

# *Definição do tipo de alimentação em corrente contínua*

Cassiano Lobo Pires  
José Augusto Pereira da Silva  
Romeu Mantovani Jr.

# 1. Tipos de alimentação por modais

	energia [Wh/tkm]	V <sub>máx</sub> [km/h]	ft [trens/hora]	capacidade [pax/h]	distância entre estações [km]	ROW	captação	tensão normalizada
TAV	40-70	>=200	0.04	100	15 a 200	A	RA	25 kVca 15 kVca 3000 Vcc
Regional	50-75	130	10 a 30	8000 a 45000	1.20 a 7.00	A	RA / 3T	25 kVca 15 kVca 3000 Vcc 1500 Vcc 750 Vcc
VLT	60-80	100	20 a 30	6000 a 20000	0.35 a 1.60	A,B	RA / 3T	1500 Vcc 750 Vcc
Metrô	50-80	120	30 a 40	10000 a 60000	0.50 a 2.00	A	RA / 3T	25 kVca 1500 Vcc 750 Vcc

A: segregada  
 B: parcialmente segregada  
 C: não segregada

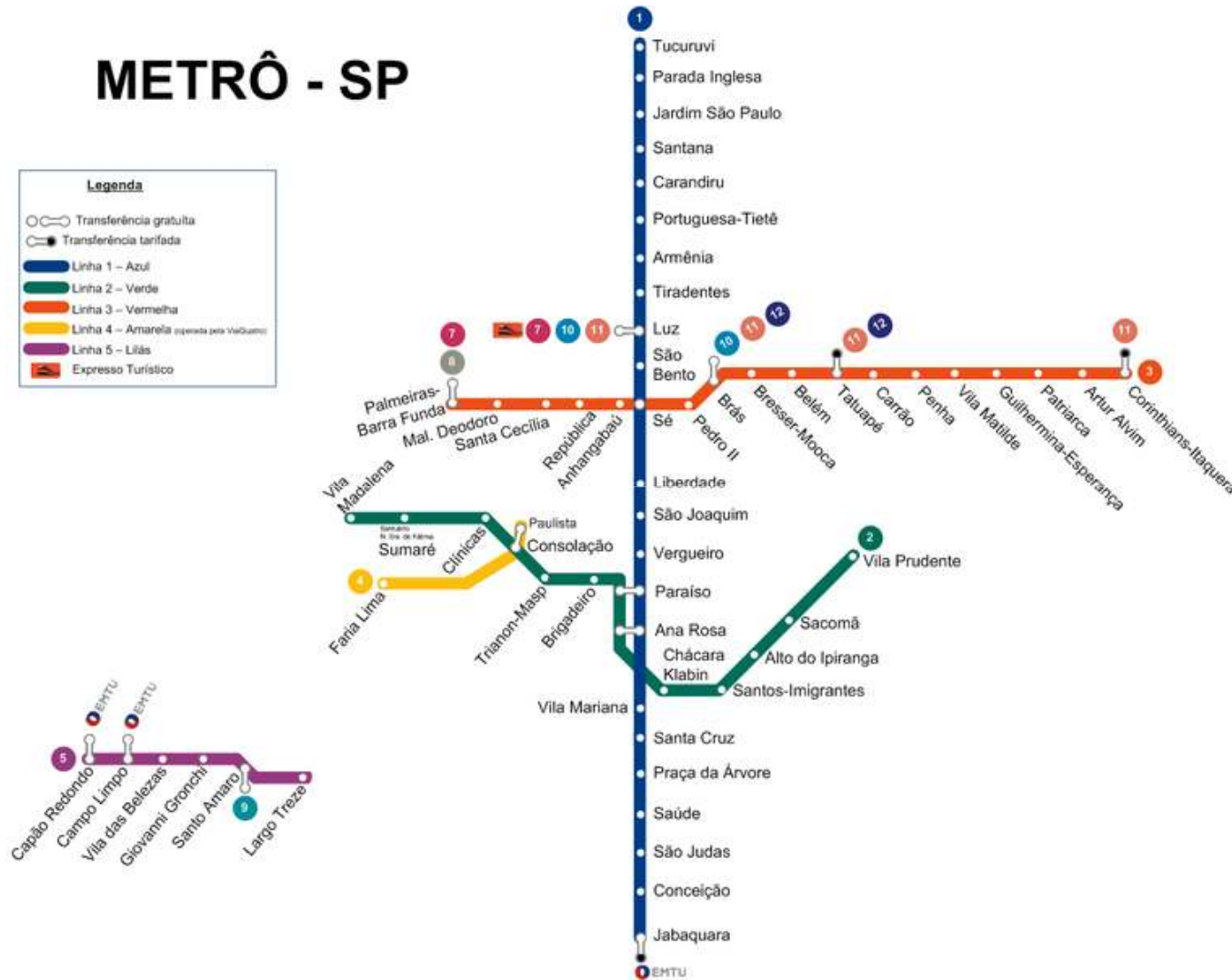
## 2. Situação do Metrô de São Paulo

# 2.1. Situação atual

## METRÔ - SP

**Legenda**

- Transferência gratuita
- ◐ Transferência tarifada
- Linha 1 – Azul
- Linha 2 – Verde
- Linha 3 – Vermelha
- Linha 4 – Amarela (operada pela VILGUEIRO)
- Linha 5 – Lilás
- Expresso Turístico



## 2.1. Situação atual – carregamento e headway

Linha 1

- 48500 [pax/h]
- 109 [s]

Linha 2

- 45300 [pax/h]
- 128 [s]

Linha 3

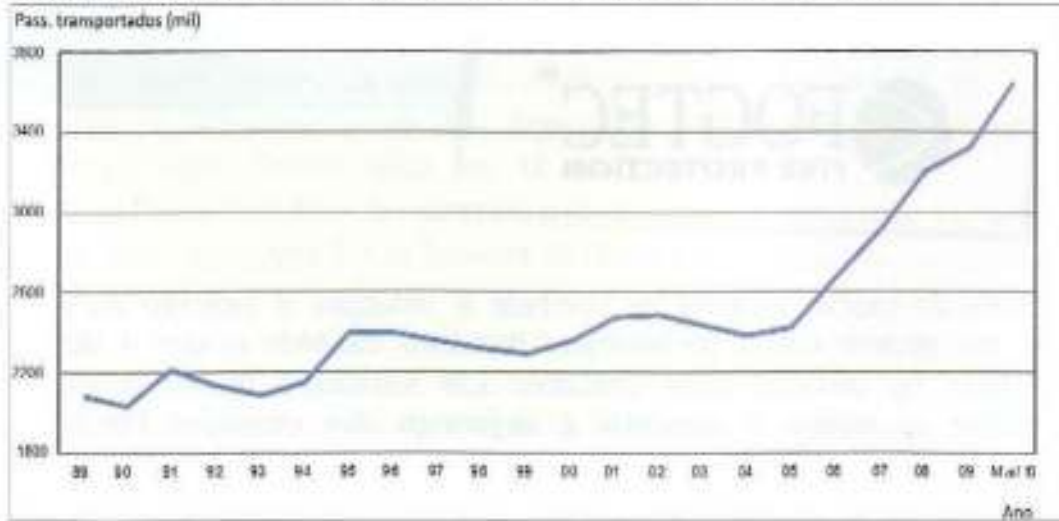
- 57400 [pax/h]
- 101 [s]

Linha 5

- 13800 [pax/h]
- 381 [s]

## 2.1. Situação atual – carregamento e headway

Passageiros transportados na Rede - Média dos dias úteis (1989 a 2009)



## 2.2. Requisitos básicos da alimentação

Segurança

Confiabilidade

Disponibilidade

Baixo TCO (Total Cost of Ownership)

