

Uso de indicadores na concepção e análise de redes de alta capacidade.

Marcos Kiyoto de Tani e Isoda

23ª Semana de Tecnologia Metroferroviária

Marcos Kiyoto de Tani e Isoda

Arquiteto Urbanista, mestre em Planejamento Urbano e Regional pela FAU USP. Trabalhou nos escritórios Valente, Valente: Arquitetos; TC Urbes; OPUS – Oficina de Projetos Urbanos. Atua como consultor em projetos e planos urbanos e leciona Planejamento Urbano na Universidade Anhanguera – Vila Mariana.

ISODA, Marcos Kiyoto de Tani e. *Transporte sobre trilhos na Região Metropolitana de São Paulo: estudo sobre a concepção e a inserção das redes de transporte de alta capacidade*. São Paulo: Dissertação de Mestrado FAUUSP. 2013.

Orientação: Profa. Dra. Klara Kaiser Mori



Uso de indicadores na concepção e análise de redes de alta capacidade

1. Objetivos
2. Modos
3. Indicadores
4. Resultados
5. Conclusões



1. Objetivos

- Inicial: distinguir os modos “trem de subúrbio” e “metrô”
- Final: apresentar o potencial dos indicadores como ferramentas de projeto e avaliação de redes de transporte de passageiros de alta capacidade.
- O objeto de estudo é a rede ferroviária da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP): Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) e Companhia do Metropolitano (Metrô).

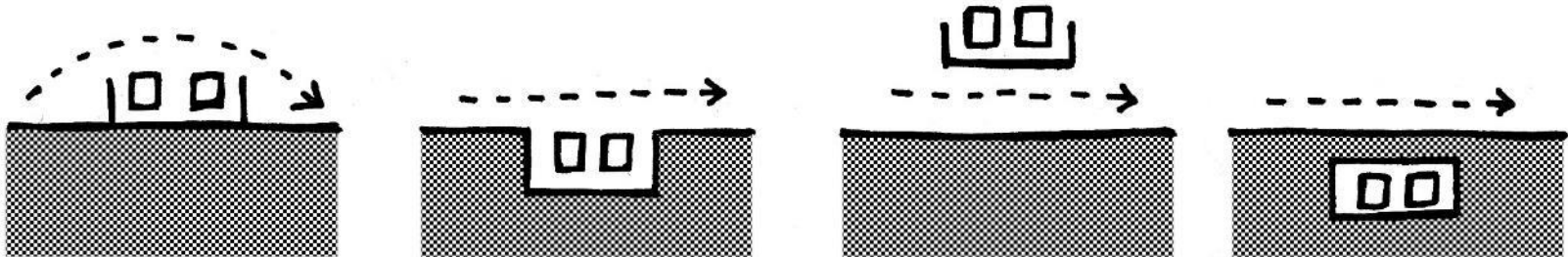
2. Modos

- Modos metrô e trem de subúrbio
- Origem do conceito de alta capacidade

2. Modos

Vukan VUCHIC (2007):

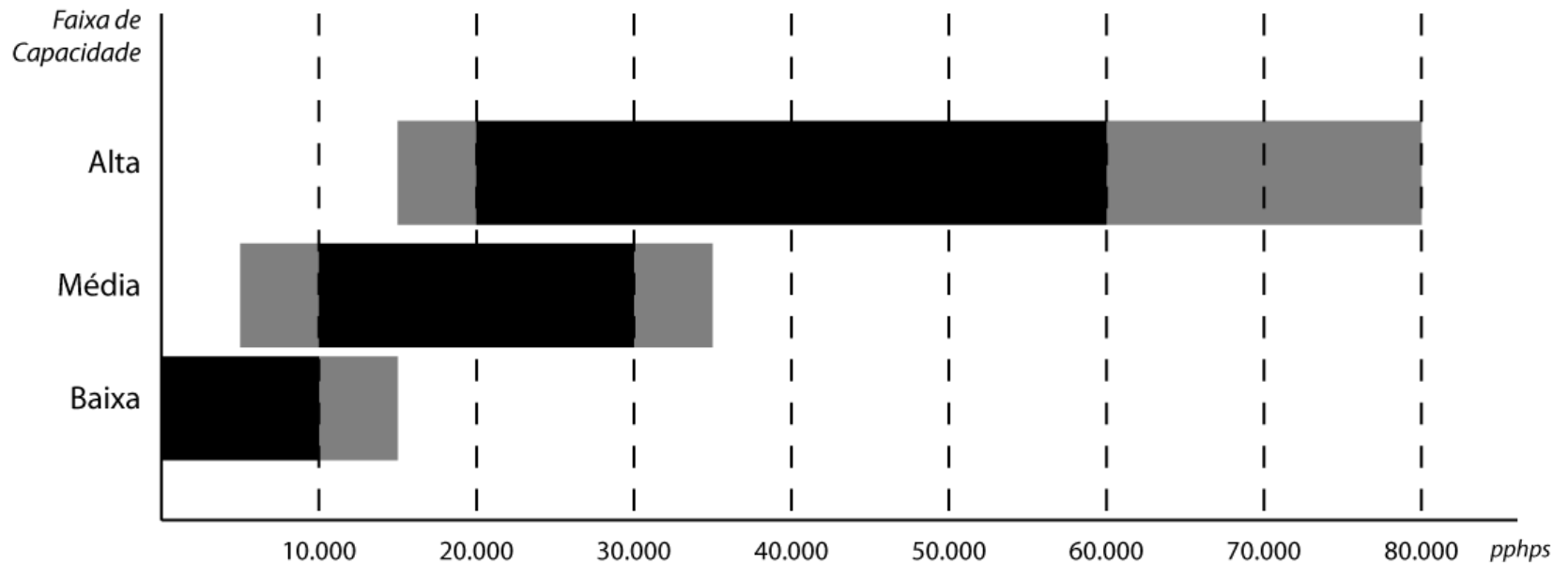
- 1. Níveis de segregação viária (A, B e C).
- 2. Tecnologia do sistema: suporte; orientação; propulsão/tração; controle.
- 3. Tipo de serviço, definidos pelo tipo de rota (central, urbana, suburbana, regional); tipo de parada que atende (local, expresso); por horário (dia todo, horário de pico, especial); etc.



