



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 3

FERRAMENTA AUTOMATIZADA PARA GERAÇÃO DINÂMICA DE GRÁFICOS

HORÁRIOS APLICADOS À REGULAÇÃO FERROVIÁRIA



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

1. INTRODUÇÃO

A TIC Trens é a concessionária responsável pela operação da Linha 7-Rubi e pela implantação do Trem Intercidades (TIC) Eixo Norte, empreendimento que ampliará a ligação ferroviária entre a Região Metropolitana de São Paulo e Campinas. A execução desse projeto envolve intervenções na infraestrutura ferroviária existente, incluindo obras, adequações operacionais e períodos de interdição programada, exigindo constantes revisões no planejamento da circulação dos trens para garantir a continuidade da operação com segurança e eficiência.

Operação integrada

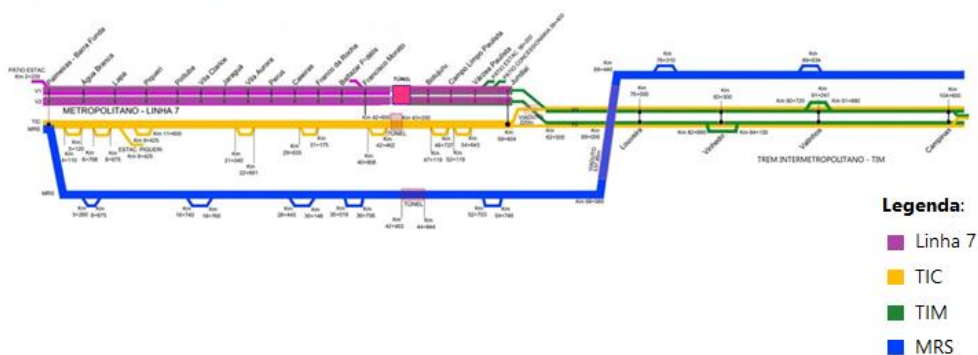


Figura 1 – Linha 7-Rubi com o Trem Intercidade (TIC) Eixo Norte. Fonte: Secretaria de Parcerias e Investimentos.

Nesse contexto, o gráfico horário constitui uma das principais ferramentas de planejamento operacional, representando graficamente a circulação dos trens ao longo do tempo e do espaço. Por meio dele, é possível visualizar horários de partida e chegada,



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

tempos de percurso, cruzamentos e demais características da operação, servindo como base para a elaboração de estratégias operacionais tanto em condições normais quanto em situações de contingência.

Entretanto, a elaboração de novos gráficos horários para atender alterações operacionais ainda representa um processo predominantemente manual, demandando tempo, conhecimento técnico e interação entre diferentes áreas. Em cenários que exigem rápida adaptação da circulação, como interdições de via, serviços parciais, alterações de headway e outras ocorrências operacionais, essa limitação pode comprometer a agilidade na tomada de decisão e dificultar a avaliação de diferentes alternativas de operação.

Diante desse cenário, este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta automatizada para geração dinâmica de gráficos horários, concebida para apoiar o planejamento operacional ferroviário. A solução permite parametrizar diferentes cenários de circulação e gerar automaticamente gráficos horários e informações operacionais complementares, proporcionando maior agilidade na elaboração de novas grades de circulação e apoiando tanto o Centro de Controle Operacional (CCO) quanto a Engenharia de Operações na análise e implementação de soluções operacionais.



Figura 2 – Principais elementos de um Gráfico Horário. Fonte: Elaborado pelo Autor



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Além da representação gráfica da circulação, o gráfico horário também apresenta um rodapé com informações operacionais resumidas, conforme ilustrado na Figura 2. Esse conjunto de informações permite identificar rapidamente parâmetros importantes da grade de circulação, como o tempo total de percurso entre os terminais, a quantidade de viagens programadas, a quantidade de trens necessários para a operação e os headways aplicados em cada trecho e período operacional.

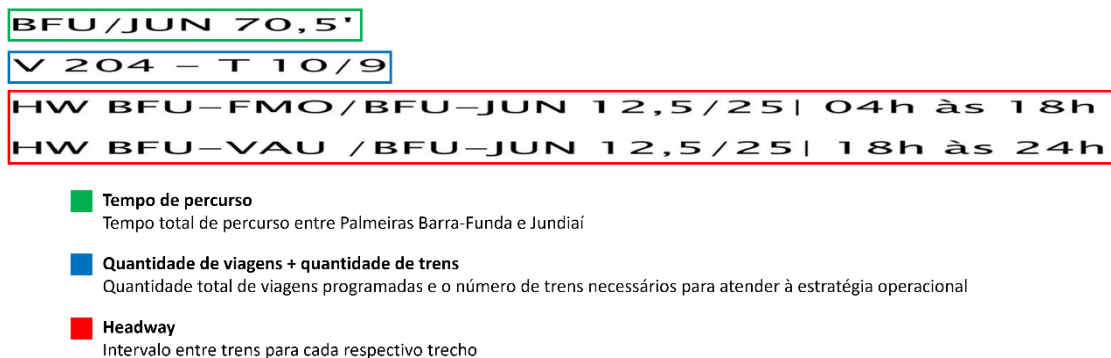


Figura 3 – Informações operacionais no rodapé do Gráfico Horário. Fonte: Elaborado pelo Autor

2. DIAGNÓSTICO

O presente diagnóstico tem como objetivo contextualizar o processo de elaboração de gráficos horários no ambiente ferroviário, destacando as principais limitações enfrentadas na adaptação da circulação em cenários operacionais dinâmicos. A partir dessa análise, busca-se evidenciar a necessidade de uma ferramenta capaz de apoiar o



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

planejamento operacional e a tomada de decisão, reduzindo o tempo de elaboração de novos gráficos e ampliando a flexibilidade para avaliação de diferentes estratégias de circulação.

2.1 Elaboração convencional dos gráficos horários

A elaboração de gráficos horários representa uma das principais atividades do planejamento operacional ferroviário, sendo conduzida pela Engenharia de Operações. Esse processo consiste na definição da estratégia de circulação dos trens, contemplando horários de partida e chegada, tempos de percurso, cruzamentos, headway, serviços parciais, inserções de trens e demais parâmetros necessários para a construção da grade operacional.

Em condições normais de operação, esse planejamento atende adequadamente às necessidades da circulação ferroviária. Entretanto, qualquer alteração significativa na infraestrutura ou na estratégia operacional exige a revisão da grade previamente estabelecida, tornando necessária a elaboração de um novo gráfico horário compatível com as restrições e objetivos do cenário em análise.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

2.2 Desafios operacionais em situações de contingência

A implantação do Trem Intercidades (TIC) Eixo Norte prevê diversas intervenções na infraestrutura da Linha 7-Rubi, incluindo ampliações, adequações operacionais e interdições programadas. Cada uma dessas intervenções pode modificar significativamente a dinâmica da circulação ferroviária, exigindo adaptações na estratégia operacional e, conseqüentemente, a elaboração de novos gráficos horários.

