curto prazo e médio/longo prazo, a ferramenta demanda do seu usuário apenas as seguintes premissas para busca da solução:

- Demanda de condutores por faixa horária;
- Data de início da escala.

---

<sup>1</sup> “O Solver é um suplemento do Microsoft Excel que você pode usar para teste de hipóteses. Use o Solver para encontrar um valor ideal (máximo ou mínimo) para uma fórmula em uma célula — conforme restrições, ou limites, sobre os valores de outras células de fórmula em uma planilha. O Solver trabalha com um grupo de células, chamadas variáveis de decisão ou simplesmente de células variáveis, usadas no cálculo das fórmulas nas células de objetivo e de restrição. O Solver ajusta os valores nas células variáveis de decisão para satisfazer aos limites sobre células de restrição e produzir o resultado que você deseja para a célula objetiva.” (**Support Microsoft**)

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



DEMANDA DE CONDUTORES - DIA ÚTIL (SEG - QUI)											
	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	3
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1
4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	2
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	22	17	17	17	17	22	22	22	22	22	14

**Figura 1 – Entrada da demanda de condutores por faixa horária**

A partir da inserção destas premissas, o usuário então utiliza as funções do complemento do Excel, Solver, para processamento das informações e atendimento das premissas estabelecidas para o cenário produtivo.

Como *output* da ferramenta, são obtidas às seguintes telas:

1. Indicação das jornadas de trabalho:

Jornadas (J)	n	Faixa Horária (H)																		
		05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
J1	2																			
J8	10																			
J12	8																			
J15	2																			
J26	5																			
J29	2																			
J30	1																			
J33	9																			
J37	2																			
J44	3																			
J51	8																			

**Figura 2 – Resultado da alocação das Jornadas de Trabalho Diária**

2. Indicação das escalas de trabalho:

TURNO D		S1							S2			
		qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb
Escala	Quantidade											
E6	2	[Bar chart showing work allocation for E6 in S1]							[Bar chart showing work allocation for E6 in S2]			
E21	2	[Bar chart showing work allocation for E21 in S1]							[Bar chart showing work allocation for E21 in S2]			
E34	2	[Bar chart showing work allocation for E34 in S1]							[Bar chart showing work allocation for E34 in S2]			
E62	2	[Bar chart showing work allocation for E62 in S1]							[Bar chart showing work allocation for E62 in S2]			
E75	2	[Bar chart showing work allocation for E75 in S1]							[Bar chart showing work allocation for E75 in S2]			
E90	2	[Bar chart showing work allocation for E90 in S1]							[Bar chart showing work allocation for E90 in S2]			

**Figura 3 – Resultado da alocação das Escalas Trabalho**

É importante salientar que toda a modelagem do problema e parametrização das possibilidades de jornadas de trabalho, escalas regulamentadas na companhia e demais especificidades operacionais são previamente elaboradas na ferramenta, de tal maneira que esta assuma condição específica e dedicada, neste caso, à operação do VLT Carioca. Além disso, a ferramenta demanda a indicação de necessidade de recursos hora a hora, logo, a qualidade das informações de entrada influencia consideravelmente nos resultados obtidos, como qualquer ferramenta computacional.

No caso do VLT Carioca, a ferramenta é capaz de testar em poucos segundos a aplicação de um universo de 52 possibilidades de jornadas de trabalho diária e 98 variações dos ciclos da escala de trabalho regulamentada na companhia, indicando a melhor opção, ou seja, aquela que solicita o menor número de condutores para operar o sistema.