2. Modos

Faixas de Capacidade dos Sistemas de Transporte Coletivo

(Fonte: autoria própria)



2. Modos

Linhas subterrâneas de Londres em 1892

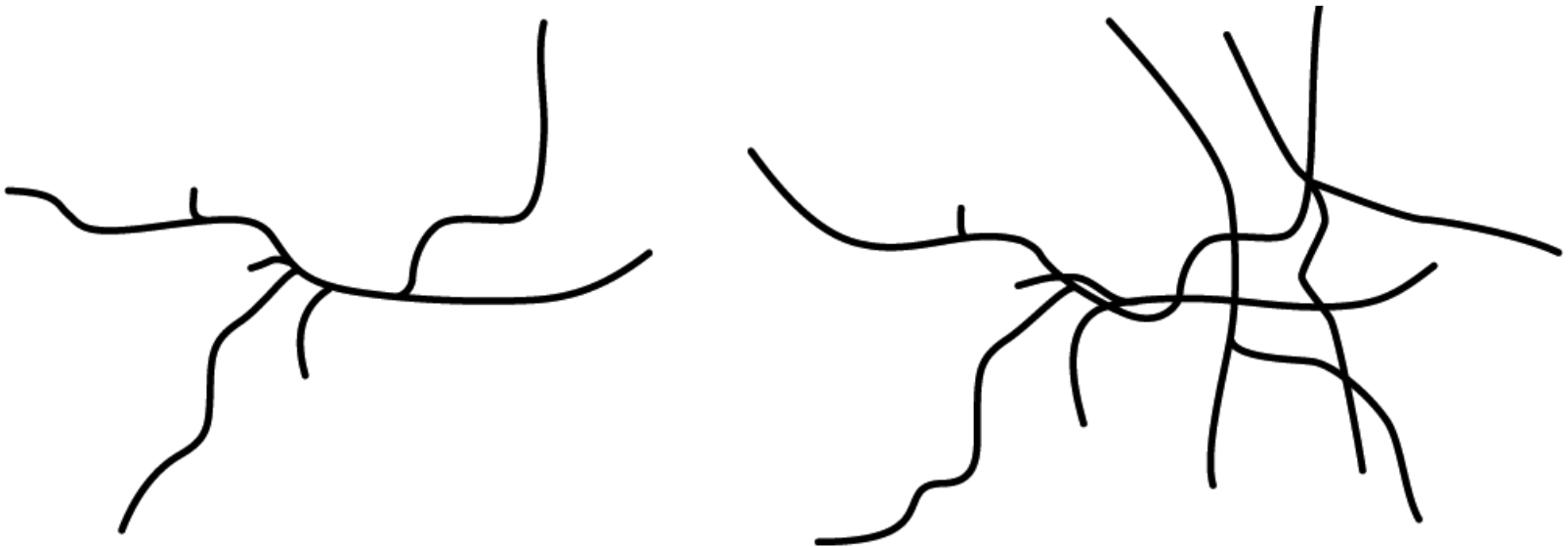
(Fonte: autoria própria, elaborado sobre Sort, 2005)



2. Modos

Evolução da rede de Berlim entre 1914 e 1931.

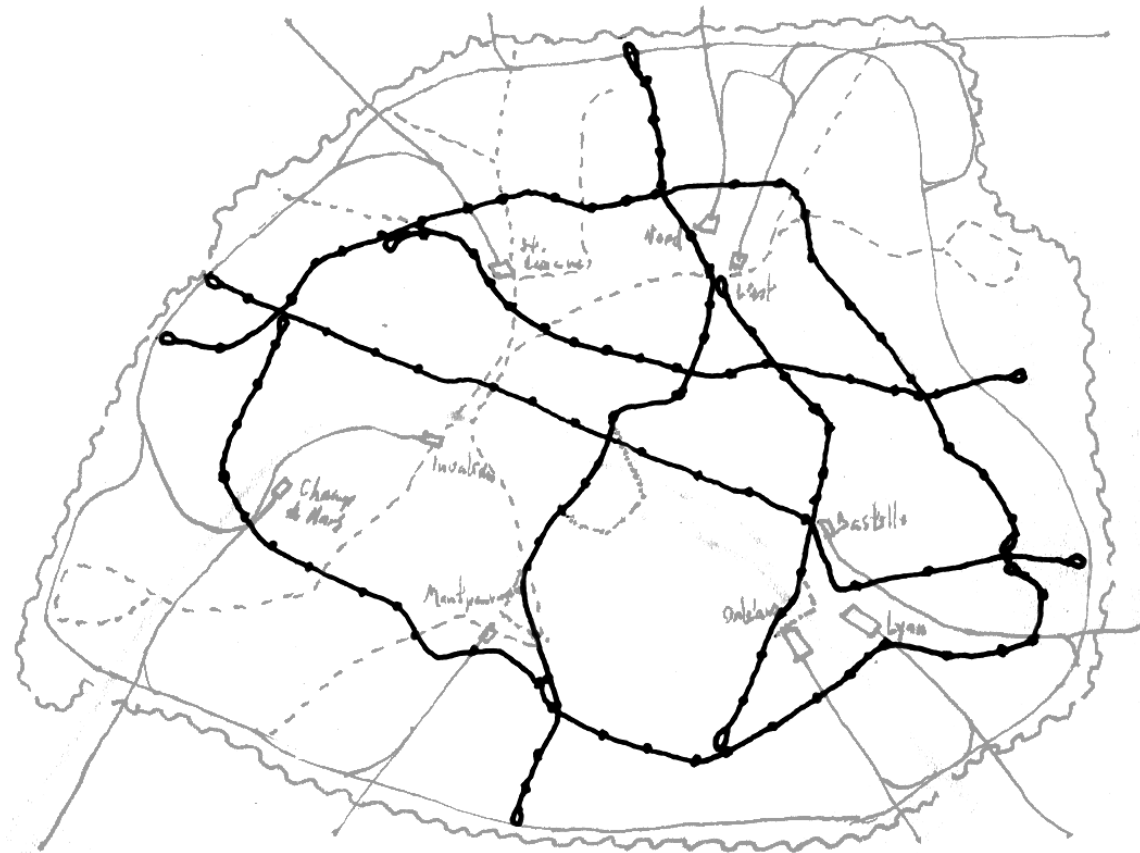
(Fonte: autoria própria, elaborado sobre Sort, 2005)



2. Modos

Rede inicial da rede de metrô de Paris, 1900.