Desenvolvimento tecnológico

### 3. Panorama mundial

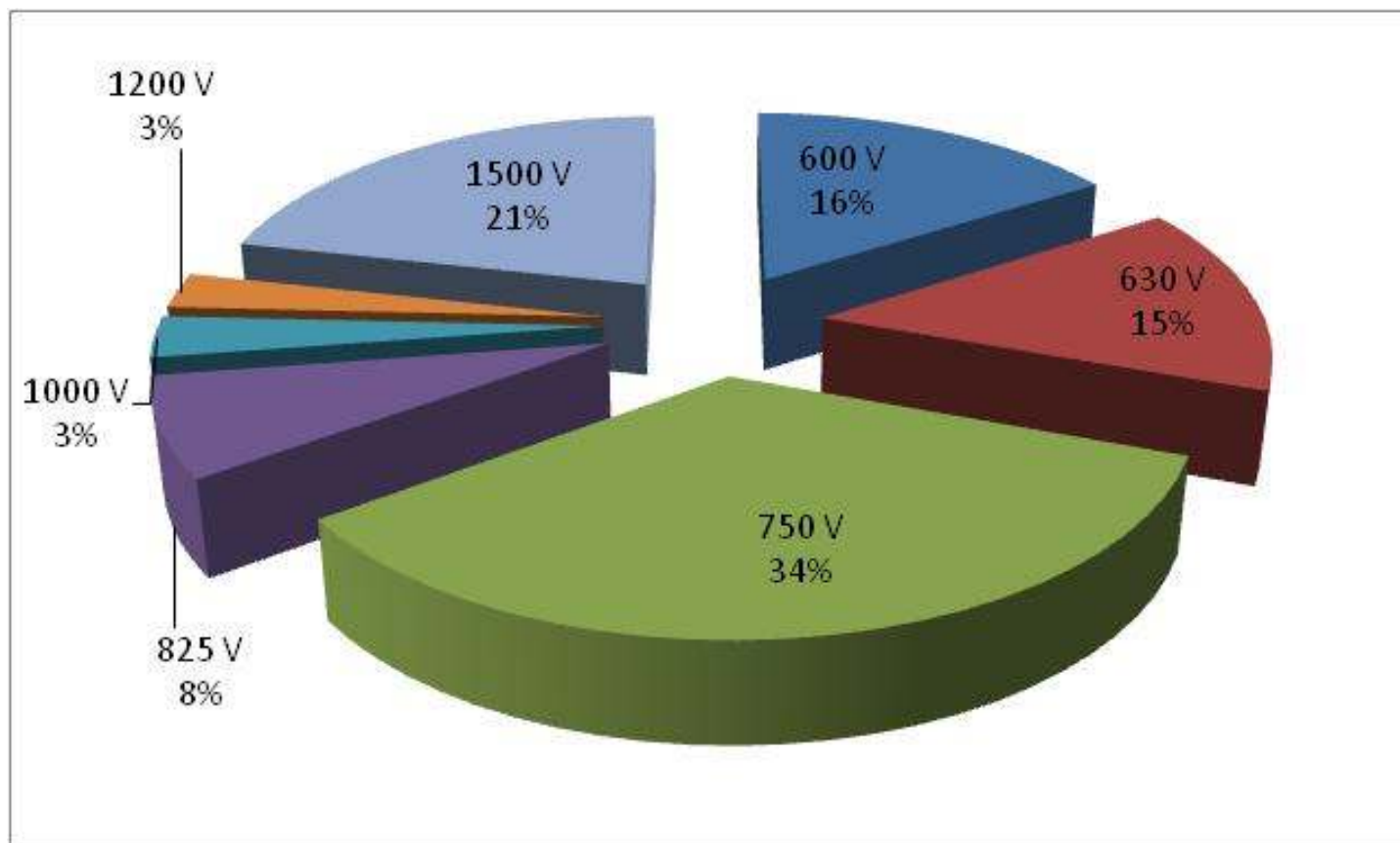


# 3.1. Maiores sistemas – Jane´s Urban TS

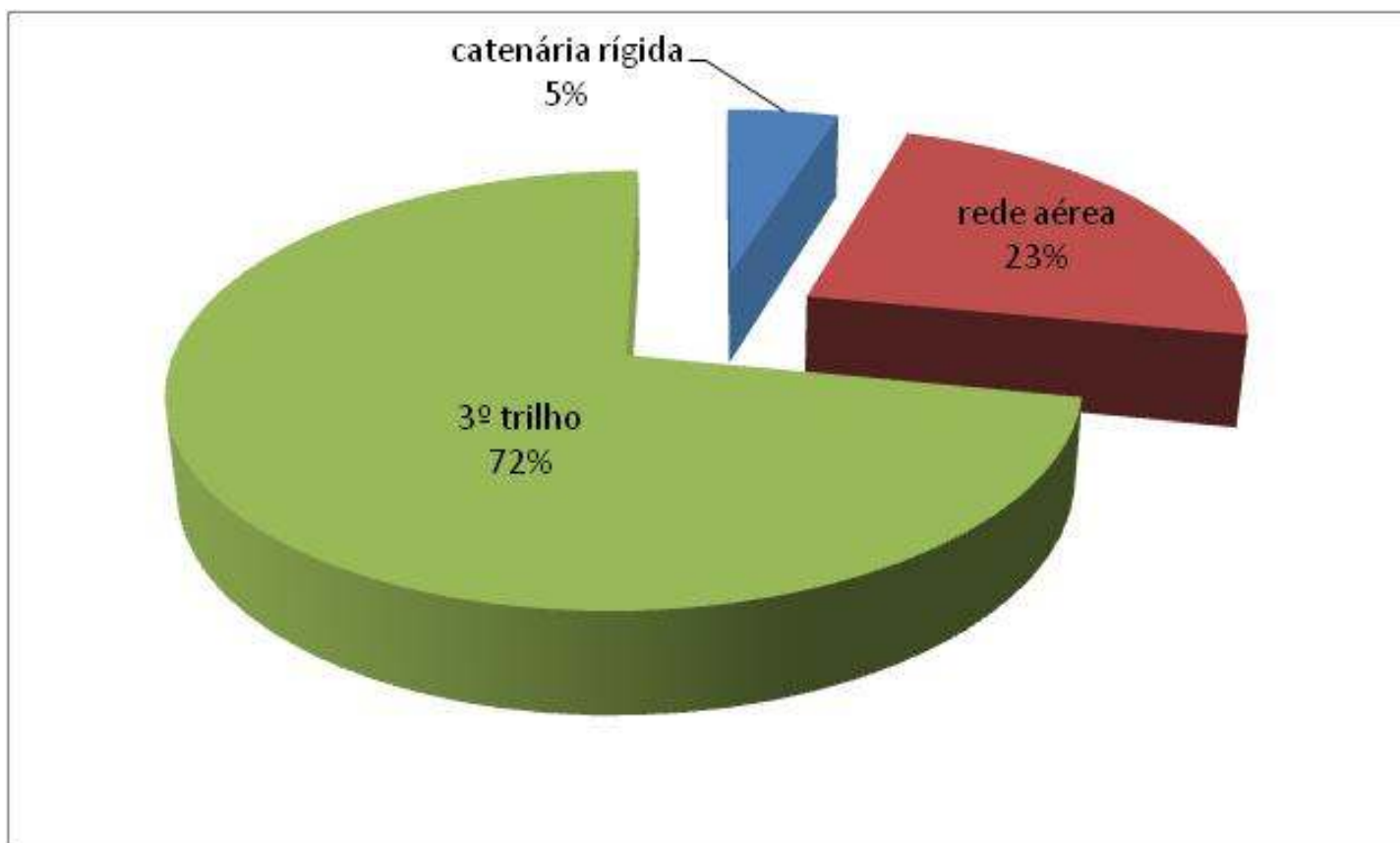
32 cidades  
(≥ CMSP)  
223 linhas  
5308 km