Além das intervenções planejadas, a operação ferroviária também está sujeita a situações imprevistas, como indisponibilidade de vias, falhas de equipamentos, limitações operacionais e outras ocorrências que exigem respostas rápidas por parte do Centro de Controle Operacional (CCO). Nesses cenários, torna-se necessário avaliar diferentes estratégias de circulação em curto espaço de tempo, buscando minimizar impactos à operação e preservar a segurança e a regularidade do serviço.

Entretanto, a elaboração convencional de gráficos horários demanda tempo e conhecimento técnico especializado. Em muitos casos, diferentes alternativas operacionais precisam ser construídas e comparadas antes da definição da solução mais adequada. Essa necessidade de reconstrução manual dos gráficos reduz a agilidade do processo decisório e dificulta a análise simultânea de múltiplos cenários operacionais.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

2.3 Necessidade de uma ferramenta de apoio à tomada de decisão

Diante desse contexto, identificou-se a necessidade de uma ferramenta capaz de apoiar tanto a Engenharia de Operações quanto o Centro de Controle Operacional na elaboração de novos gráficos horários de forma rápida, padronizada e flexível.

Mais do que automatizar o desenho de um gráfico, a ferramenta proposta permite parametrizar diferentes cenários operacionais por meio da configuração de tempos de percurso, headways, serviços completos, serviços parciais, inserções de trens, interdições de via e demais informações necessárias para a construção da grade operacional. A partir desses parâmetros, o sistema gera automaticamente o gráfico horário e as informações operacionais associadas, reduzindo significativamente o tempo necessário para elaboração de novos cenários.

Essa abordagem amplia a capacidade de análise das equipes envolvidas, permitindo comparar diferentes estratégias operacionais antes da sua implementação e contribuindo para decisões mais rápidas, consistentes e alinhadas às necessidades da operação ferroviária.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esta seção apresenta o desenvolvimento da ferramenta proposta, sua arquitetura, principais funcionalidades e a aplicação em um cenário operacional real. Também são discutidos os resultados obtidos e os benefícios proporcionados ao planejamento da



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

circulação ferroviária, evidenciando sua contribuição para o apoio à tomada de decisão em diferentes contextos operacionais.

3.1 Desenvolvimento da ferramenta

A ferramenta foi desenvolvida com o objetivo de reduzir o tempo necessário para elaboração de gráficos horários e ampliar a capacidade de análise de diferentes cenários operacionais. Seu desenvolvimento buscou substituir atividades repetitivas e predominantemente manuais por um processo automatizado, permitindo que alterações operacionais fossem refletidas rapidamente na geração de novas grades de circulação.

Desde sua concepção, a ferramenta foi projetada para ser flexível, possibilitando a parametrização dos principais elementos que compõem um gráfico horário ferroviário, de forma que diferentes estratégias operacionais possam ser simuladas antes de sua implementação.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

3.2 Arquitetura da ferramenta

A solução foi desenvolvida utilizando a linguagem Python para processamento das informações e geração automática dos gráficos horários em formato PDF. A interface de parametrização foi implementada em Microsoft Excel, permitindo que o usuário configure os parâmetros operacionais sem necessidade de conhecimento em programação.

A arquitetura da ferramenta foi estruturada de forma modular, separando a entrada de dados, o processamento das informações e a geração do gráfico horário. Essa abordagem facilita futuras evoluções da solução e possibilita a incorporação de novas funcionalidades.



Figura 4 – Fluxo simplificado de funcionamento da ferramenta. Fonte: Elaborado pelo Autor



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

 dados.xlsx		13/07/2026 19:58	Planilha do Micro...	76 KB
 gerar_grafico.bat		07/04/2026 16:01	Arquivo em Lotes ...	1 KB
 grafico_cco.pdf		09/07/2026 03:03	Chrome PDF Doc...	271 KB

Figura 5 – Estrutura de utilização da ferramenta. Fonte: Elaborado pelo Autor

Conforme ilustrado na Figura 5, o processo é composto por três elementos principais. O arquivo “dados.xlsx” funciona como interface de parametrização, onde o usuário informa os parâmetros operacionais necessários para a geração da grade de circulação. Após o preenchimento dessas informações, a execução do arquivo “gerar_grafico.bat” inicia automaticamente o processamento dos dados pela aplicação desenvolvida em Python. Como resultado, é gerado o arquivo “grafico_cco.pdf”, contendo o gráfico horário completo e as informações operacionais correspondentes.

3.3 Interface e funcionalidades

A interface foi desenvolvida com foco na simplicidade de utilização e na padronização das informações inseridas pelo usuário. Por meio da tela principal, é possível acessar as funcionalidades de parametrização operacional, configuração dos tempos de percurso, definição dos horários de partida, inserção de serviços parciais e geração automática do gráfico horário.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CONFIGURAÇÃO GERAL			TEMPO DE PERCURSO				SERVIÇO PARCIAL					RODAPÉ	
Nome do gráfico			Via 1	Tempo	Via 2	Tempo	Origem	Destino	Headway	Primeira partida	Última partida	TEMPO DE PERCURSO	
Modo de operação			BFU → ABR		JUN → VPL		via 1					Trecho	Tempo
Hora inicial			ABR → LPA		VPL → CLP		via 2						
Hora final			LPA → PQR		CLP → BTJ		via 1						
			PQR → PRT		BTJ → FMO		via 2						
			PRT → VCL		FMO → BFI								
			VCL → JRG		BFI → FDR								
			JRG → VAU		FDR → CAI								
			VAU → PRU		CAI → PRU								
			PRU → CAI		PRU → VAU								
			CAI → FDR		VAU → JRG								
			FDR → BFI		JRG → VCL								
			BFI → FMO		VCL → PRT								
			FMO → BTJ		PRT → PQR								
			BTJ → CLP		PQR → LPA								
			CLP → VPL		LPA → ABR								
			VPL → JUN		ABR → BFI								
			Total via 1	0	Total via 2	0							

Versão 1.0

Figura 6 – Entrada de dados: planilha “dados.xlsx”. Fonte: Elaborado pelo Autor

3.4 Parametrização operacional

A ferramenta permite parametrizar diferentes características da operação ferroviária por meio de planilhas estruturadas em Microsoft Excel. Entre os parâmetros disponíveis destacam-se: configuração geral do gráfico, tempo de percurso entre estações, inserções dos trens, serviços completos e parciais, dados de uma possível interdição e informações que aparecerão no rodapé do gráfico horário.