(Fonte: autoria própria, elaborado sobre Sort, 2005)



2. Modos



2. Modos

Uma rede segregada e de linhas exclusivas. Significa que:

- É um **sistema** composto por **linhas** que se organizam espacialmente como uma **rede**;
- As linhas são **segregadas**, não sofrem interferências de outros sistemas;
- Cada linha é **exclusiva**, independente das demais linhas do próprio sistema;
- As linhas se inter-relacionam através de **conexões** para formar a **rede**;
- A rede deve possibilitar **alternativas** de percursos;
- O sistema deve possuir **identidade**, simplificando o entendimento do usuário.

3. Indicadores

- Extensão total da rede
- Km/habitante
- Comprimento médio de linhas
- Número de estações
- Teoria dos Grafos
- Conexões por linha

3. Índices

Quilometragem de rede por habitante

(Fonte: Ovenden, 2009; Sort, 2005)

	L (km)	pop (mi Hab)	L/pop
Londres	438.73	11.6	37.8
Paris	211.30	10.7	19.7
Berlim	151.70	4.3	35.3
Milão	74.60	4.3	17.3
Nova Iorque	368.05	15.8	23.3
Cidade do México	177.10	18.3	9.7
Buenos Aires	48.94	12.9	3.8
Santiago	94.20	6.1	15.4
São Paulo - Metrô	74.30	19.7	3.8
SP - Metrô + CPTM	335.10	19.7	17.0

3. Índices

Quilometragem de rede por habitante

(Fonte: Ovenden, 2009; Sort, 2005)

	L (km)	pop (mi Hab)	L/pop
Londres	438.73	11.6	37.8
Paris	211.30	10.7	19.7
Berlim	151.70	4.3	35.3
Milão	74.60	4.3	17.3
Nova Iorque	368.05	15.8	23.3
Cidade do México	177.10	18.3	9.7
Buenos Aires	48.94	12.9	3.8
Santiago	94.20	6.1	15.4
São Paulo - Metrô	74.30	19.7	3.8
SP - Metrô + CPTM	335.10	19.7	17.0

3. Índices

Número de estações e comprimento médio de linhas

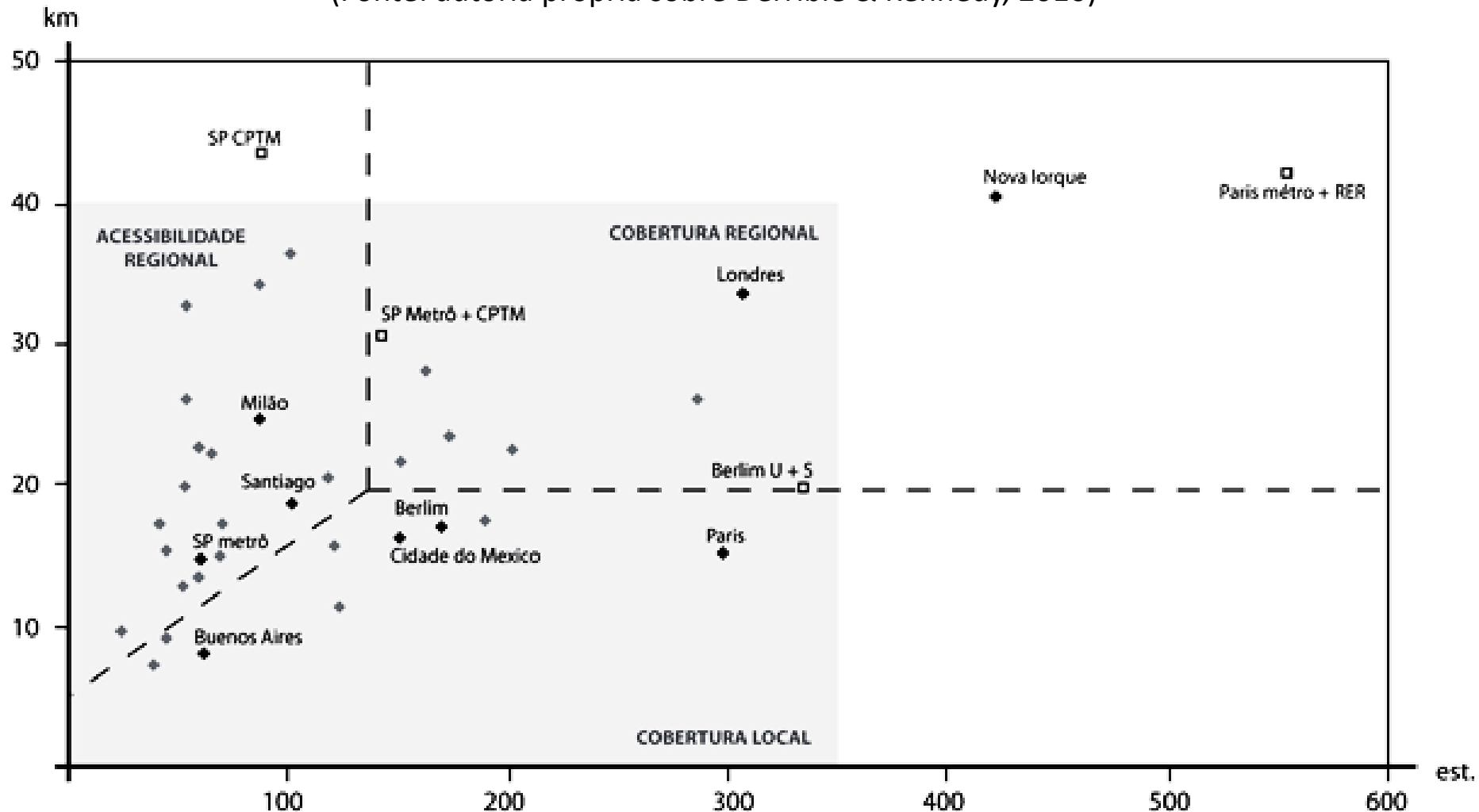
(Fonte: Derrible & Kennedy, 2010 / dados de São Paulo de autoria própria)

	Estações	Rede(km)	Linhas(L)	Média km/L
Londres	306	438.73	13	33.7
Paris	297	211.30	14	15.1
Paris Metro + RER	554	798.30	19	42.0
Berlim	170	151.70	9	16.9
Berlim U+S	336	483.20	24	20.1
Milão	87	74.60	3	24.9
Nova Iorque	422	368.05	9	40.9
Cidade do México	151	177.10	11	16.1
Buenos Aires	63	48.94	5	9.8
Santiago	101	94.20	5	18.8
São Paulo - Metrô	60	74.30	5	14.9
SP - CPTM	89	260.80	6	43.5
SP - Metrô + CPTM	142	335.10	11	30.5