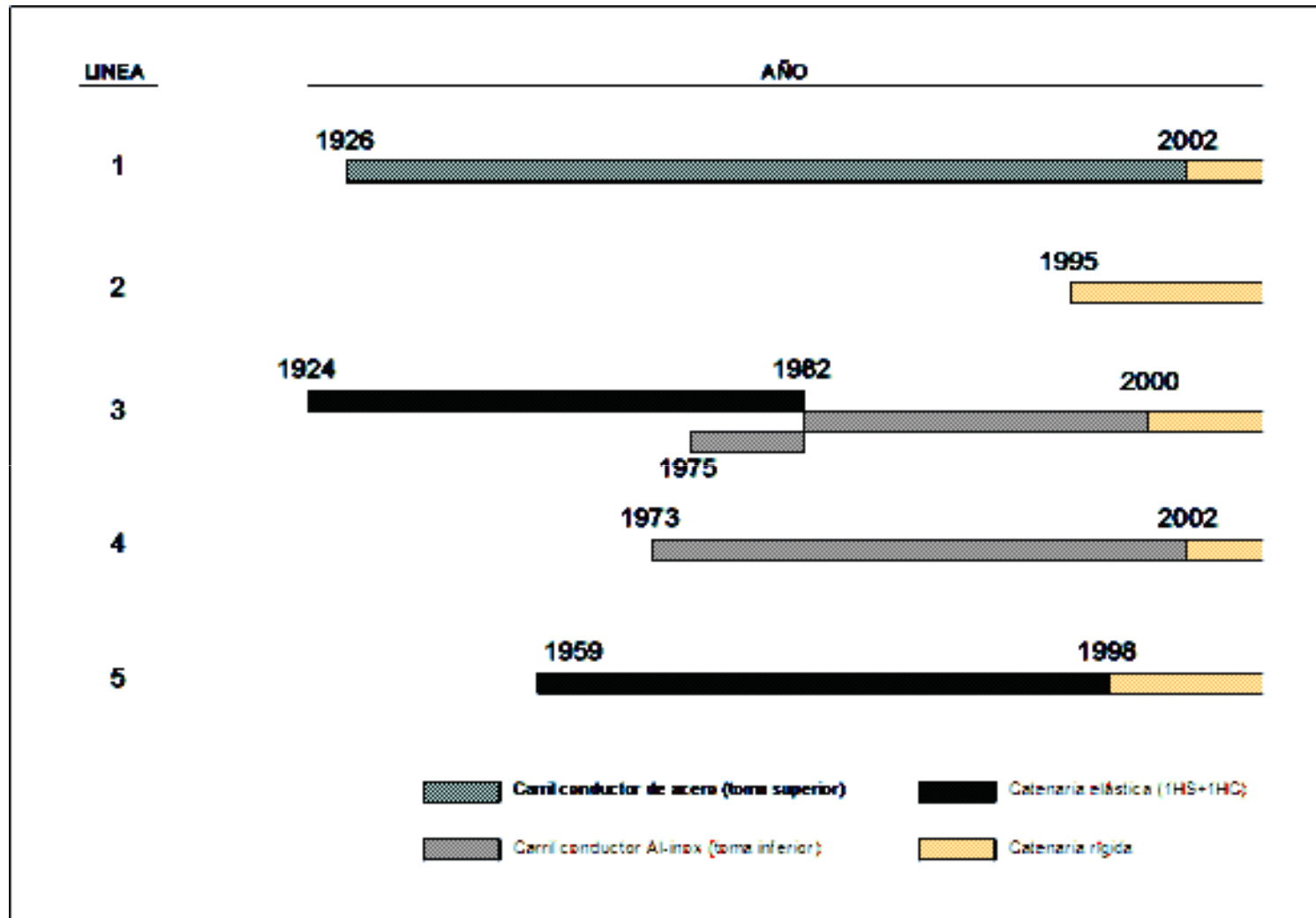
## 3.1. Tensão nominal por km



## 3.1. Tipo de condutor positivo por km



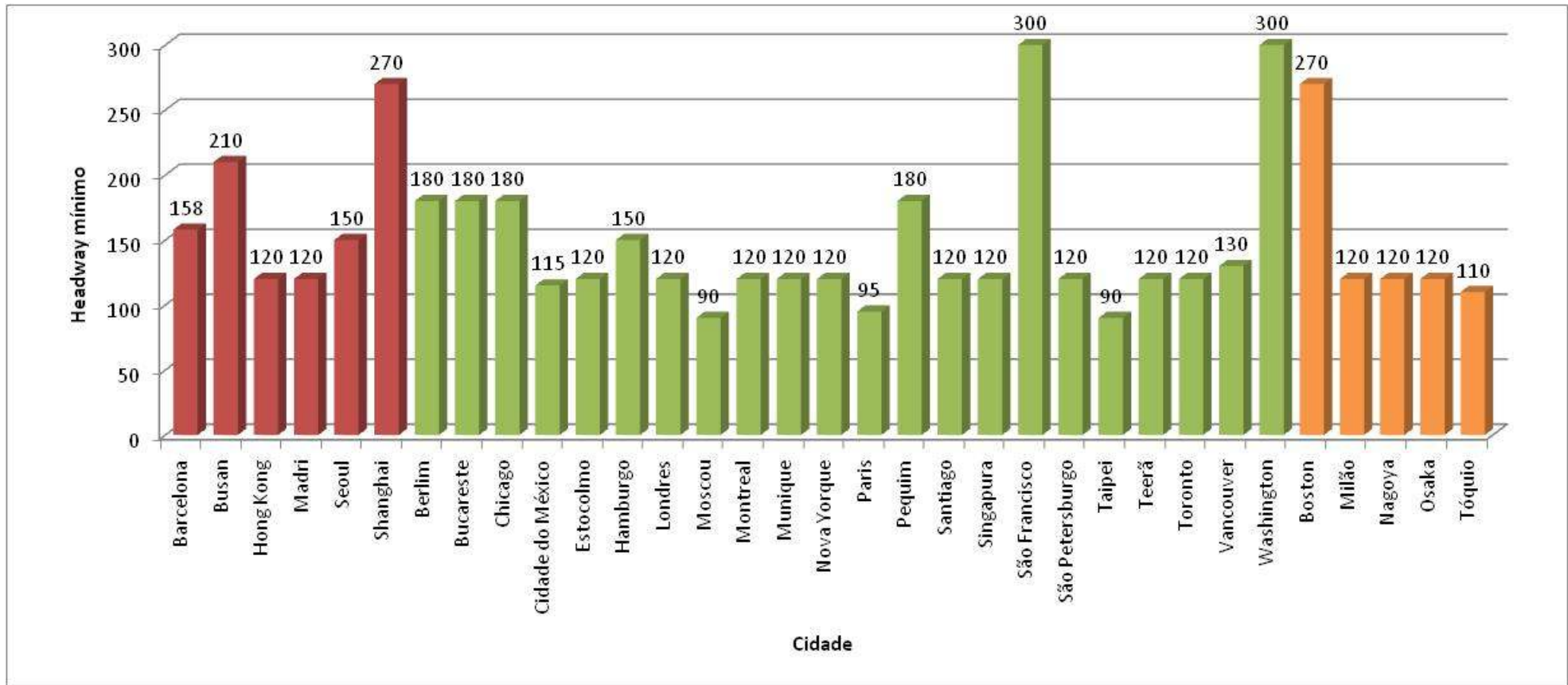
# 3.1. Metrô de Barcelona (TMB)



## 3.1. Metrô de Barcelona (TMB)

Características		L1	L2	L3	L4	L5	L11	TOTAL	
Vía principal y secundaria	Longitud (km)	44,34	30,66	41,01	36,6	39,8	2,67	195,08	
	Sistema	Catenaria rígida (km)	41,74	30,66	38,91	36,6	37,8	2,67	188,38
		Catenaria convencional (km)	2,6		2,1		2,0		6,7
	Tensión de alimentación $V_{cc}$		1500	1200	1200	1200	1200	1200	
	Toma de corriente		Pantógrafo	Pantógrafo	Pantógrafo	Pantógrafo	Pantógrafo	Pantógrafo	
	Sección conductora equivalente Cu. (mm <sup>2</sup> )		1500	1500	1500	1500	1500	1500	
	Nº de aisladores (uds.)		53	26	42	44	65	6	236

