

**TRILHOS:**  
EFICIÊNCIA E  
NOVOS RUMOS



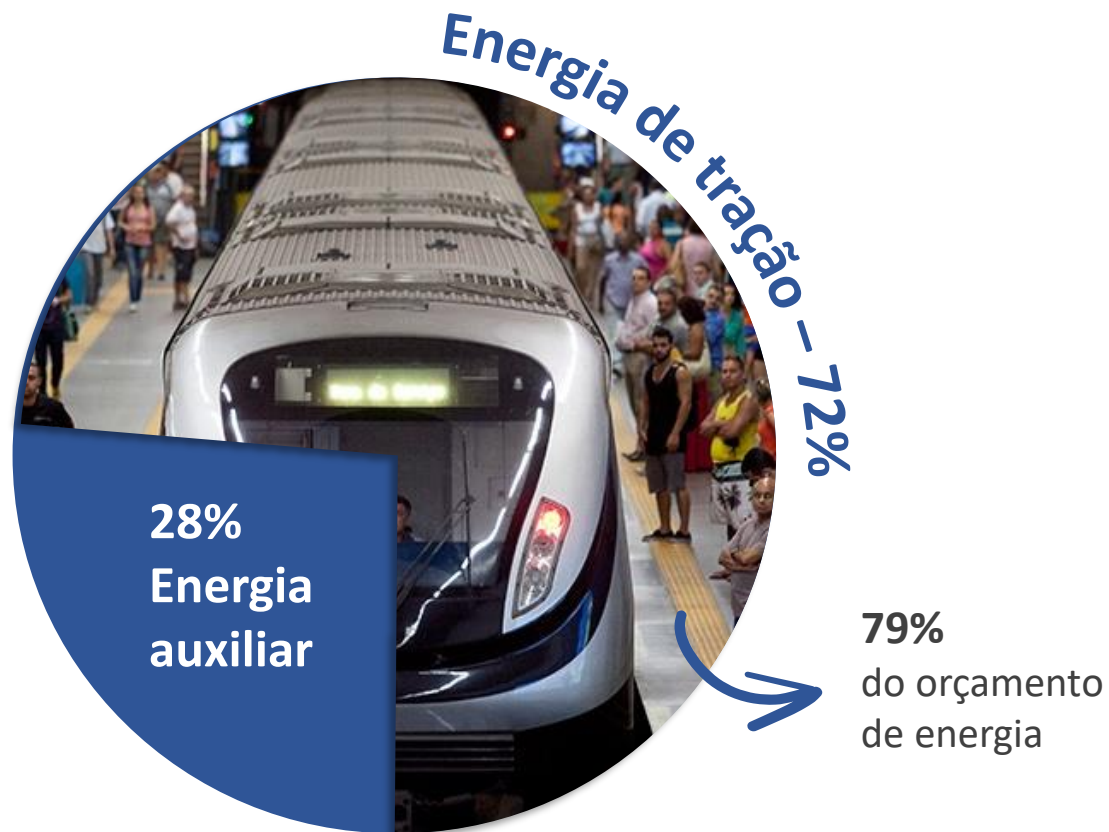
# Curvas Ótimas de Velocidade para a Linha 2 do Metrô do Rio de Janeiro

Yasmin Grassi

# YASMIN GRASSI

Engenheira eletricista, formada pela UFRJ, com pós-graduação em Engenharia Metroferroviária pela CENPEFER/Unigranrio e em Gestão de Projetos de Eficiência Energética pela AHK/UFRJ, tem experiência de seis anos como Engenheira e atualmente é Especialista de Gestão de Energia no MetrôRio.

# CONSUMO DE ENERGIA NO METRÔNIO



# CENÁRIO ECONÔMICO

Crise econômica



Baixos investimentos



Conta de luz fica mais cara e, em vários estados, reajuste é maior que a inflação