3.4.1 Configuração geral

Figura 7 apresenta a seção Configuração Geral, responsável pela definição dos parâmetros iniciais da ferramenta. Nessa etapa, o usuário informa o nome do gráfico, seleciona o modo de operação (manual ou automático) e define o intervalo de tempo contemplado pela grade, por meio das horas inicial e final de operação.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CONFIGURAÇÃO GERAL			TEMPO DE PERCURSO				SERVIÇO PARCIAL					RODAPÉ	
Nome do gráfico	AEAMESP - ARTIGO TÉCNICO		Via 1	Tempo	Via 2	Tempo	Origem	Destino	Headway	Primeira partida	Última partida	TEMPO DE PERCURSO	
Modo de operação	manual		BFU → ABR		JUN → VPL		Via 1					Trecho	Tempo
Hora inicial	3		ABR → LPA		VPL → CLP		Via 2						
Hora final	26		LPA → PQR		CLP → BTJ		Via 1						
			PQR → PRT		BTJ → FMO		Via 2						
			PRT → VCL		FMO → BFI								
			VCL → JRG		BFI → FDR								
			JRG → VAU		FDR → CAI								
			VAU → PRU		CAI → PRU								
			PRU → CAI		PRU → VAU								
			CAI → FDR		VAU → JRG								
			FDR → BFI		JRG → VCL								
			BFI → FMO		VCL → PRT								
			BTJ → CLP		PRT → PQR								
			CLP → VPL		LPA → ABR								
			VPL → JUN		ABR → BFI								
			Total via 1	0	Total via 2	0							

Versão 1.0

Home

Pronto Acessibilidade: investigar

Figura 7 – Preenchimento da tabela “CONFIGURAÇÃO GERAL”. Fonte: Elaborado pelo Autor

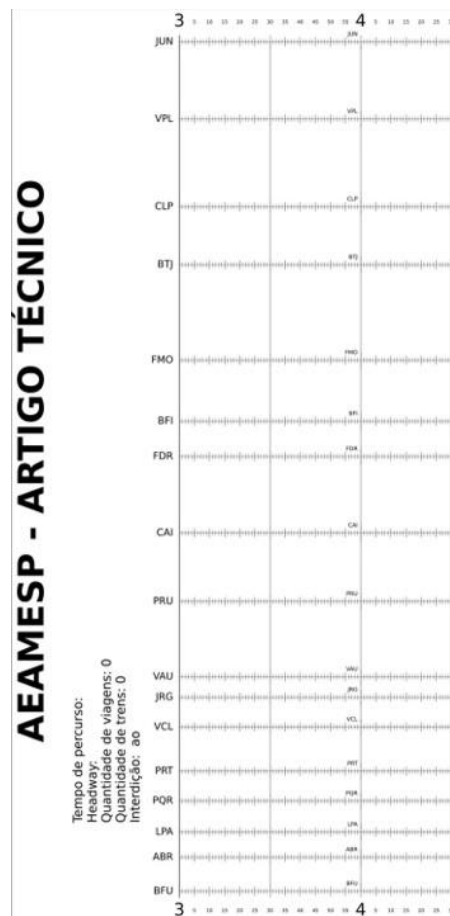


Figura 8 – Gráfico gerado pela ferramenta. Fonte: Elaborado pelo Autor



Figura 9 – Preenchimento da tabela “TEMPO DE PERCURSO”. Fonte: Elaborado pelo Autor



A Figura 11 apresenta o gráfico horário gerado automaticamente pela ferramenta a partir dos parâmetros inseridos pelo usuário. Observa-se que os tempos de percurso representados no gráfico correspondem exatamente aos valores parametrizados na etapa de configuração, demonstrando a consistência do processamento e a fidelidade entre os dados de entrada e o resultado gerado.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

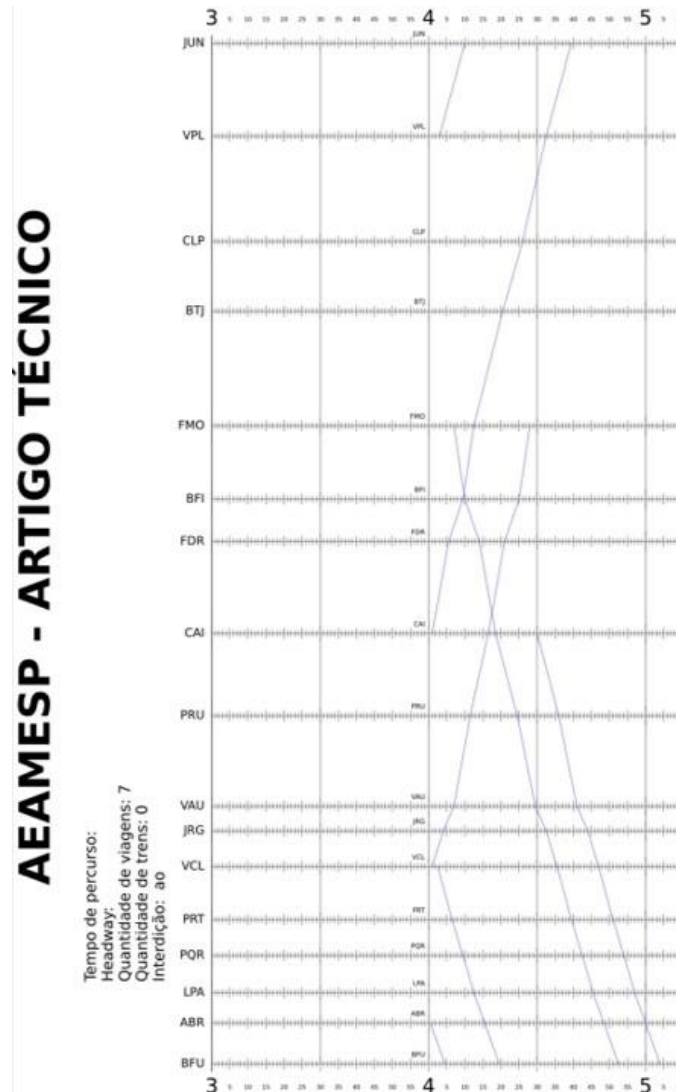


Figura 11 – Gráfico gerado pela ferramenta. Fonte: Elaborado pelo Autor

3.4.4 Serviço completo

A configuração do serviço completo é responsável pela definição da programação regular da circulação. O usuário informa apenas a origem, o destino, o headway e os horários da primeira e da última partida. A partir dessas informações, a ferramenta gera



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

automaticamente todas as partidas previstas para o período operacional, reduzindo significativamente o tempo de elaboração da grade e minimizando erros decorrentes de lançamentos manuais.