# 3.1. Headway mínimo dos maiores metrô



Rede aérea

3º trilho

Rede aérea e 3º trilho

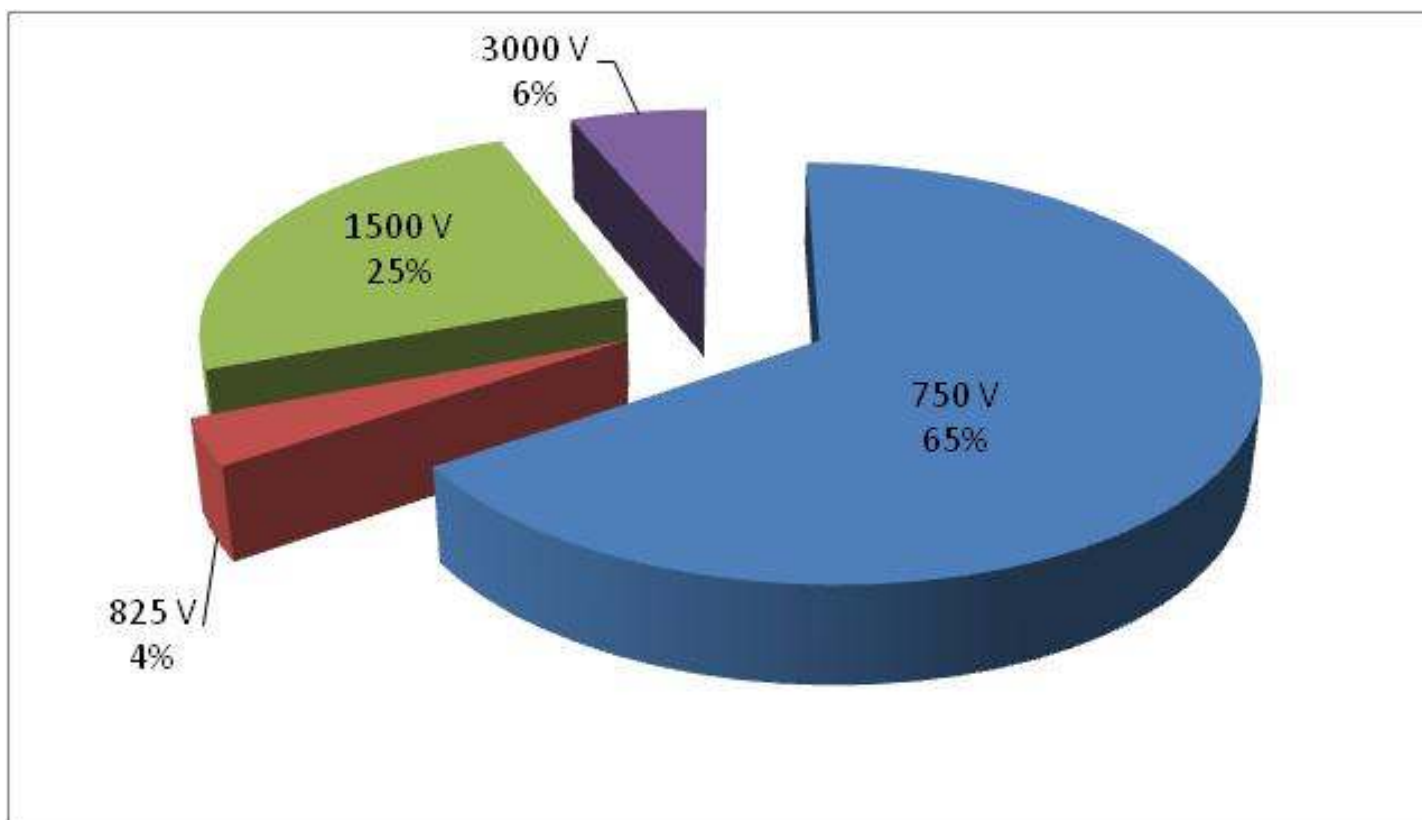


## 3.2. Sistemas mais atuais - 10 anos

18 cidades  
30 linhas  
610 km

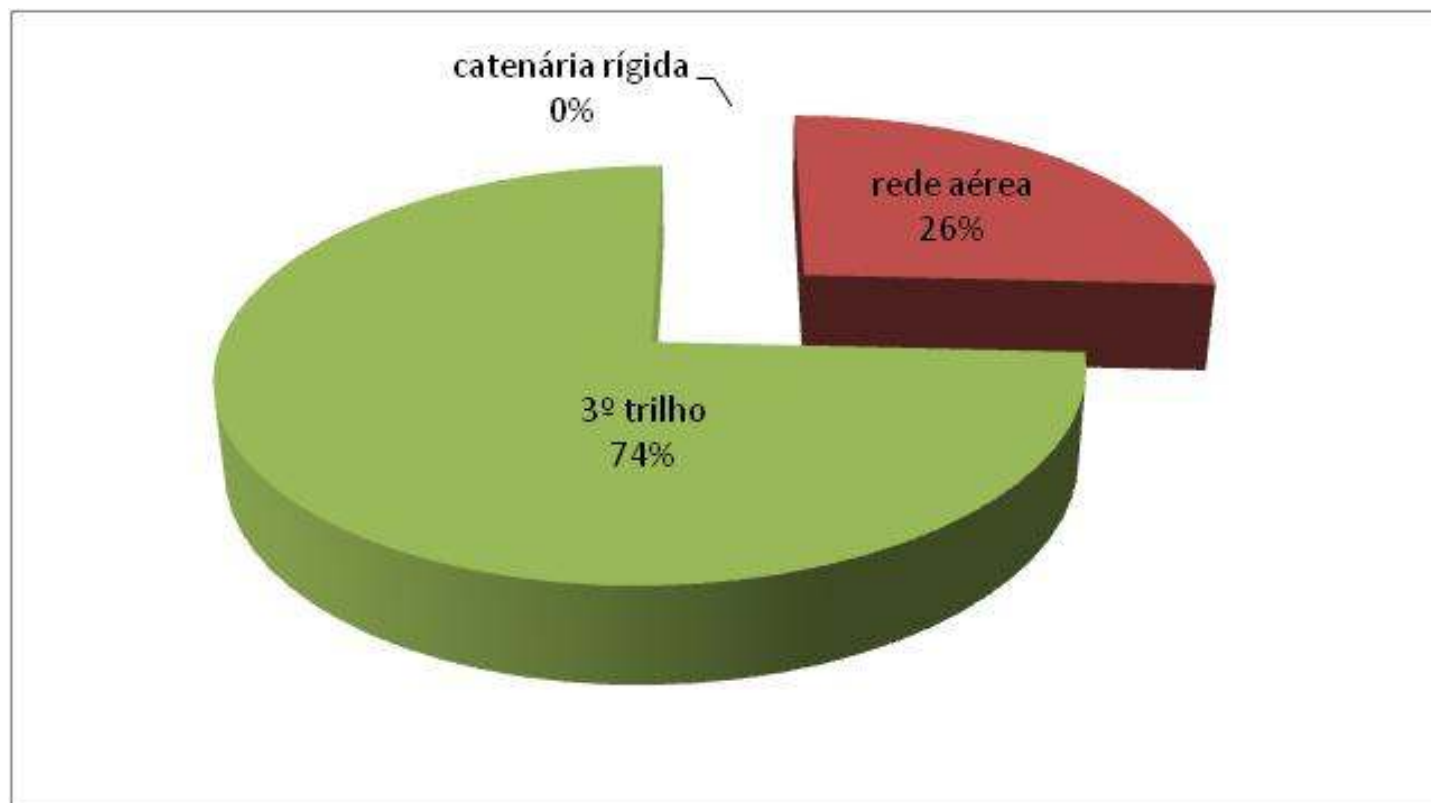


## 3.2. Tensão nominal por km

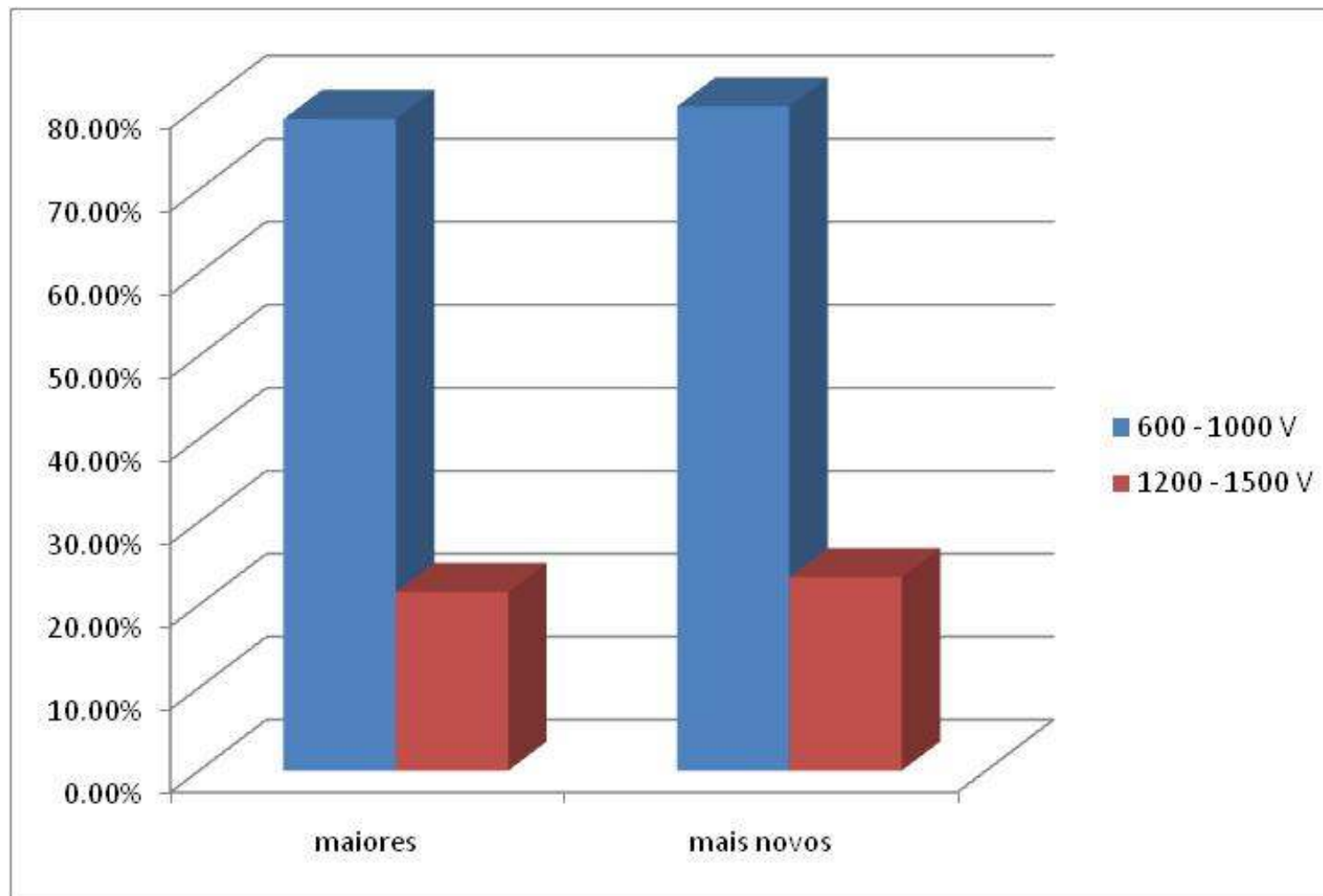




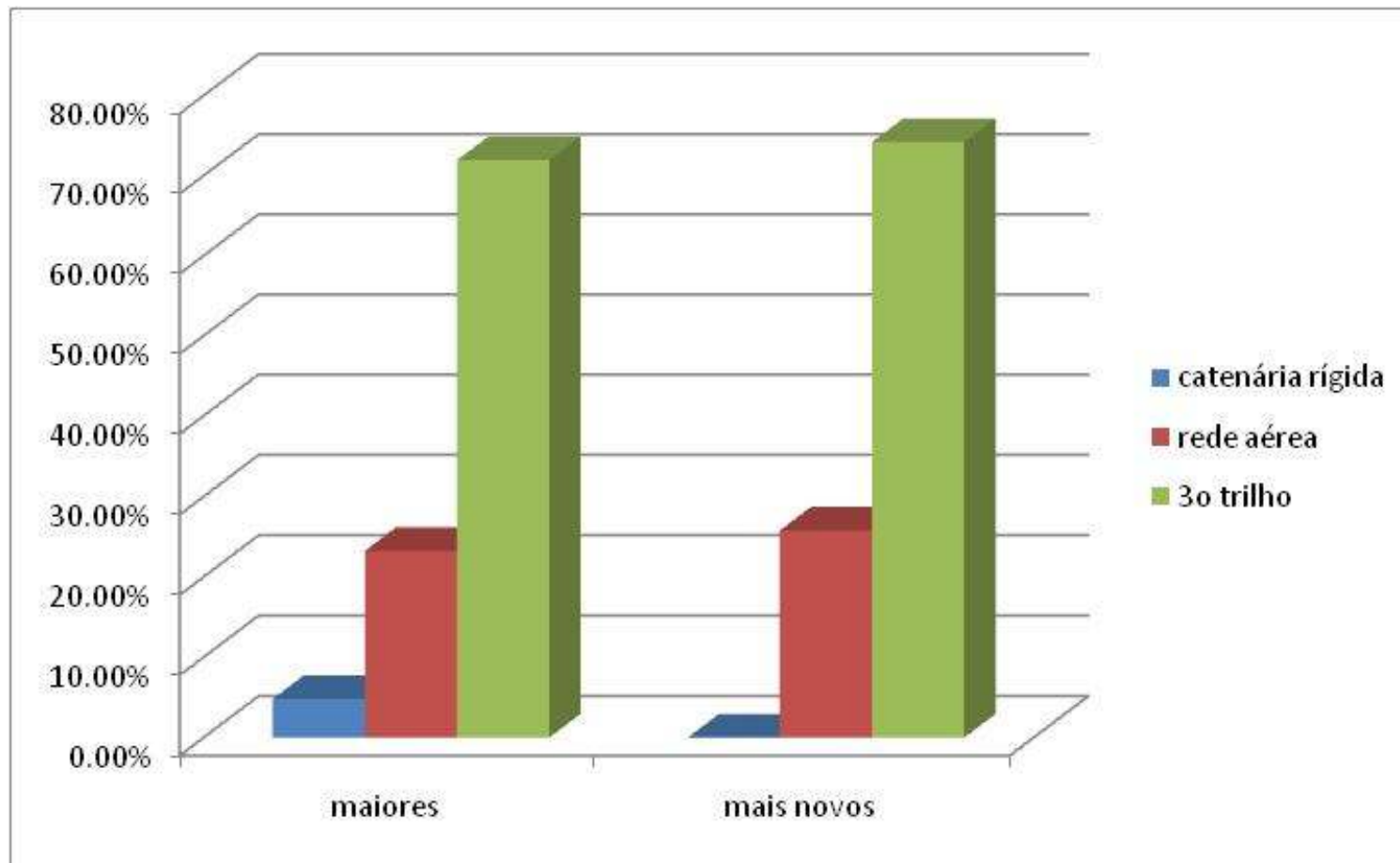
## 3.2. Tipo de condutor positivo por km



### 3.3. Comparativo de sistemas - tensão



### 3.3. Comparativo de sistemas - condutor



## 4. Comparativo entre condutores

## 4. Comparativo entre condutores

Características	Rede aérea			3° trilho		
	convencional	auto-compensada	rígida	aço	aço + alumínio	alumínio
Secção transversal [mm <sup>2</sup> ]	107 - 553	107 - 553	≤ 2200	≤ 980	≤ 2100	≤ 4225
Resistência a 20°C, sem mensageiro [mΩ/km]	≥ 26.4	≥ 26.4	≥ 15.5	≥ 23	≥ 10.5	≥ 6.75
Tensão [kV]	≤ 50	≤ 50	≤ 25	≤ 0.9	≤ 1.5	≤ 1.5
Veículo auxiliar especial	sim	sim	sim	não	não	não
Número de peças	≥ 500	≥ 500	≤ 50	≤ 30	≤ 30	≤ 30
Vida útil da superfície de contato [anos]	≤ 10	≤ 10	≤ 10	~90	~40	~90
Ocupação acima do gabarito do carro [mm]	≥ 500	≥ 500	≥ 300	0	0	0
Velocidade máxima [km/h]	~150	~500	~120	~120	~120	~120
Manutenção preventiva [Homem.h]		155			106	
Itens em estoque		154			53	