3. Índices

Formas de Rede

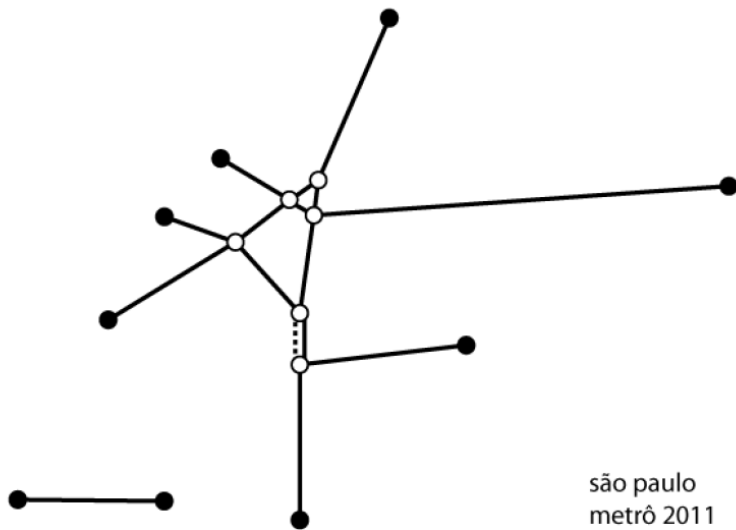
(Fonte: autoria própria sobre Derrible & Kennedy, 2010)



3. Índices

Grafo da rede de metrô de São Paulo 2011.

(Fonte: autoria própria)



são paulo
metrô 2011

vértices = 15 (9 terminais + 6 conexão)
arestas = 16 (15 simples + 1 múltipla)

Índices da rede de metrô de São Paulo 2011

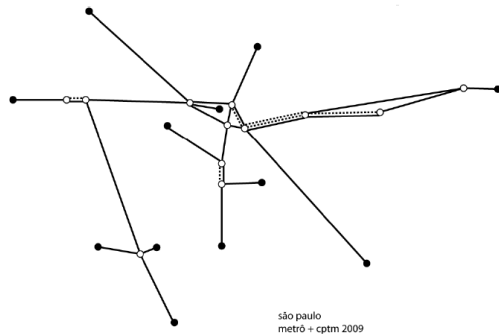
(Fonte: autoria própria)

	fórmula	SP 2011 metrô
Complexidade	a/v	$16/15 = 1,07$
Conectividade	$a/(3v-6)$	$16/(3*15-6) = 0,41$
Loops	$a-v+1$	$16-15+1 = 2$

3. Índices

Grafo da rede de alta capacidade de São Paulo 2009

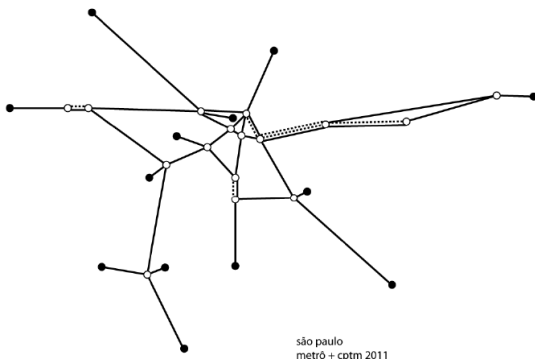
(Fonte: autoria própria)



$v = 24$ (12 t + 12 c)
 $a = 32$ (26 s + 6 m)

Grafo da rede de alta capacidade de São Paulo 2011

(Fonte: autoria própria)



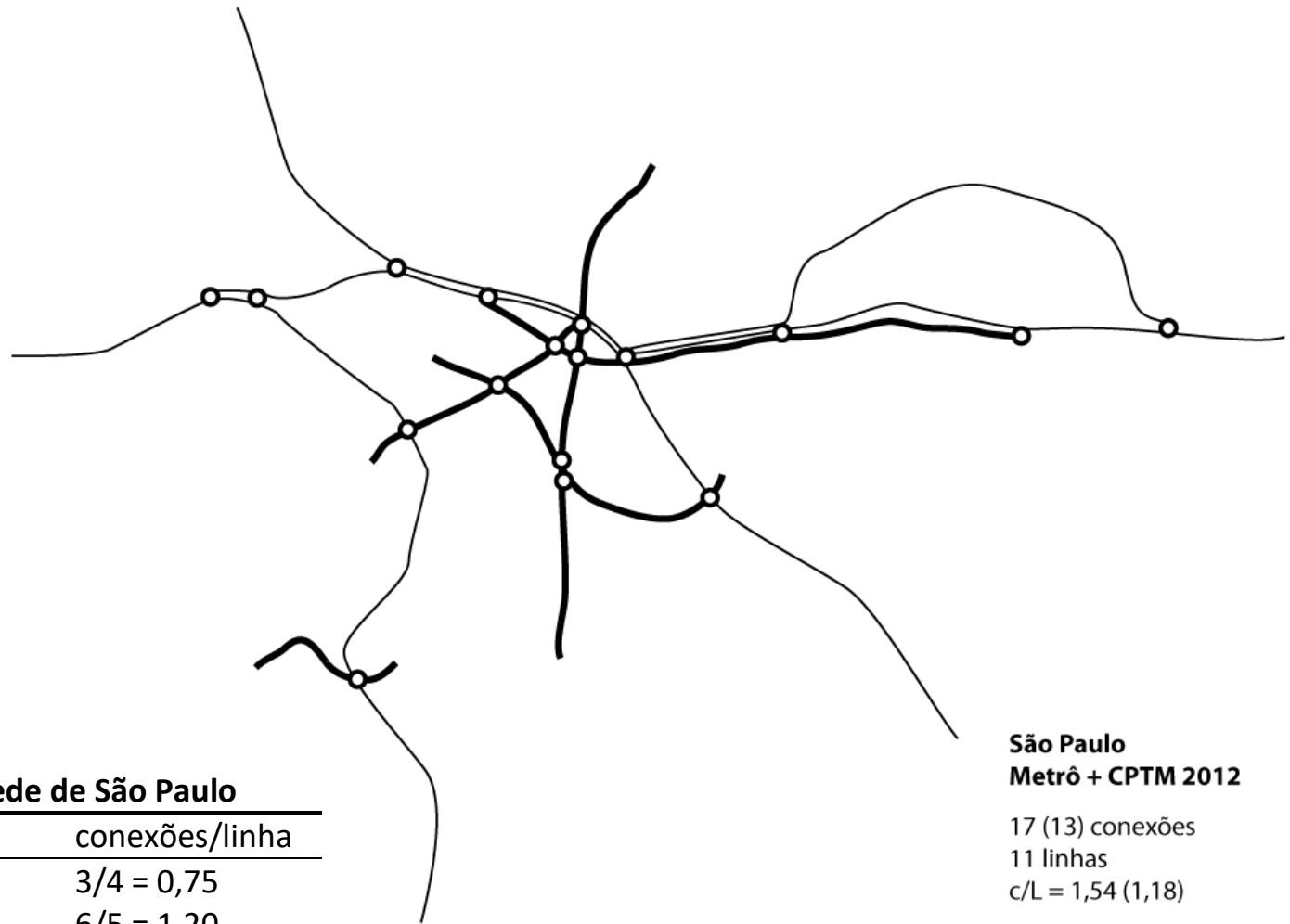
$v = 29$ (13 t + 16 c)
 $a = 41$ (35 s + 6 m)