CONFIGURAÇÃO GERAL		
Nome do gráfico	AEAMESP - ARTIGO TÉCNICO	
Modo de operação	manual	
Hora inicial	3	
Hora final	26	

TEMPO DE PERCURSO		
Via 1	Tempo	Via 2
BFU → ABR	3	JUN → VPL
ABR → LPA	3	VPL → CLP
LPA → PQR	3	CLP → BTJ
PQR → PRT	3	BTJ → FMO
PRT → VCL	4	FMO → BFI
VCL → JRG	3	BFI → FDR
JRG → VAU	3	FDR → CAI
VAU → PRU	4,5	CAI → PRU
PRU → CAI	5	PRU → VAU
CAI → FDR	4,5	VAU → JRG
FDR → BFI	4	JRG → VCL
BFI → FMO	3	VCL → PRT
FMO → BTJ	8	PRT → PQR
BTJ → CLP	5,5	PQR → LPA
CLP → VPL	6,5	LPA → ABR
VPL → JUN	7	ABR → BFI
Total via 1	70	Total via 2
		72,5

SERVIÇO COMPLETO				
Origem	Destino	Headway	Primeira partida	Última partida
BFU	JUN	30	04:00:00	00:00:00
JUN	BFU	30	04:10:00	00:04:00

SERVIÇO PARCIAL			
Origem	Destino	Headway	Primeira partida

RODAPÉ	
Tempo de percurso	
Trecho	Tempo

HEADWAY	
Trecho	Tempo

INTERDIÇÃO			
Domínio início	Sinal início	Domínio final	Sinal final

HORÁRIO DA INTERDIÇÃO	
Hora inicial	Hora final

INSTRUÇÕES

- Preencha os campos somente nas células amarelas
- Salve o arquivo Excel
- Feche o Excel
- Execute o sistema (gener_grafico.bat)

Figura 12 – Preenchimento da tabela “SERVIÇO COMPLETO”. Fonte: Elaborado pelo Autor

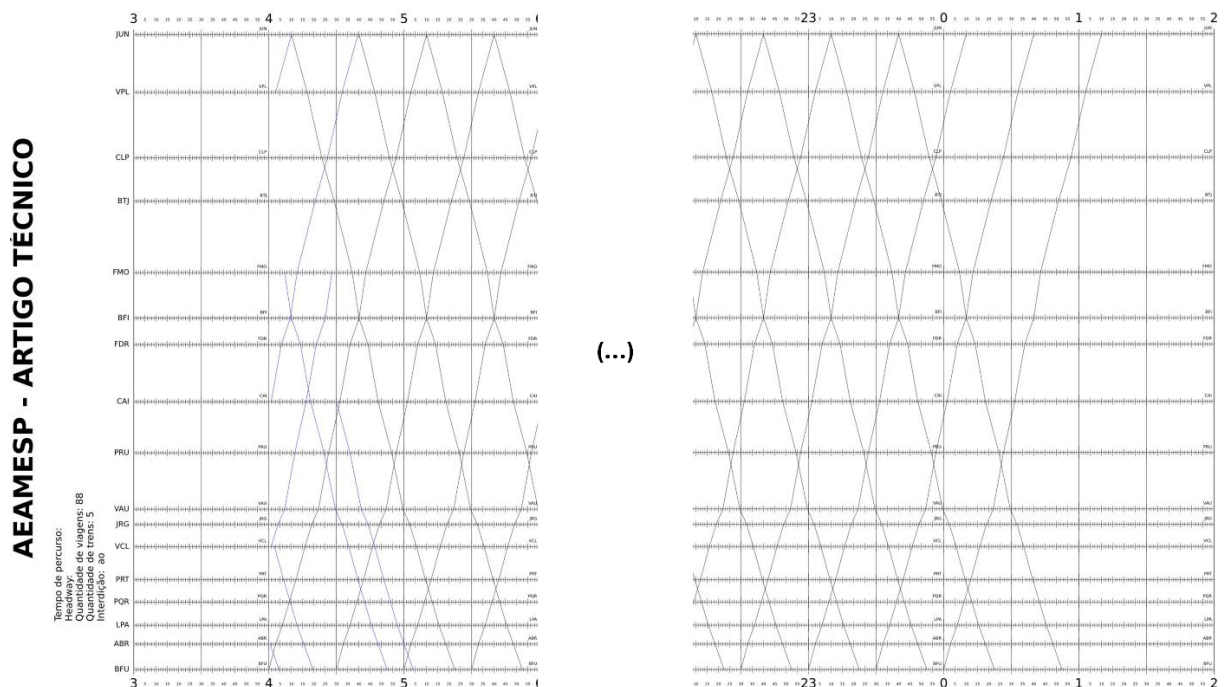


Figura 13 – Gráfico gerado pela ferramenta (trecho intermediário omitido para melhor visualização). Fonte: Elaborado pelo Autor



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

3.4.5 Serviço parcial

Destinada à programação de trens que operam apenas em determinados trechos da linha, a Figura 14 apresenta a configuração dos serviços parciais. Essa funcionalidade permite simular estratégias operacionais frequentemente utilizadas em situações de maior demanda, restrições de infraestrutura ou intervenções programadas, nas quais nem todas as viagens percorrem o trajeto completo. Após a definição dos parâmetros pelo usuário, a ferramenta gera automaticamente essas circulações e as incorpora ao gráfico horário.

CONFIGURAÇÃO GERAL			TEMPO DE PERCURSO				SERVIÇO PARCIAL					RODAPE		
Nome do gráfico	AEAMESP - ARTIGO TÉCNICO		Via 1	Tempo	Via 2	Tempo	Origem	Destino	Headway	Primeira partida	Última partida	TEMPO DE PERCURSO		
Modo de operação	manual		BFU → ABR	3	JUN → VPL	7	via 1	BFU	FMO	30	04:15:00	00:15:00	Trecho	Tempo
Hora inicial	3		ABR → LPA	3	VPL → CLP	6,5	via 2	FMO	BFU	30	04:22:00	00:22:00		
Hora final	26		LPA → PQR	3	CLP → BTJ	5,5	via 1							
			PQR → PRT	3	BTJ → FMO	8	via 2							
			PRT → VCL	4	FMO → BFI	3								
			VCL → JRG	3	BFI → FDR	4								
			JRG → VAU	3	FDR → CAI	4,5								
			VAU → PRU	4,5	CAI → PRU	6								
			PRU → CAI	5	PRU → VAU	5								
			CAI → FDR	4,5	VAU → JRG	3								
			FDR → BFI	4	JRG → VCL	3								
			BFI → FMO	3	VCL → PRT	4								
			FMO → BTJ	8	PRT → PQR	3								
			BTJ → CLP	5,5	PQR → LPA	3								
			CLP → VPL	6,5	LPA → ABR	3								
			VPL → JUN	7	ABR → BFI	4								
			Total via 1	70	Total via 2	72,5								
			Versão 1.0											
							SERVIÇO COMPLETO					HEADWAY		
							Origem	Destino	Headway	Primeira partida	Última partida	Trecho	Tempo	
							BFU	JUN	30	04:00:00	00:00:00			
							JUN	BFU	30	04:10:00	00:04:00			
							INTERDIÇÃO					INSTRUÇÕES		
							Dominio início	Sinal início	Dominio final	Sinal final	☐ Preencha os campos somente nas células amarelas Salve o arquivo Excel Feche o Excel Execute o sistema (gerar_grafico.bat)			
							HORÁRIO DA INTERDIÇÃO							
							Hora inicial		Hora final					