## 4.1. Aspectos da manutenção



## 4.1. Dados GOP

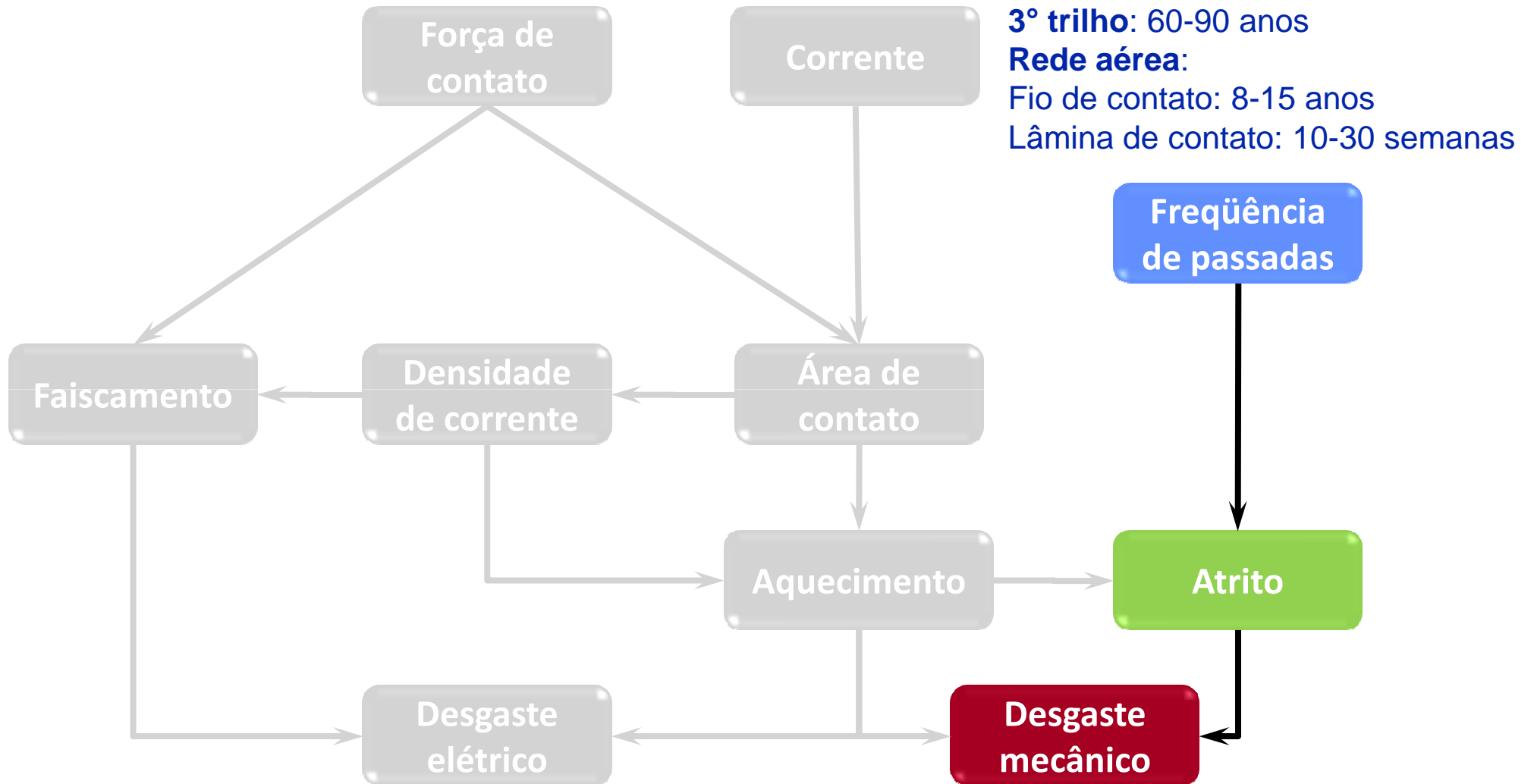
período : 2003 - 2009		ocorrências	km percorrida	km média entre ocorrências	interferência na circulação (min)	interferência na circulação (min/ocorrência)
3° trilho	L1	26	42,969,824	1,652,686	148	5.69
	L2	15	13,426,328	895,089	102	6.80
	L3	28	50,372,850	1,799,030	315	11.25
	<b>Total</b>	<b>69</b>	<b>106,769,002</b>	<b>1,448,935</b>	<b>565</b>	<b>8.19</b>
Rede aérea	L5	25	5,376,554	215,062	1682	<b>67.28</b>