# INICIATIVA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Baixo  
investimento



Economia  
relevante

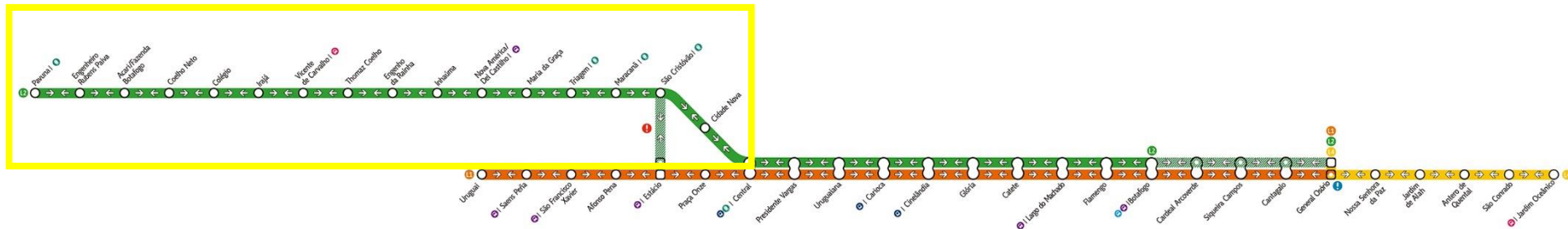


Baixo impacto  
operacional



# PROJETO

Reduzir o **consumo de energia de tração na Linha 2**, a partir da análise de diferentes **cenários de velocidades e acelerações** aplicáveis a este percurso.



# SOFTWARES DE SIMULAÇÃO

**OPEN TRACK**

Simulação de operação (aderência à grade horária)

 **OpenPowerNet**

Análise do consumo de energia de acordo com a operação

# SOFTWARES DE SIMULAÇÃO

Geometria da via (inclinações, distâncias e desvios)

Curva de esforço trator dos trens

Carregamento dos trens

Grade praticada

Aceleração Máxima

Sinalização

Velocidades máximas por trecho

**Open  
Track**

Potência nominal e topologia das estações

Quantidade de cabos

Coefficiente de  
temperatura dos cabos

Temperatura média,  
resistividade e tamanho dos  
cabos, chaves e disjuntores

Pontos de alimentação na via

Regeneração dos trens, cabines de paralelismo  
e seccionadoras de intertravamento

**Open  
Power  
Net**



# SIMULAÇÕES

**Linha 2:** modo manual livre ou manual controlado

	Trecho	Carregamento	Frota CRC	Intervalo		Operação
				Pico	Vale	
Dias úteis	Pavuna – Cidade Nova (16 estações)	Horário de pico (Dia útil)	98%	4:30	7:00	L1: 20 estações L2: 30 estações
Sábados	Pavuna – Estácio (16 estações)	Horário de pico (Dia útil)	100%	7:00	7:00	L1: 20 estações L2: 16 estações
Domingos e feriados	Pavuna – Estácio (16 estações)	Horário de pico (Dia útil)	100%	9:00	9:00	L1: 20 estações L2: 16 estações

# FUNDAMENTOS

Descidas



Aceleração

Velocidade

Tempo

Inércia → Movimento



Energia para o movimento



Consumo

# CURVAS DE VELOCIDADE

**Linha 2:** modo manual livre ou manual controlado

**Subidas**

**Descidas**

Velocidade

70 km/h → 50 km/h

Velocidade

70 km/h → 80 km/h

— Tempo de aceleração



— Energia para o movimento

+ Aproveitamento da energia potencial

# EQUAÇÕES

$$F_T = m a$$

$$V = V_0 + (a t)$$

$$E_p = mgh$$

$$\text{Economia (\%)} = \frac{\text{RESULTADO Cenário construído} - \text{RESULTADO Cenário base}}{\text{RESULTADO Cenário base}} \times 100$$

$$\text{Consumo de Energia} = (\text{Potência média do sistema}) \times \text{tempo}$$

$$\begin{aligned} \text{Economia Consumo de Energia (\%)} &= \text{Economia Potência média sistema (\%)} = \\ &= \frac{\text{Potência média sistema}_{\text{Cenário construído}} - \text{Potência média sistema}_{\text{Cenário base}}}{\text{Potência média sistema}_{\text{Cenário base}}} \times 100 \end{aligned}$$