Índices de complexidade, conectividade e loops

(Fonte: Derrible & Kennedy, 2010; exceto dados de São Paulo)

	vértices	arestas	complex.	conect.	loops
Londres	83	155	1,87	0,64	73
Paris	77	137	1,78	0,61	61
Berlim	32	45	1,41	0,50	14
Nova Iorque	73	130	1,78	0,61	58
Barcelona	29	44	1,52	0,54	16
Milão	14	15	1,07	0,42	2
Cid. do México	35	47	1,34	0,47	13
Buenos Aires	12	13	1,08	0,43	2
SP 2009 metrô	11	10	0,91	0,37	0
SP 2011 metrô	15	16	1,07	0,41	2
SP 2009 metrô + trem	24	32	1,33	0,48	9
SP2011 metrô + trem	29	41	1,41	0,51	13

3. Índices



Evolução da rede de São Paulo

	conexões/linha
Rede de Metrô 2009	$3/4 = 0,75$
Rede de Metrô 2011	$6/5 = 1,20$
Metrô + CPTM 2009	$12/10 = 1,20$
Metrô + CPTM 2011	$17/11 = 1,54$

São Paulo Metrô + CPTM 2012

17 (13) conexões
11 linhas
 $c/L = 1,54 (1,18)$

3. Índices

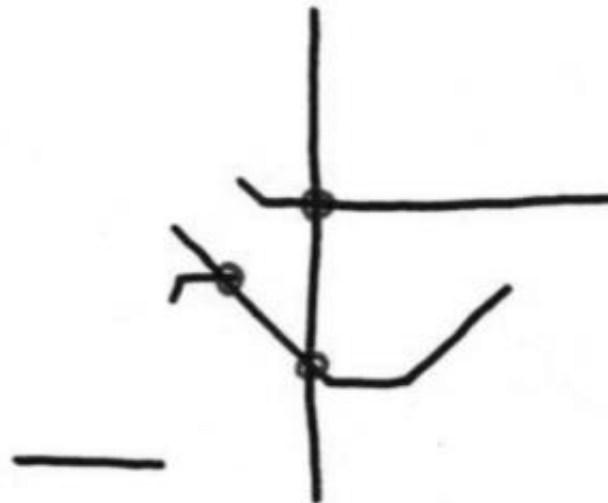
Índice de conexões por linha para Metrô de São Paulo 1997 e 2010

(Fonte: autoria própria)

*Metrô SP 1997 – 3 (2)
conexões e 3 linhas*



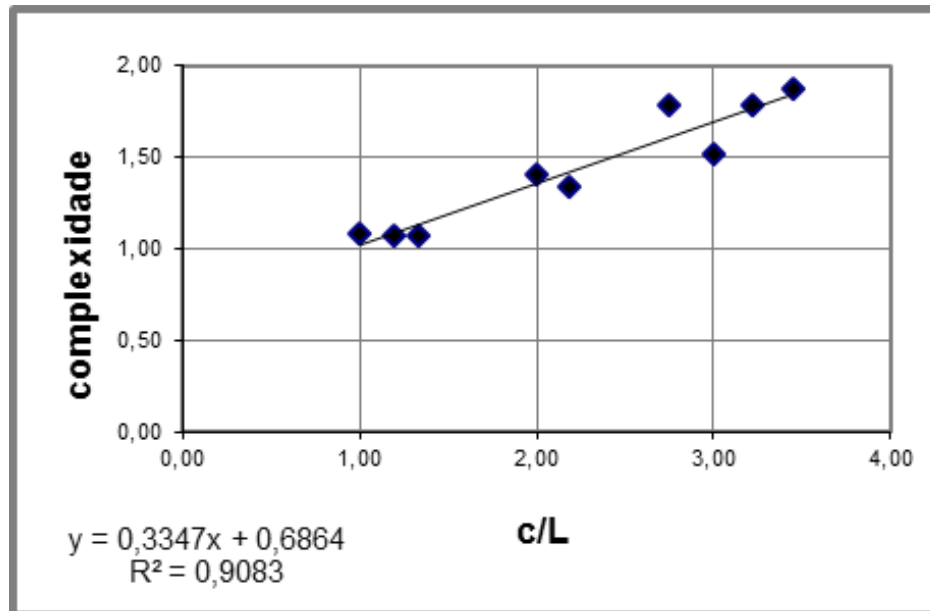
*Metrô SP 2010 – 3 (4) conexões e 5
linhas*



3. Índices

Relação entre índices de complexidade e conexões por linha

(Fonte: autoria própria)



4. Resultados

- Séries históricas – Mundo
- São Paulo
- São Paulo – Expansões recentes
- São Paulo – Planos recentes

4. Resultados

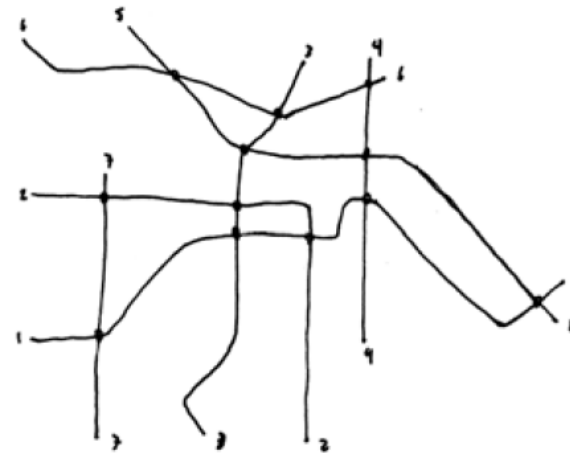
Metrô da Cidade do México 1972 e 1989

(Fonte: autoria própria)