Figura 14 – Preenchimento da tabela “SERVIÇO PARCIAL”. Fonte: Elaborado pelo Autor



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

AEAMESP - ARTIGO TECNICO

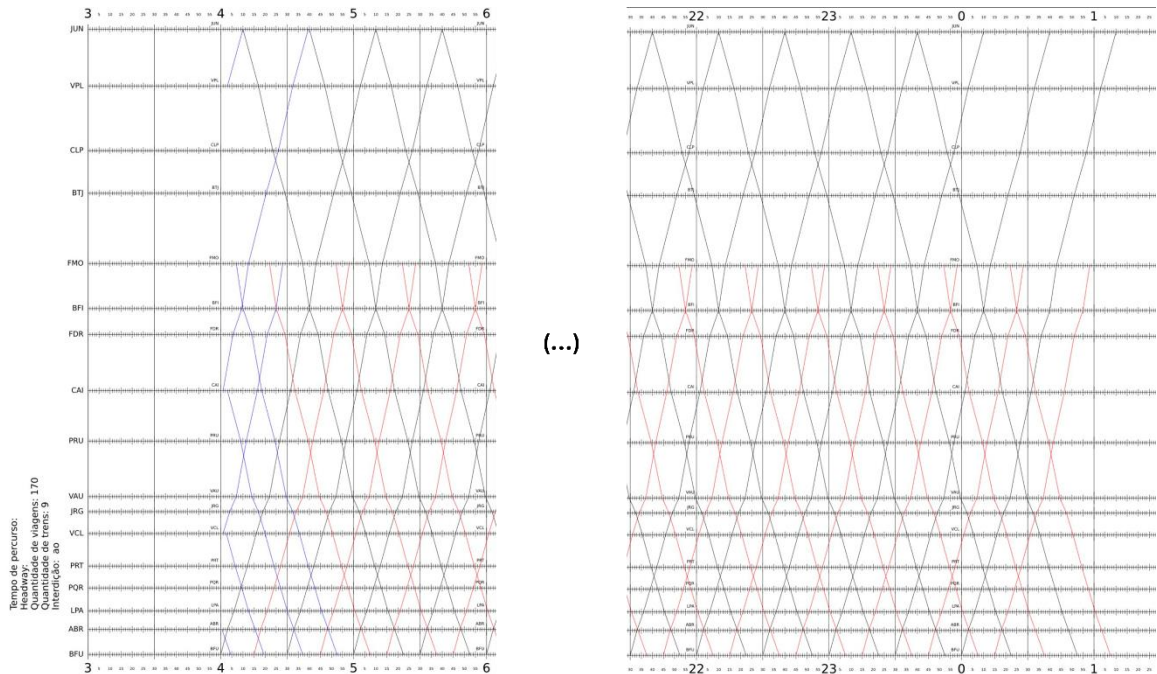


Figura 14 – Gráfico gerado pela ferramenta (trecho intermediário omitido para melhor visualização). Fonte: Elaborado pelo Autor

3.4.6 Interdição e faixa horária

A Figura 15 apresenta a tabela de Interdição, destinada ao cadastro de restrições temporárias entre sinais ferroviários. Como cada sinal delimita um domínio operacional, o usuário pode definir exatamente o trecho afetado pela interdição, bem como sua faixa horária de vigência.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CONFIGURAÇÃO GERAL			TEMPO DE PERCURSO				SERVIÇO PARCIAL					RODAPÉ		
Nome do gráfico	AEAMESP - ARTIGO TÉCNICO		Via 1	Tempo	Via 2	Tempo	Origem	Destino	Headway	Primeira partida	Última partida	TEMPO DE PERCURSO		
Modo de operação	manual		BFU → ABR	3	JUN → VPL	7	via 1	BFU	FMO	30	04:15:00	00:15:00	Trecho	Tempo
Hora inicial	3		ABR → LPA	3	VPL → CLP	6,5	via 2	FMO	BFU	30	04:22:00	00:22:00		
Hora final	26		LPA → PQR	3	CLP → BTJ	5,5	via 1							
			PQR → PRT	3	BTJ → FMO	8	via 2							
INSERÇÕES			PRT → VCL	4	FMO → BFI	3	SERVIÇO COMPLETO					HEADWAY		
Origem	Destino	Horário de partida	VCL → JRG	3	BFI → FDR	4	Origem	Destino	Headway	Primeira partida	Última partida	Trecho		Tempo
VPL	JUN	4:03:00	JRG → VAU	3	FDR → CAI	4,5	BFU	JUN	30	04:00:00	00:00:00			
FMO	BFU	4:07:00	VAU → PRU	4,5	CAI → PRU	6	JUN	BFU	30	04:10:00	00:04:00			
CAI	JUN	4:01:00	PRU → CAI	5	PRU → VAU	5								
CAI	BFU	4:03:00	CAI → FDR	4,5	VAU → JRG	3								
VCL	FMO	4:01:00	FDR → BFI	4	JRG → VCL	3								
VCL	BFU	4:02:30	BFI → FMO	3	VCL → PRT	4								
ABR	BFU	4:00:30	FMO → BTJ	8	PRT → PQR	3								
			BTJ → CLP	5,5	PQR → LPA	3								
			CLP → VPL	6,5	LPA → ABR	3								
			VPL → JUN	7	ABR → BFI	4								
			Total via 1	70	Total via 2	72,5								
			Versão 1.0											

INTERDIÇÃO

Domínio início	Sinal início	Domínio final	Sinal final
PRU	16	CAI	8

HORÁRIO DA INTERDIÇÃO

Hora inicial	Hora final
4:00	0:00

INSTRUÇÕES

- ☐ Preencha os campos somente nas células amarelas
- Salve o arquivo Excel
- Feche o Excel
- Execute o sistema (gerar gráfico.bat)

Figura 15 – Preenchimento das tabelas “INTERDIÇÃO” e “HORÁRIO DA INTERDIÇÃO”.
Fonte: Elaborado pelo Autor