# ECONOMIA

Redução de **consumo**

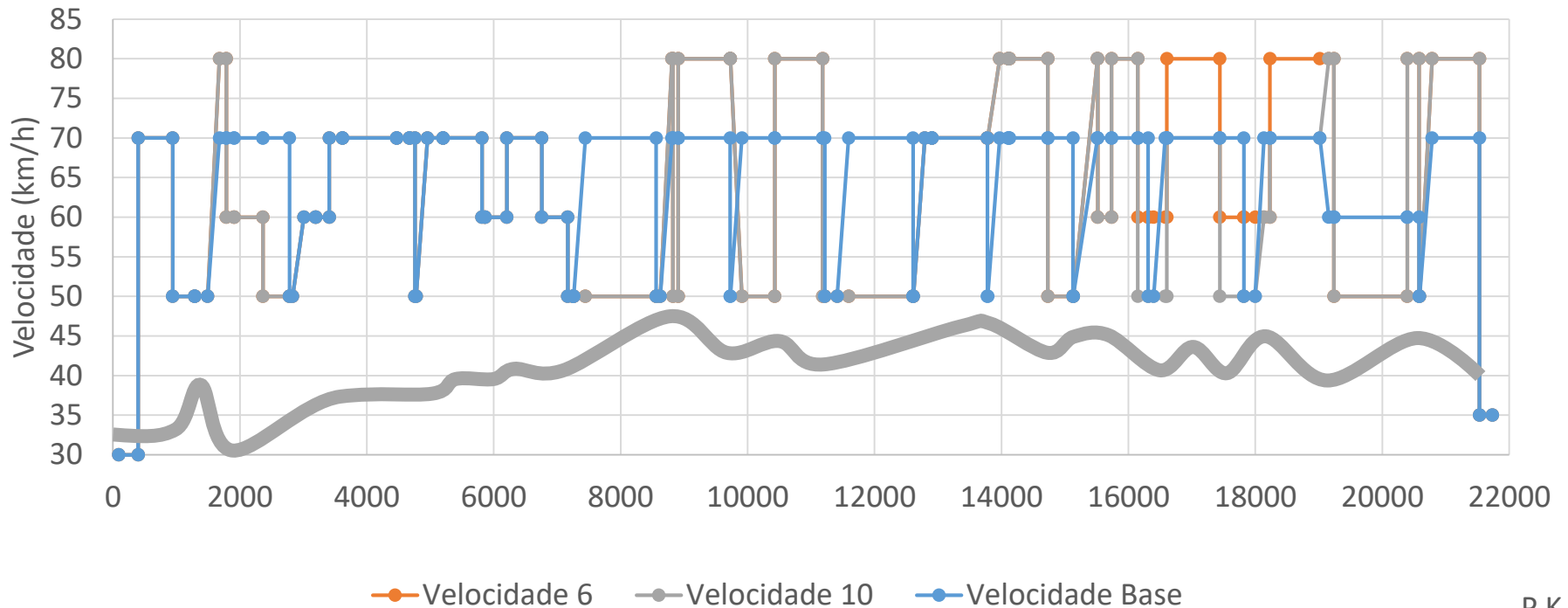
Redução de **máximas potências**

*Economia anual* <sub>consumo</sub> (R\$) = (% de economia) *CONSUMO* x Tarifa x 12 meses

*Economia anual* <sub>demanda</sub> (R\$) = (% de economia) *DEMANDA* x Tarifa x 12 meses

# EXEMPLO DE CURVA DE VELOCIDADE

Comparação entre as velocidades Estácio-Pavuna: base, 6 e 10 (km/h) - Via 2



# ECONOMIA

Economias no consumo para os cenários de **dias úteis – horário de pico**

Cenário	Atraso no tempo de percurso Pavuna – Cidade nova (s)	Atraso no tempo de percurso Cidade Nova – Pavuna (s)	Atrasos nos intervalos (s)	Impacto no consumo (%)	Impacto no orçamento por ano (R\$)
HP 1	0	0	Não houve atraso.	+ 2,82	Não aplicável
HP 2	95	93	Thomaz Coelho – Engenho da Rainha (via 1): 103 Engenheiro Rubens Paiva – Pavuna (via 2): 93	- 9,12	- 630.297
HP 3	13	10	Vicente de Carvalho – Thomaz Coelho (via 1): 49 Engenheiro Rubens Paiva – Pavuna (via 2): 10	- 0,24	- 16.587
HP 4	30	37	Thomaz Coelho – Engenho da Rainha (via 1): 67 Engenheiro Rubens Paiva – Pavuna (via 2): 37	- 3,95	- 272.991
HP 5	21	56	Thomaz Coelho – Engenho da Rainha (via 1): 58 Engenheiro Rubens Paiva – Pavuna (via 2): 56	- 2,69	- 185.910
HP 6	23	56	Thomaz Coelho – Engenho da Rainha (via 1): 60 Engenheiro Rubens Paiva – Pavuna (via 2): 56	- 3,58	- 247.419
HP 7	25	56	Thomaz Coelho – Engenho da Rainha (via 1): 60 Engenheiro Rubens Paiva – Pavuna (via 2): 56	- 5,04	- 348.322
HP 8	27	63	Thomaz Coelho – Engenho da Rainha (via 1): 60 Engenheiro Rubens Paiva – Pavuna (via 2): 63	- 5,97	- 412.596
HP 9	25	56	Thomaz Coelho – Engenho da Rainha (via 1): 60 Engenheiro Rubens Paiva – Pavuna (via 2): 56	- 5,48	- 378.731
HP 10	27	63	Thomaz Coelho – Engenho da Rainha (via 1): 60 Engenheiro Rubens Paiva – Pavuna (via 2): 63	- 6,23	- 430.565