## **ANÁLISE DOS RESULTADOS**

A primeira experimentação prática do modelo foi implementada em julho/20, após os devidos ajustes e adequações da ferramenta para a sua versão final, sua aplicação tem se apresentado como um importante instrumento na retomada operacional após os meses mais intensos do período de quarentena, na cidade do Rio de Janeiro, proporcionando os ganhos operacionais conforme a Tabela 1, abaixo:

**Tabela 1**

<b>Mês Referência (ano 2020)</b>	<b>Condutores Disponíveis para Operação</b>	<b>Cobertura de Trens (Método Empírico)</b>	<b>Cobertura de Trens (Aplicação da Ferramenta)</b>	<b>Reforço Operacional (Nº de Trens Adicionais)</b>
Julho	73 condutores	12 trens	15 trens	3 trens extras para circulação
Agosto	92 condutores	18 trens	22 trens	4 trens extras para circulação
Setembro	92 condutores	18 trens	22 trens	4 trens extras para circulação
Novembro	92 condutores	18 trens	22 trens	4 trens extras para circulação
Dezembro	110 condutores	23 trens	23 trens	<b>Redução do efetivo para 96 condutores.</b>

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



Conforme os resultados apresentados na Tabela 1, os meses de julho/20 a novembro/20 apresentaram ganhos voltados para a produtividade, promovendo uma expansão da capacidade operacional do sistema para atendimento da demanda projetada<sup>2</sup> com base no cenário de retomada pós medidas de flexibilização da quarentena. Já em dezembro, quando o efetivo disponível seria capaz de atender plenamente a capacidade máxima do sistema, seus ganhos foram representados em um cenário de possível redução do efetivo para 96 condutores, ou seja, vantagens econômicas direta para a companhia.

---

<sup>2</sup> A demanda projetada pela companhia considera os estudos de demanda e projeções baseadas em dados históricos e benchmarking para a retomada do contexto operacional pré-pandemia. Para satisfação das condições de transporte, os cenários de lotação dos trens consideram um parâmetro de 2 passageiros/m<sup>2</sup>.

## **CONCLUSÕES**

Ao final do trabalho, a ferramenta apresentou resultados de forma satisfatória, capaz de otimizar o número total de operadores, ora para expansão da qualidade operacional e ora para prover melhores resultados econômicos para a companhia. Ademais, todos os resultados respeitam estritamente as exigências legais e atendimento da demanda projetada, em consonância com os desdobramentos gerados pela pandemia do Coronavirus.

Adicionalmente, é válido destacar que a ferramenta não apresenta nível de complexidade que possa desfavorecer à sua utilização sistemática, tanto em operadores de transporte quanto outros segmentos, garantindo a implementação de um regime de eficiência operacional com baixíssimo esforço econômico e operacional.

Por fim, a ferramenta ascende a possibilidade para novos ensaios visando a otimização de recursos humanos empregados em outras equipes operacionais da companhia, como manutenção, agentes de estação, fiscalização, ou qualquer outro efetivo que trabalhe em regime de escala em linha com o volume operacional.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALVES, R; DELGADO, C. Programação Linear Inteira. Faculdade de Economia do Porto, 1997. Disponível em <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/74369/2/17998.pdf>>. Acesso em: 15, maio de 2020.

BARBOZA, A. O; CARNIERI, C. Técnicas da Pesquisa Operacional no Problema de Horários de Atendentes em Centrais Telefônicas. Revista Gestão & Produção. Volume 10. Número 1. p. 109-127. 2003.

BOAVENTURA NETTO, P. O. Grafos: Teoria, Modelos e Algoritmos. 3a edição, Editora Edgard Blucher Ltda, 2003.

CONSTANTINO, A. A. Otimização de escala de trabalho para condutores de trem: sequenciamento de tarefas e alocação baseada em preferência declarada. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção – Departamento de Engenharia de Produção e Sistema, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 1997.

REIS, S. A; LEAL, J. E. A deterministic mathematical model to support temporal and spatial decisions of the soybean supply chain. Journal of Transport Geography. Volume 43. p. 48-58. 2015.

TRIBUNAL SUPERIOR DO TRABALHO. Jornada de Trabalho, 2020. Regras de jornadas de trabalho brasileira. Disponível em: <<http://www.tst.jus.br/jornada-de-trabalho>>. Acesso em: 20, maio de 2020.

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



WINSTON, Wayne L. Operations Research – Applications and Algorithms, Third Edition,  
Duxbury Press, 1994.