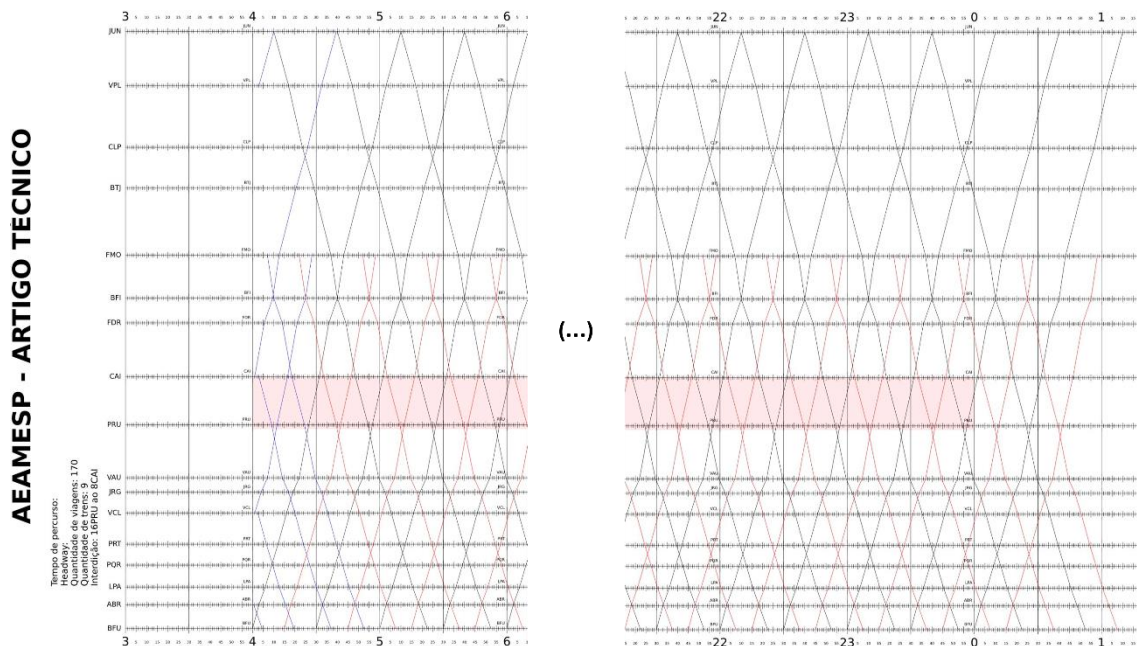


Figura 16 – Gráfico gerado pela ferramenta (trecho intermediário omitido para melhor visualização). Fonte: Elaborado pelo Autor



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

3.4.7 Informações do rodapé do Gráfico Horário

As informações apresentadas no rodapé do gráfico são parametrizadas por meio da tabela ilustrada na Figura 17. Nessa seção, o usuário define os dados operacionais que serão exibidos, como tempo de percurso, quantidade de viagens, quantidade de trens e demais informações relevantes. Após a parametrização, esses dados são inseridos automaticamente no rodapé do gráfico gerado pela ferramenta.

CONFIGURAÇÃO GERAL			TEMPO DE PERCURSO				SERVIÇO PARCIAL					RODAPÉ		
Nome do gráfico	AEAMESP - ARTIGO TÉCNICO		Via 1	Tempo	Via 2	Tempo	Origem	Destino	Headway	Primeira partida	Última partida	Tempo de percurso	Tempo	
Modo de operação	manual		BFU → ABR	3	JUN → VPL	7	via 1	BFU	FMO	30	04:15:00	00:15:00	BFU - JUN	70'
Hora inicial	3		ABR → LPA	3	VPL → CLP	6,5	via 2	FMO	BFU	30	04:22:00	00:22:00	JUN - BFU	72,5'
Hora final	26		LPA → PQR	3	CLP → BTJ	5,5								
			PQR → PRT	3	BTJ → FMO	8								
			PRT → VCL	4	FMO → BFI	3								
			VCL → JRG	3	BFI → FDR	4								
			JRG → VAU	3	FDR → CAI	4,5								
			VAU → PRU	4,5	CAI → PRU	6								
			PRU → CAI	5	PRU → VAU	5								
			CAI → FDR	4,5	VAU → JRG	3								
			FDR → BFI	4	JRG → VCL	3								
			BFI → FMO	3	VCL → PRT	4								
			FMO → BTJ	8	PRT → PQR	3								
			BTJ → CLP	5,5	PQR → LPA	3								
			CLP → VPL	6,5	LPA → ABR	3								
			VPL → JUN	7	ABR → BFU	4								
			Total via 1	70	Total via 2	72,5								
			Versão 1.0											