# ECONOMIA

Economias no consumo para os cenários de **dias úteis – horário de vale**

Cenário	Atraso no tempo de percurso Pavuna – Cidade Nova (s)	Atraso no tempo de percurso Cidade Nova – Pavuna (s)	Atrasos nos intervalos (s)	Impacto no consumo (%)	Impacto no orçamento por ano (R\$)
HV 1	0	0	Inhaúma – Del Castilho (via 1): 2 Acari Fazenda Botafogo – Engenheiro Rubens Paiva (via 2): 3	- 19,31	-1.118.726
HV 2	0	0	Inhaúma – Del Castilho (via 1): 2 Acari Fazenda Botafogo – Engenheiro Rubens Paiva (via 2): 3	- 17,65	-1.022.554
HV 3	0	0	Inhaúma – Del Castilho (via 1): 2 Acari Fazenda Botafogo – Engenheiro Rubens Paiva (via 2): 3	- 18,30	-1.060.211
HV 4	0	0	Inhaúma – Del Castilho (via 1): 2 Acari Fazenda Botafogo – Engenheiro Rubens Paiva (via 2): 3	- 20,09	-1.163.915
HV 5	1	0	Inhaúma – Del Castilho (via 1): 2 Acari Fazenda Botafogo – Engenheiro Rubens Paiva (via 2): 4	- 17,25	- 999.380
HV 6	0	0	Inhaúma – Del Castilho (via 1): 2 Acari Fazenda Botafogo – Engenheiro Rubens Paiva (via 2): 3	- 21,02	-1.217.795
HV 7	1	0	Inhaúma – Del Castilho (via 1): 2 Acari Fazenda Botafogo – Engenheiro Rubens Paiva (via 2): 4	- 18,31	-1.060.791
HV 8	0	7	Del Castilho – Maria da Graça (via 1): 18 Acari Fazenda Botafogo – Engenheiro Rubens Paiva (via 2): 15	- 30,02	-1.739.210



# ECONOMIA

Economias no consumo para os cenários de **sábados**

Cenário	Atraso no tempo de percurso Pavuna – Estácio (s)	Atraso no tempo de percurso Estácio – Pavuna (s)	Atrasos nos intervalos (s)	Impacto no consumo (%)	Impacto no orçamento por ano (R\$)
HS 1	4	0	São Cristóvão – Estácio (via 1): 4	- 16,63	- 196.624
HS 2	0	0	Não houve atraso.	- 11,77	- 139.162
HS 3	4	0	São Cristóvão – Estácio (via 1): 4	- 17,47	- 206.556
HS 4	4	0	Del Castilho – Engenho da Rainha (via 1): 15	- 19,55	- 231.149
HS 5	4	0	Del Castilho – Engenho da Rainha (via 1): 15 Coelho Neto – Acari Fazenda Botafogo (via 2): 5	- 22,15	- 261.890

# ECONOMIA

Economias no consumo para os cenários de **domingos e feriados**

Cenário	Atraso no tempo de percurso Pavuna – Estácio (s)	Atraso no tempo de percurso Estácio – Pavuna (s)	Atrasos nos intervalos (s)	Impacto no consumo (%)	Impacto no orçamento por ano (R\$)
HD 1	1	0	Não houve atraso.	- 15,59	147.462
HD 2	4	0	São Cristóvão – Estácio (via 1): 4	- 16,67	157.678
HD 3	4	0	São Cristóvão – Estácio (via 1): 4	- 17,50	165.529
HD 4	4	0	Del Castilho – Engenho da Rainha (via 1): 15	- 20,15	190.594
HD 5	32	0	Triagem – Maracanã (via 1): 46 Maria da Graça – Del Castilho (via 2): 29	- 8,94	84.562
HD 6	4	0	Del Castilho – Engenho da Rainha (via 1): 15 Coelho Neto – Acari/Fazenda Botafogo (via 2): 5	- 22,36	211.498