1972 – 3 conexões e 3 linhas



1989 – 12 conexões e 7 linhas



Índice de conexões por linha para Metrô da Cidade do México

(Fonte: autoria própria)

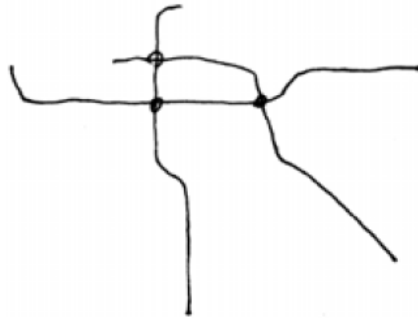
Rede de Metrô 1972	$3/3 = 1,00$
Rede de Metrô 1989	$12/7 = 1,80$
Rede de Metrô 2011	$23/11 = 2,05$

4. Resultados

Metrô de Santiago do Chile 2000 e 2009

(Fonte: autoria própria)

2000 – 3 conexões e 3 linhas



2009 – 7 conexões e 5 linhas



Índice de conexões por linha para Metrô de Santiago

(Fonte: autoria própria)

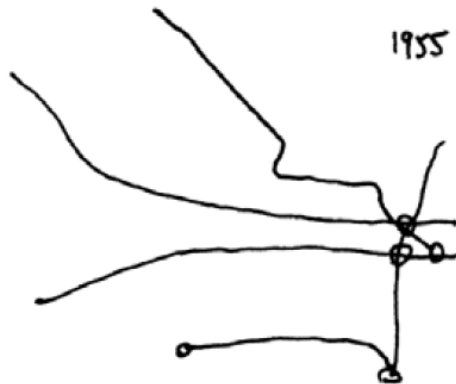
Rede de Metrô 2000	$3/3 = 1,00$
Rede de Metrô 2009	$7/5 = 1,40$
Rede de Metrô 2011	$8/5 = 1,60$

4. Resultados

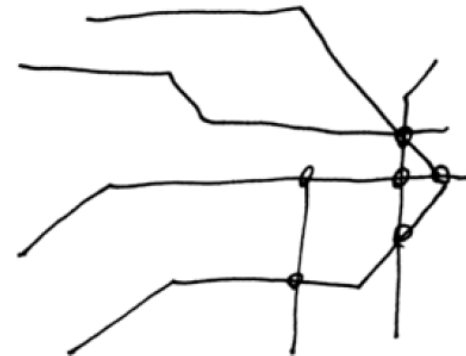
Metrô de Buenos Aires 1955 e 2011

(Fonte: autoria própria)

1955 – 4 conexões e 5 linhas



2011 – 6 conexões e 6 linhas



Índice de conexões por linha para Metrô de Buenos Aires

(Fonte: autoria própria)

Rede de Metrô 1955	$4/5 = 0,80$
Rede de Metrô 2011	$6/6 = 1,00$

4. Resultados

Índice de conexões por linha para Metrô de Paris 1910

(Fonte: autoria própria)

1910 – 12 conexões e 6 linhas



Índice de conexões por linha para Metrô de Paris

(Fonte: autoria própria)

Rede de Metrô 1910	$12/6 = 2,00$
Rede de Metrô 1918	$19/9 = 2,11$
Rede de Metrô 2011	$45/14 = 3,21$

4. Resultados

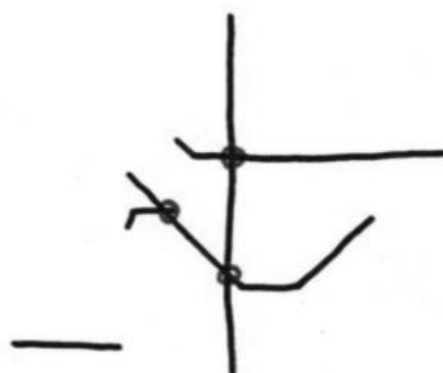
Índice de conexões por linha para Metrô de São Paulo 1997 e 2010

(Fonte: autoria própria)

*Metrô SP 1997 – 3 (2)
conexões e 3 linhas*



*Metrô SP 2010 – 3 (4) conexões e 5
linhas*



Índice de conexões por linha para São Paulo

(Fonte: autoria própria)

Ano	Metrô		Metrô + CPTM	
1974	$1/2 = 0,50$		$9/8 = 1,13$	$(5/8 = 0,63)$
1997	$3/3 = 1,00$	$(2/3 = 0,67)$	$11/9 = 1,22$	$(7/9 = 0,78)$
2009	$3/4 = 0,75$	$(2/4 = 0,50)$	$12/10 = 1,20$	$(9/10 = 0,90)$
2010	$4/5 = 0,80$	$(3/5 = 0,60)$	$14/11 = 1,27$	$(12/11 = 1,09)$
2011	$6/5 = 1,20$	$(5/5 = 1,00)$	$16/11 = 1,45$	$(13/11 = 1,18)$

4. Resultados

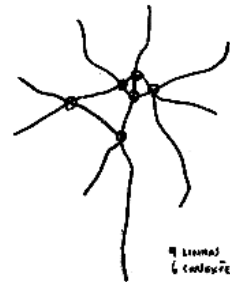
Índice de conexões por linha para planos do Metrô de São Paulo

(Fonte: autoria própria sobre HMD (1969); Metrô (1986); Deák (1999); STM (1999); STM (2006))