Figura 16 – Preenchimento da tabela “RODAPÉ”. Fonte: Elaborado pelo Autor



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

AEAMESP - ARTIGO TÉCNICO

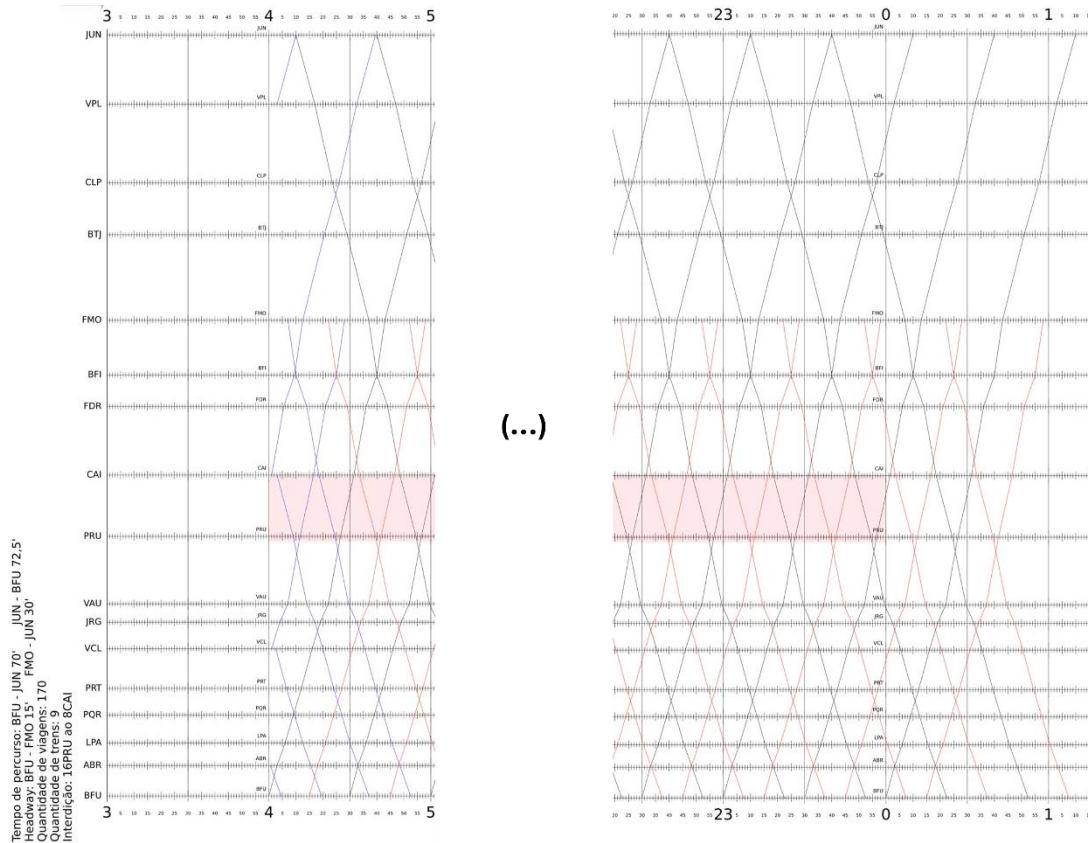


Figura 17 – Gráfico gerado pela ferramenta (trecho intermediário omitido para melhor visualização). Fonte: Elaborado pelo Autor

3.5 Geração automática do gráfico horário

A Figura 17 apresenta um gráfico horário gerado automaticamente pela ferramenta a partir de um cenário configurado no modo de operação manual, simulando uma interdição na via 2 entre os sinais 16 de Perus e 8 de Caieiras (Figura 18). Após a parametrização realizada pelo usuário, a ferramenta processa as informações e gera automaticamente uma nova grade de circulação compatível com as condições operacionais estabelecidas.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

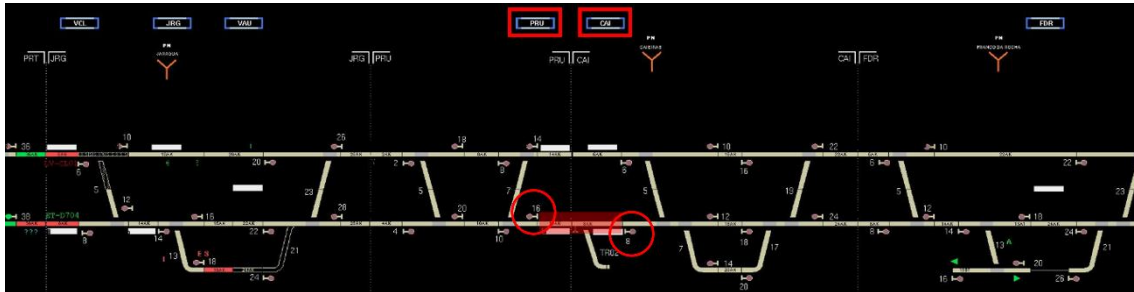


Figura 18 – Painel Sinótico da Linha 7-Rubi. Fonte: Adaptada pelo Autor

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos com a aplicação da ferramenta, por meio da análise de um caso operacional real. São discutidos os benefícios observados durante sua utilização, evidenciando sua contribuição para o planejamento da circulação e o apoio à tomada de decisão.

4.1 Aplicação em um caso operacional real

A Figura 19 apresenta a interdição real implantada entre os sinais 36-PRT e 20-JRG.

Para atender às restrições operacionais impostas por esse cenário, foi elaborado, por meio da ferramenta proposta, o gráfico horário apresentado na Figura 20, contemplando a estratégia de circulação adotada durante o período de interdição.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 19 – Painel Sinótico da Linha 7-Rubi (Interdição entre os sinais 36-PRT e 20JRG). Fonte: Adaptada pelo Autor

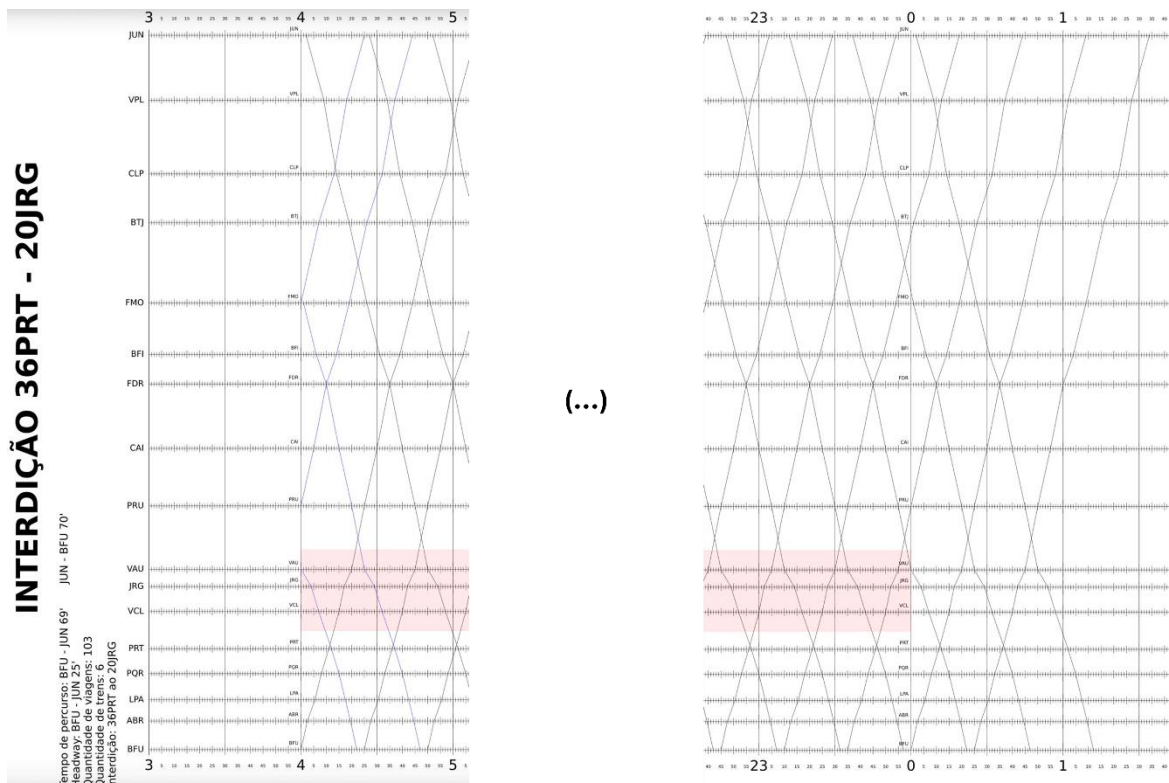


Figura 20 – Gráfico gerado pela ferramenta (trecho intermediário omitido para melhor visualização). Fonte: Elaborado pelo Autor



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 21 – Painel Sinótico da Linha 7-Rubi (cruzamentos entre os trens). Fonte:
Adaptada pelo Autor



Figura 22 – Painel Sinótico da Linha 7-Rubi (cruzamentos entre os trens). Fonte:
Adaptada pelo Autor