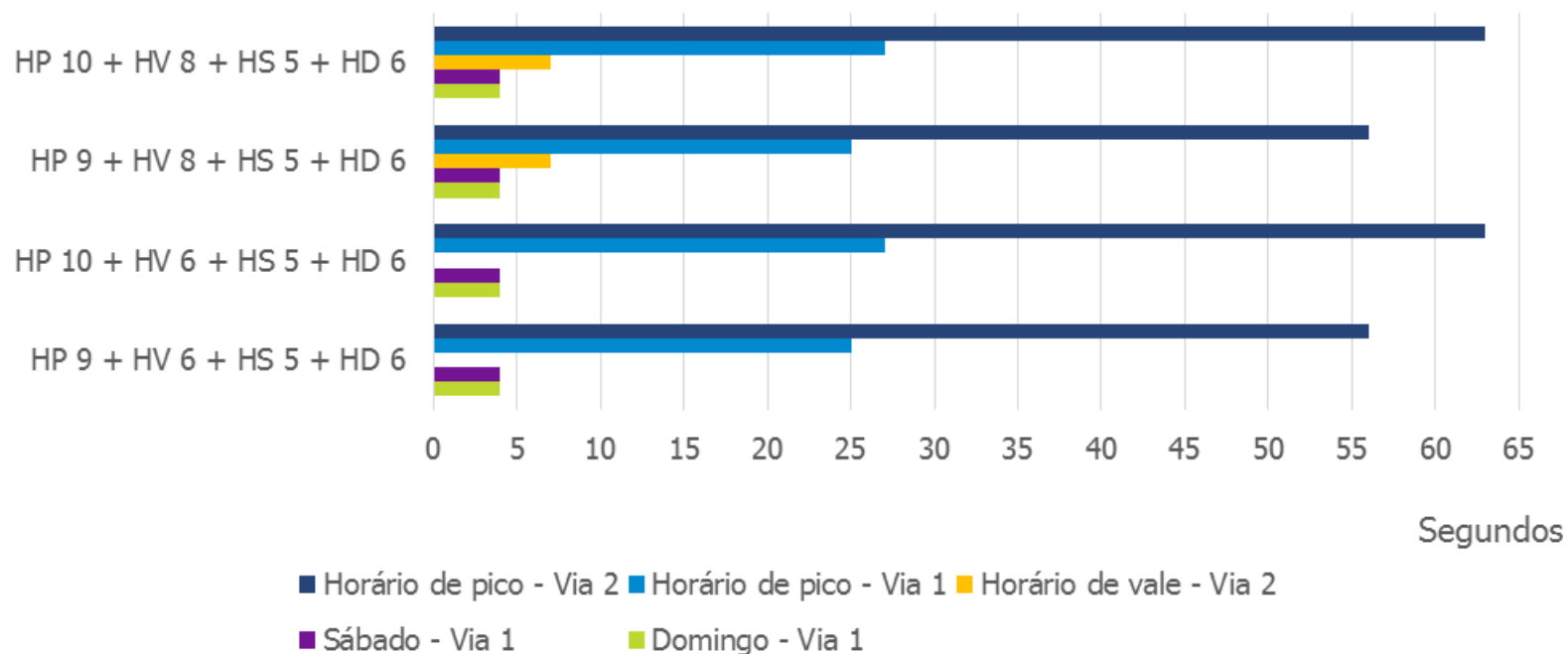
# ECONOMIA

Economias no consumo para os cenários **ótimos**

Cenários	Economia no consumo (%)	Economia no orçamento de energia por ano (R\$)
HP 10 + HV 8 + HS 5 + HD 6	20,8	<b>2.643.164</b>
HP 9 + HV 8 + HS 5 + HD 6	20,5	<b>2.591.330</b>
HP 10 + HV 6 + HS 5 + HD 6	16,4	<b>2.121.748</b>
HP 9 + HV 6 + HS 5 + HD 6	16,1	<b>2.069.915</b>

# ECONOMIA

Atrasos no tempo de percurso para cada cenário **ótimo**



# PRÓXIMOS PASSOS

Novas simulações (alterações de grade)

Aplicação dos cenários ótimos em campo:

- novas placas de velocidade na via
- treinamento
- verificação dos computadores de bordo dos trens

Desenvolvimento de dispositivo embarcado de monitoramento

# PRÓXIMOS PASSOS

Etapa	Atividades	1º mês	2º mês	3º mês	4º ao 12º mês	13º ao 18º mês	19º ao 30º mês
I	Análise com alteração da quantidade de trens						
	Validação em campo						
	Treinamento dos condutores						
	Instalação de novas placas						
	Verificação da economia de R\$ 2 milhões/ano					A partir do 13º mês, depois de iniciadas as atividades do projeto	
II	Desenvolvimento do dispositivo						
	Instalação nos trens						

# TRILHOS: EFICIÊNCIA E NOVOS RUMOS



# Obrigada

Yasmin Grassi  
**MetrôRio**

[ymoura@metrorio.com.br](mailto:ymoura@metrorio.com.br)