Prestes Maia 1956



HMD 1968 – 1ª fase



HMD 1968 – 2ª fase



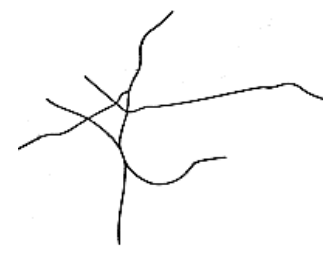
Rede Básica 1975



Rede Básica 1982



Rede Mínima 1985



Rede Básica 1990



PITU 2020



PITU 2025



4. Resultados

Índice de conexões por linha para planos do Metrô de São Paulo

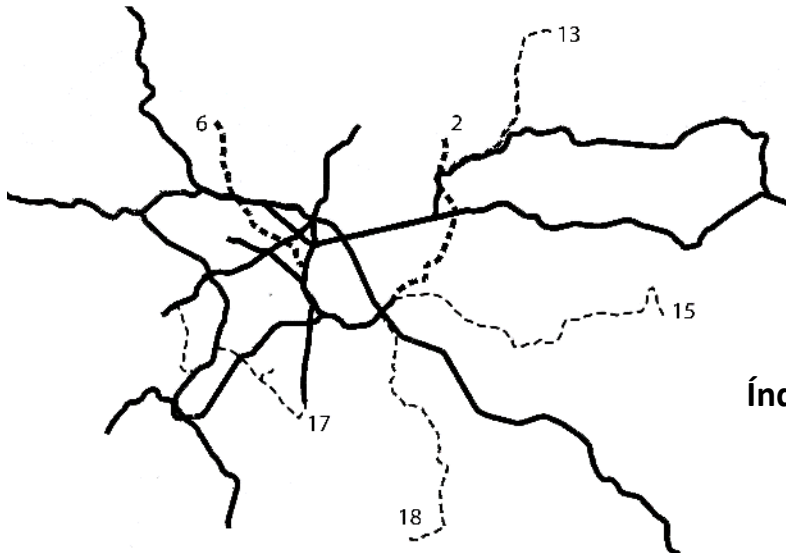
(Fonte: autoria própria)

Prestes Maia (1956)	$4/3 = 1,33$
HMD (1968) 1a fase	$6/4 = 1,50$
HMD (1968) 2a fase	$19/7 = 2,71$
Rede Básica 1975	$11/5 = 2,20$
Rede Básica 1982	$8/4 = 2,00$
Rede Mínima 1985	$5/4 = 1,25$
Rede Básica 1990	$21/7 = 3,00$
PITU 2020 (1998)	$23/7 = 3,28$
PITU 2025 (2006)	$24/8 = 3,00$

4. Resultados

Linhas atualmente em construção ou licitadas 2017

(Fonte: autoria própria)



Índice de conexões por linha para as linhas em construção em São Paulo

(Fonte: autoria própria)

	Conexões	Linhas	c/L
Metrô	8	5	$8/5 = 1,60$
Metrô + CPTM	18	11	$18/11 = 1,63$
Linha 15 – Prata	+1	+1	$19/12 = 1,58$
Linha 17 – Ouro	+4	+1	$22/12 = 1,83$
Linha 6 – Laranja	+3	+1	$21/12 = 1,75$
Linha 2 – Verde	+2	0	$20/11 = 1,81$
Linha 13 – Jade	+1	+1	$19/12 = 1,58$
Linha 18 – Bronze	+1	+1	$19/12 = 1,58$
TOTAL	18+12	11+5	$30/16 = 1,88$

4. Resultados

Figura 1 – Proposta do PITU 2020 – Rede Aberta

(Fonte: autoria própria sobre STM, 1999)



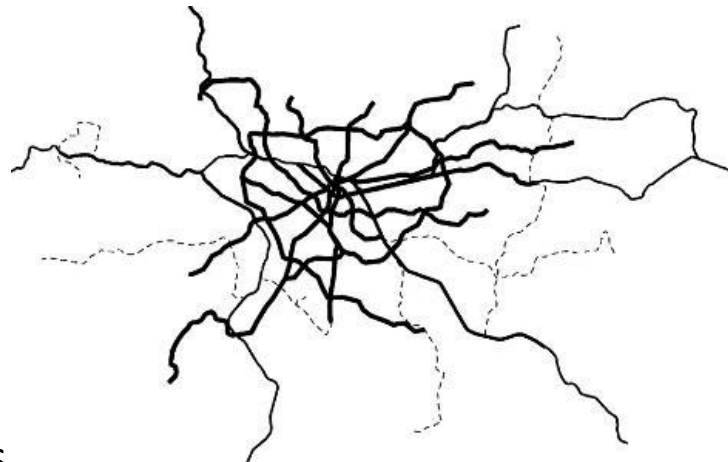
Figura 1 – Rede do PITU 2025/Rede Essencial

(Fonte: autoria própria sobre STM, 2006)



Figura 1 – Rede de alta capacidade para 2030

(Fonte: elaborado sobre STM, 2013)



4. Resultados

Índices dos planos recentes para o Metrô de São Paulo

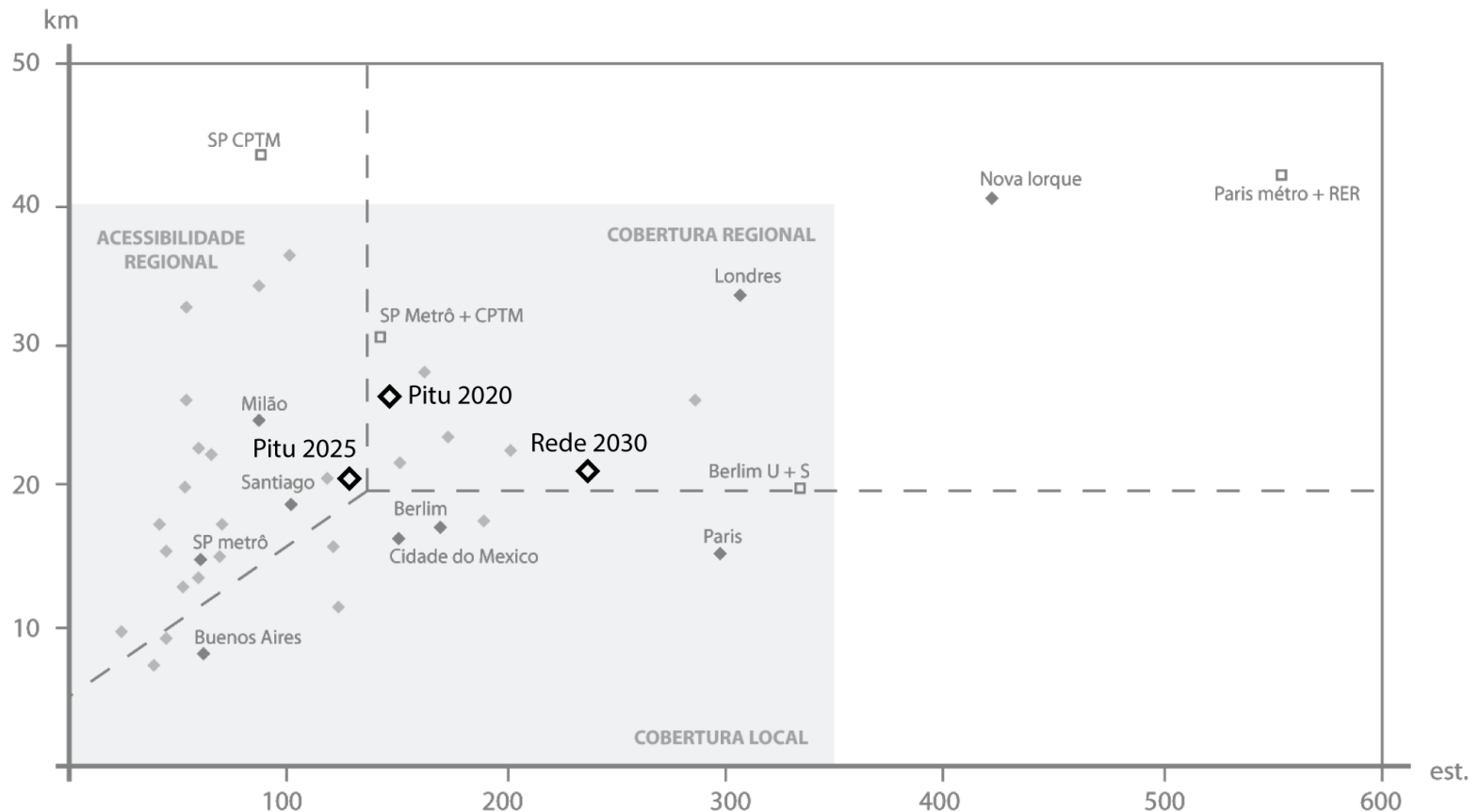
(Fonte: autoria própria)