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

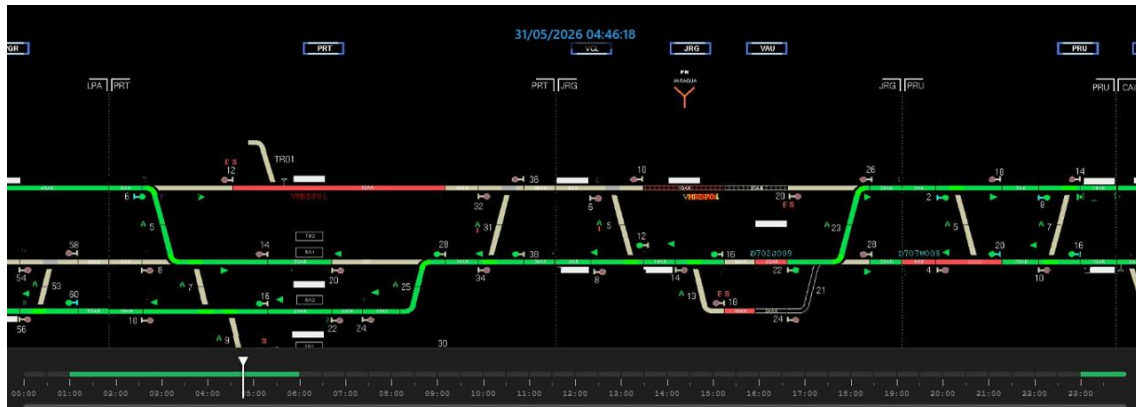


Figura 23 – Painel Sinótico da Linha 7-Rubi (cruzamentos entre os trens). Fonte:
Adaptada pelo Autor

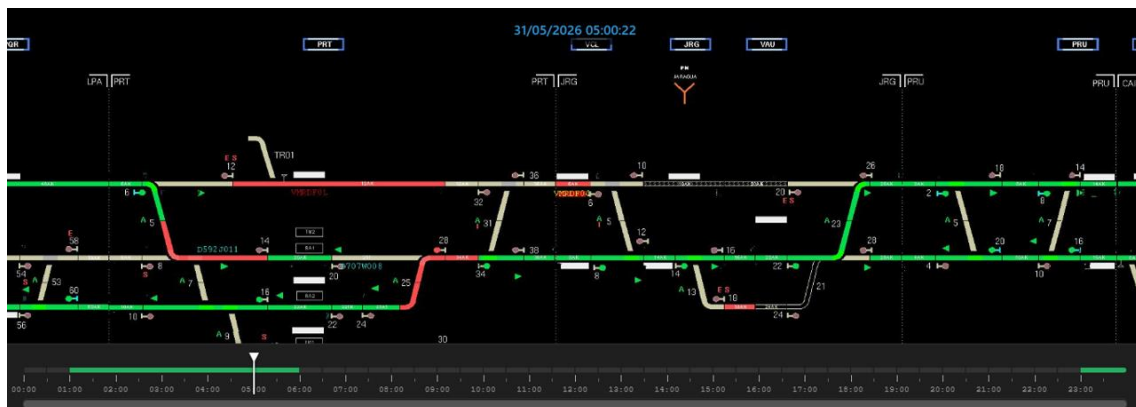


Figura 24 – Painel Sinótico da Linha 7-Rubi (cruzamentos entre os trens). Fonte:
Adaptada pelo Autor



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

5. CONCLUSÕES

O desenvolvimento da ferramenta demonstrou que a automatização da elaboração de gráficos horários representa um importante avanço para o planejamento operacional ferroviário. Ao permitir a parametrização de diferentes cenários e a geração automática de novas grades de circulação, a solução reduz significativamente o tempo necessário para elaboração dos gráficos, padroniza as informações operacionais e amplia a capacidade de análise de alternativas antes da definição da estratégia mais adequada.

A aplicação da ferramenta em uma interdição real entre os sinais 36-PRT e 20-JRG comprovou sua viabilidade prática e sua capacidade de apoiar o planejamento operacional em situações de restrição da infraestrutura. A partir da parametrização do cenário, foi possível elaborar rapidamente uma nova grade de circulação, que foi utilizada durante o período de interdição, demonstrando que a ferramenta pode apoiar efetivamente a tomada de decisão em situações operacionais reais.

Durante a aplicação da estratégia operacional proposta, observou-se uma circulação mais fluida dos trens ao longo do trecho afetado pela interdição. O gráfico elaborado permitiu distribuir adequadamente os cruzamentos e os tempos de circulação, evitando permanências excessivas das composições nas plataformas para aguardo de liberação da via. Como consequência, reduziu-se a percepção de atrasos pelos passageiros, proporcionando uma operação mais regular, previsível e com menor potencial de geração de reclamações durante a execução da intervenção.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Para o Centro de Controle Operacional (CCO), a ferramenta proporciona maior agilidade na elaboração e avaliação de cenários operacionais, permitindo respostas mais rápidas e embasadas diante de ocorrências e intervenções programadas. Para a Engenharia de Operações, representa uma solução que reduz atividades repetitivas na construção de gráficos horários, possibilitando a simulação de diferentes estratégias de circulação em um tempo significativamente menor, aumentando a produtividade e a flexibilidade do planejamento operacional.

Embora tenha sido desenvolvida para atender às necessidades da Linha 7-Rubi, a estrutura da ferramenta permite sua adaptação a outros trechos ferroviários mediante a atualização dos parâmetros operacionais, demonstrando potencial de aplicação em diferentes sistemas ferroviários.

Conclui-se, portanto, que a ferramenta atingiu os objetivos propostos ao oferecer uma solução prática, flexível e de fácil utilização para a geração dinâmica de gráficos horários. Além de reduzir o tempo necessário para elaboração de novas grades de circulação, sua aplicação prática demonstrou que um planejamento operacional mais ágil e preciso, contribuindo diretamente para uma operação mais eficiente, beneficiando simultaneamente as equipes responsáveis pelo planejamento e controle da circulação e os passageiros, por meio de um serviço mais fluido, regular e com maior qualidade percebida.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

5.1 Contribuições do trabalho

Como perspectiva de evolução, encontra-se em desenvolvimento o modo de operação automático, cuja proposta é reduzir ainda mais a intervenção do usuário na elaboração dos gráficos horários. Nessa modalidade, a ferramenta será capaz de gerar automaticamente a grade de circulação a partir das restrições operacionais cadastradas, realizando o cálculo do headway, da quantidade de trens necessários e da distribuição dos prefixos das viagens, entre outras parametrizações. Com essa evolução, espera-se ampliar a capacidade de simulação de diferentes cenários operacionais, tornando o processo de planejamento ainda mais ágil e eficiente.