Rede aérea / 3o trilho **8.22**

**MTBF 2004-2010: 4.3 horas**

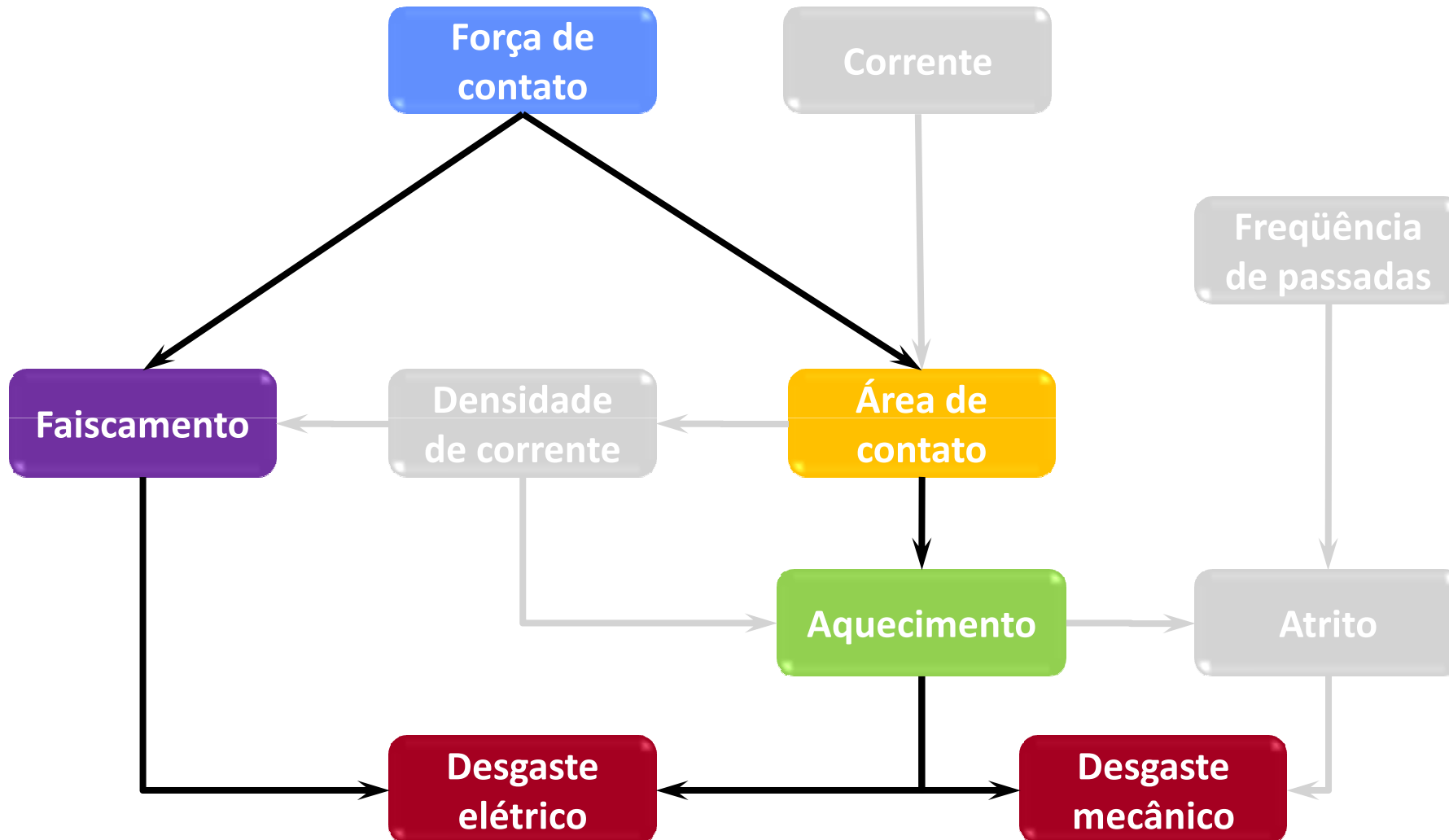
**MTTR 2004-2010: 6379 h = 266 dias**

## 4.2. Contato deslizante

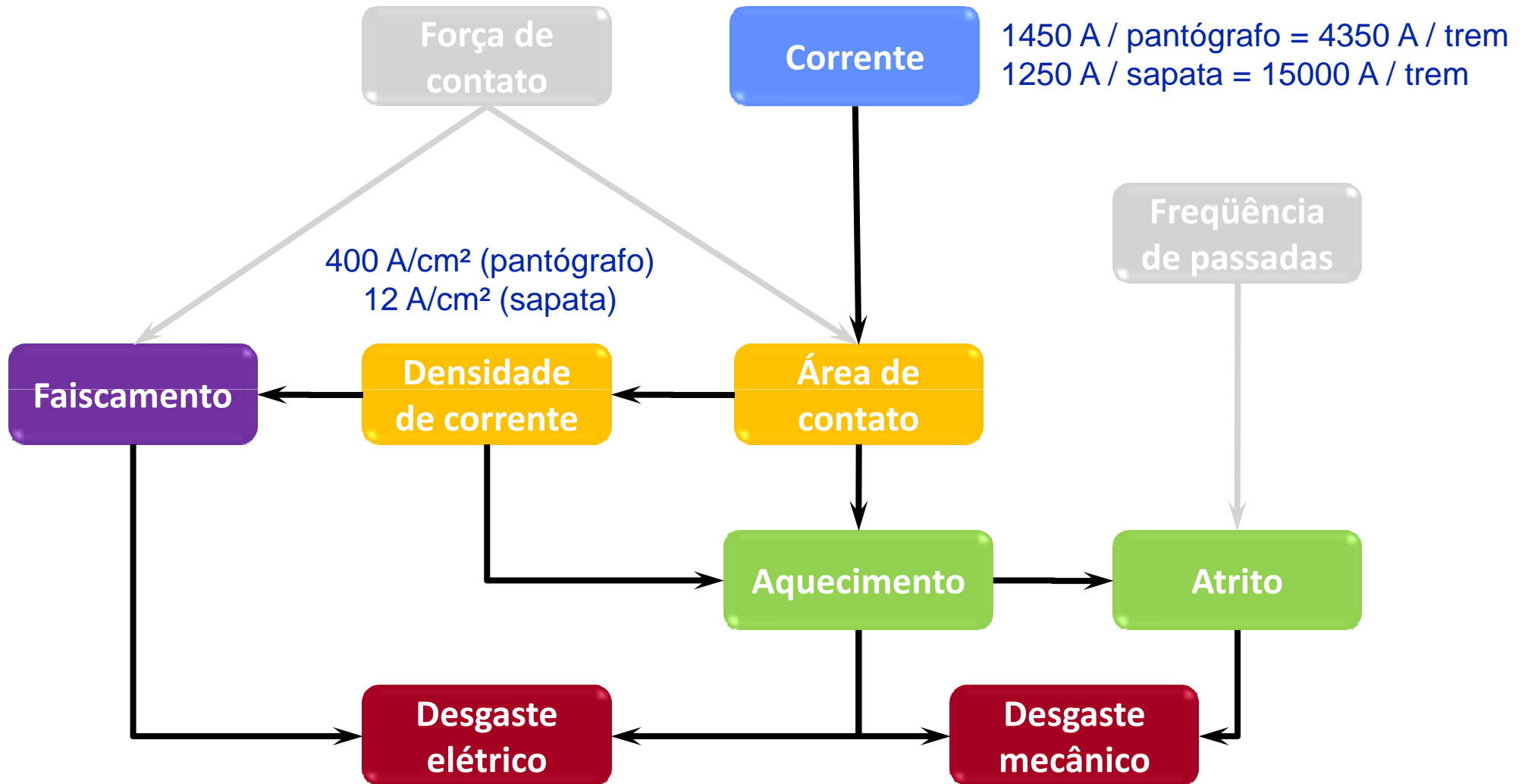




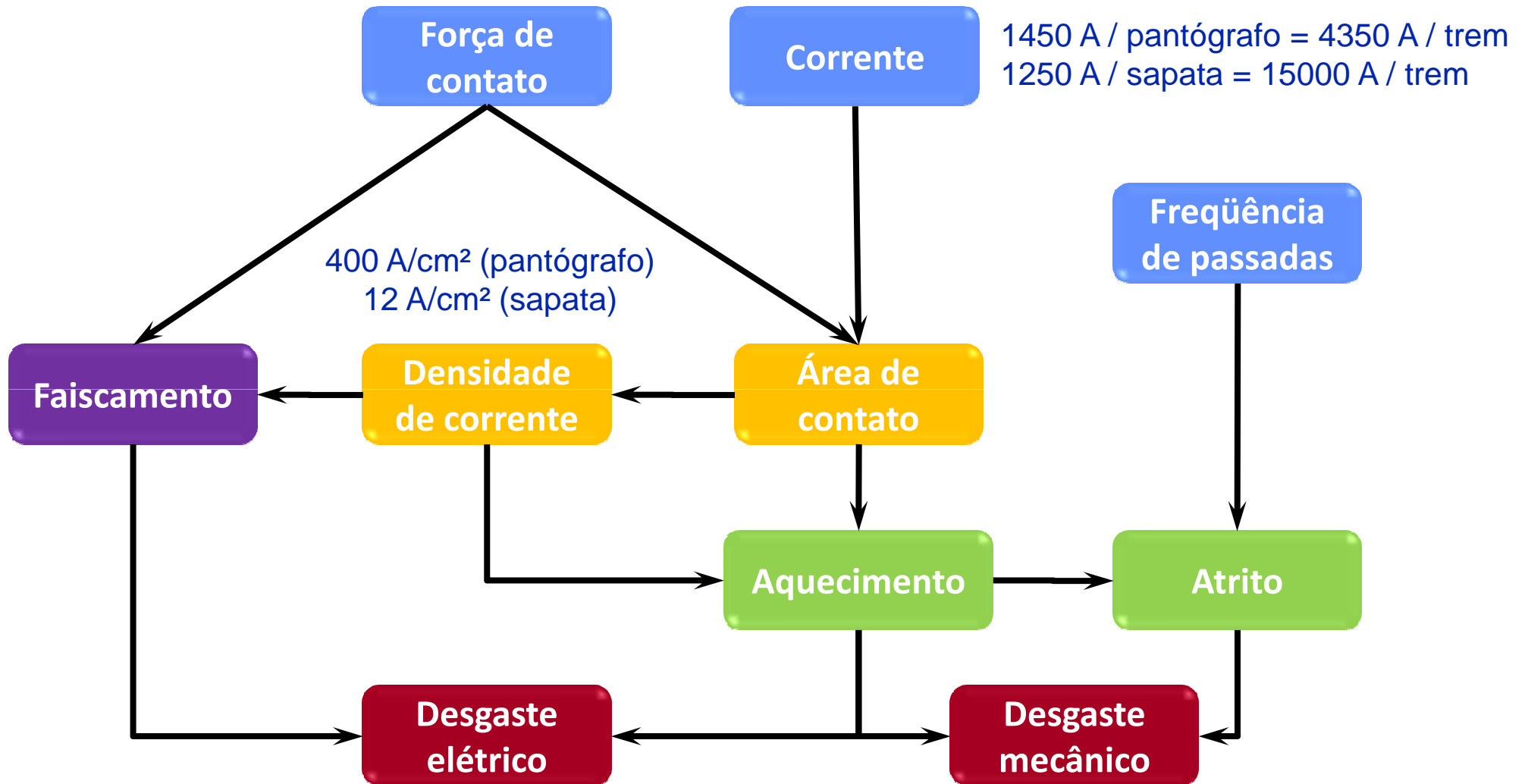
## 4.2. Contato deslizante



## 4.2. Contato deslizante



## 4.2. Contato deslizante



## 5. Requisitos e critérios futuros

## 5.1. Requisitos e critérios futuros

### Alta densidade de trens

- Headway  $\leq 90$  [s]
- Trens de alta potência
- Alta transferência de corrente

### Uma retificadora por estação

- Sem redução de desempenho
- Menores perdas
- Menores correntes de fuga
- Menores tensões negativo-terra
- Menores potências de curto-circuito

## 6. Conclusões

## 6. Conclusões

Catenária rígida  
+ 1500 Vcc

3° trilho + 750  
Vcc

## 6. Conclusões

### Segurança

- Ambos sistemas possuem pontos positivos e negativos
- Utilização de portas de plataforma nas estações

### Confiabilidade disponibilidade

- Ambos sistemas são compatíveis
- Necessário catenária convencional em trechos abertos

### Custos

- Implantações compatíveis
- Custo do túnel singelo maior em rede aérea
- Possível redução em cabos CC para 1500 V
- Troca de fios de contato e lâminas de pantógrafo



## 6. Conclusões

### Manutenção

- CMSP não trabalha em via energizada
- Pantógrafo demanda mais manutenção (tempo, profissionais, peças)
- Terceiro trilho é mais acessível

### Desenvolvimento tecnológico

- 72% das maiores redes em 3° trilho
- 74% das redes mais novas em 3° trilho
- 5% das maiores redes em catenária rígida (Barcelona e Madri)
- 0% das redes mais novas em catenária rígida

### Contato lâmina / fio

- Valores próximos do limite -> aumento do faiscamento e desgaste elétrico
- Número grande de passadas -> aumento do desgaste mecânico

## 6. Conclusões

*Feitas essas considerações, a opção da DM / GCS é a alimentação em 750 Vcc e terceiro trilho.*

# 7. Bibliografia

- [1] ALOUCHE, P. L. Critérios adotados no projeto do sistema de alimentação elétrica da linha Leste/Oeste. **Engenharia – Revista do Instituto de Engenharia**, n. 425, p. 82-88, 1980.
- [2] ALOUCHE, P. L.; BENITES, P. A. Escolha do nível de tensão de alimentação do material rodante em metros e ferrovias de passageiros. **Revista dos Transportes Públicos – ANTP**, n. 63, p. 95-109, 2º trimestre 1994.
- [3] BAUER, E. H.; AST, D. Höhere Speisespannung für Gleichstrom Nahverkehrsbahnen. **Berichte und Informationen - Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden**, 1/2001, p.84-88.
- [4] BECKER, K.; RESCH, U.; RUKWIED, A.; ZWEIG, B. –W. Lebensdauermodellierung von Oberleitungen. **Elektrische Bahnen**, v. 94, n. 11, p. 329-336, 1996.
- [5] БЕРЕПТ В. Я. **Материалы и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожно транспорта**. Москва: Интекст, 2005. 408 p.
- [6] BRODKORB, A. **Modern Rail Power supply for Urban Rail Systems**. Trabalho apresentado a Gerência de Projetos e Concepção de Sistemas, 2010, Companhia do Metropolitano de São Paulo. Não publicado.
- [7] DE CASTRO, F. E. B.; ALOUCHE, P. L. Planejamento e dimensionamento da eletrificação em sistemas de transporte de massa. **Engenharia – Revista do Instituto de Engenharia**, n. 431, p. 52-60, 1981.
- [8] DELATTRE, D.; SEILER, W. Electrification of a urban transit system. **Revue Générale des Chemins de Fer**, ano 102, p. 430-436, Juillet-Août 1983.
- [9] FIGUEIREDO FERRAZ. **Concepção do Terceiro trilho**. São Paulo: Companhia do Metropolitano de São Paulo, 1989. (Documento técnico RT-1.81.05.XX/400-01 e 02)
- [10] FURRER + FREY. **The conductor rail system**. 8 p. 2005.
- [11] GIURIATI, M.; FREIRE, G. A. L. M. **Ponderações para a escolha da tensão de serviço, do sistema de tração da 4ª Linha do Metrô**. Documento técnico RT-4.81.99.00/100-002. 1993. 12p.
- [12] HARTLAND, D. J. Electric contact systems – passing power to the trains. In: 4th IET Professional Development Course on Railway Electrification Infrastructure and Systems, London, 2009. **Anais**. London: IET, 2009, p. 70-82.
- [13] HELLIGE. B. Fahrleitungsanlagen für Gleichstrom-Nahverkehrsbahnen **Berichte und Informationen - Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden**, 1/2001, .
- [14] HILL, R. J. Electric railway traction Part 3: Traction power supplies. **Power Engineering Journal**, p. 275-286, December 1994.

# 7. Bibliografia

- [15] KIESSLING, F.; PUSCHMANN, R.; SCHMIEDER, A.; VEGA, T. M. **Líneas de contacto para ferrocarriles electrificados**. Erlangen: Siemens AG, 2008. 1010 p.
- [16] MALUSARDI, F. **Linhas de contato para metrô e ferrovias**. São Paulo: Companhia do Metropolitano de São Paulo, 1974. 19 p.
- [17] MORGAN CARBON. **Morgan carbon current collector**. 12 p. 2004.
- [18] OURA, Y.; MOCHINAGA, Y.; NAGASAWA, H. Railway Technology Today 3 – Railway electric power feeding systems. **Japan Railway & Transport Review**, n. 16, p. 48-58, June 1998.
- [19] PATRASSI, A. La scelta della tensione di elettrificazione per le ferrovie urbane e suburbane a forte traffico. **Ingegneria Ferroviaria**, p. 297-310, Aprile 1964.
- [20] PINTSCHER, F. **Kontaktvorgänge und Verschleißverhalten des Systems Fahrdrabt – Schleifleiste**. 2003. 146p. Tese (Doutorado) – Fakultät Verkehrswissenschaften "Friedrich List" der Technischen Universität Dresden. Dresden, 2003.
- [21] RAILTECH INTERNATIONAL. **Overhead contact system rigid catenary Railtech-Delachaux**. 44p.
- [22] SAITO, M. **Transports Metropolitano de Barcelona – TMB**. Trabalho apresentado a Gerência de Projetos e Concepção de Sistemas, 2010, Companhia do Metropolitano de São Paulo. Não publicado.
- [23] SCHMID, F.; GOODMAN C. J. Electric railway systems in common use. In: **4th IET Professional Development Course on Railway Electrification Infrastructure and Systems**, London, 2009. **Anais**. London: IET, 2009, p. 6-20.
- [24] SCHUNK KOHLENSTOFFTECHNIK. **Carbon sliding strips for pantographs and trolley pole systems**. 15 p. 2004.
- [25] SHING, A. W. C.; WONG, P. P. L. Wear of pantograph collector strips. **Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers Part F**. v.222, n.2, p.169-176, 2008.
- [26] STEMMANN-TECHNIK. **Roof-mounted pantographs**. 13 p.
- [27] WARBURTON, K. Overhead line equipment design and pantograph interface. In: **4th IET Professional Development Course on Railway Electrification Infrastructure and Systems**, London, 2009. **Anais**. London: IET, 2009, p. 127-133.
- [28] WEBB, M. (Ed.). **Janes's Urban Transport Systems 2009-2010**. 28 ed. Coulsdon, 2009. 885p.
- [29] WHITE, R. D. AC/DC Electrification and protection. In: **IET Professional Development Course on Electric Traction Systems**, Birmingham, 2008. **Anais**. Birmingham: IET, 2008. p. 258-305.
- [30] WILI, U.; FURRER, B. A rigid beam as an alternative to the conventional catenary. In: **International conference on main line railway electrification**, Birmingham, 1989. **Anais**. Birmingham: IEE, 1989, p.103-108.

***Agradecimentos:***

**Eng. Alberto Francisco Santos Filho**

**Tec. Alexandre Kolano**

**Eng. Gil Augusto Lago Mello Freire**

**Eng. Massaru Saito**

*Obrigado*