Rede	Ano Horizonte	Linha média	Estações	Km/ mi hab	Complexidade	c/L
Atual - Metrô	2013	14,8	63	3,7	1,07	1,2
Atual - Metrô + CPTM	2013	30,4	147	16,7	1,41	1,5
Pitu 2020 Rede Aberta	2020	26,3	145	10,6	1,41	2,6
Pitu 2025 - Rede Essencial	2020	20,4	128	7,3	1,50	3,0
Rede 2030	2030	22,9	236	11,0	1,53	2,9

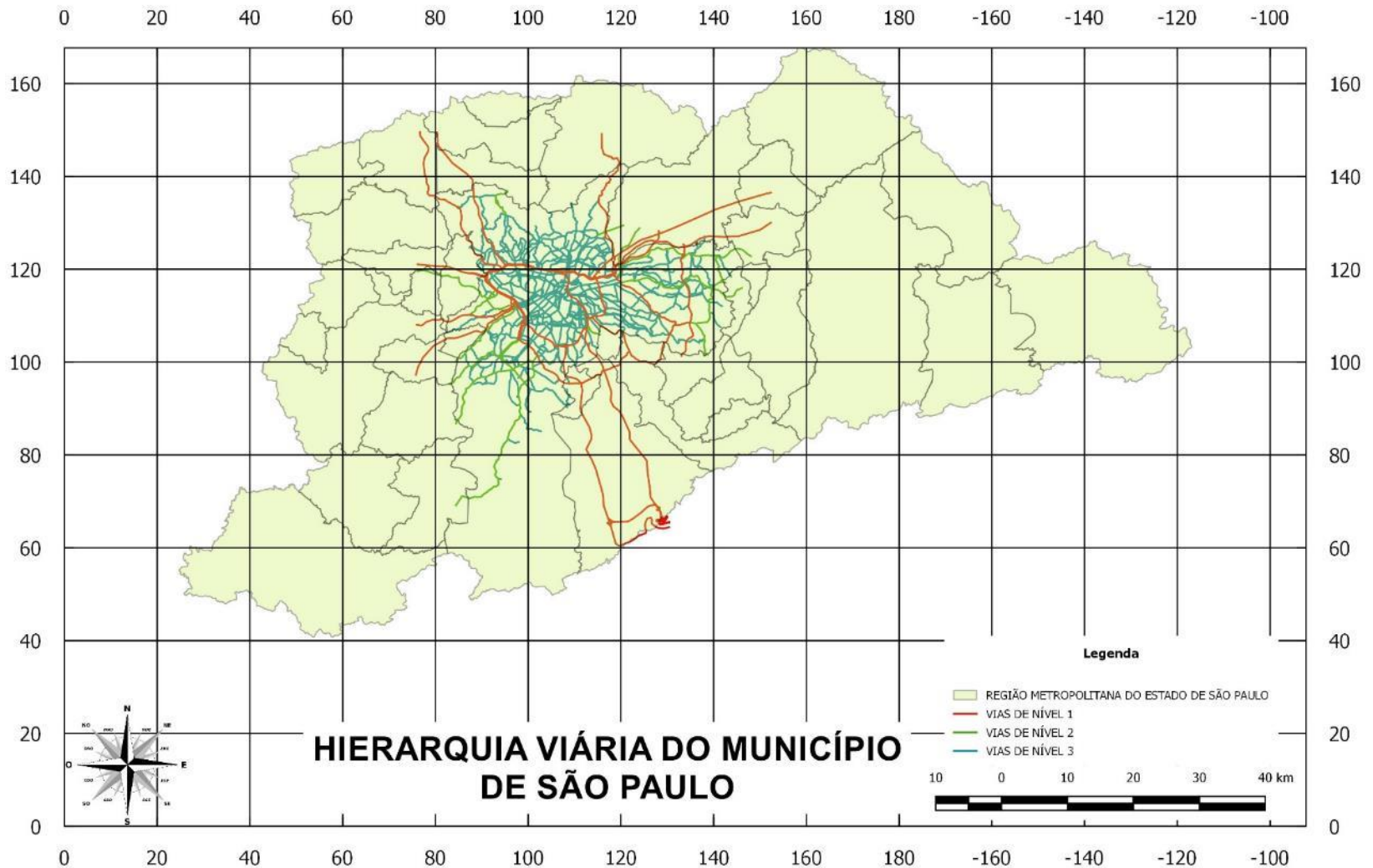
4. Resultados

Formas de rede dos planos recentes para o Metrô de São Paulo

(Fonte: autoria própria sobre Derrible & Kennedy, 2010)



4. Resultados



5. Conclusões

- Necessidade de utilizar métodos quantitativos de desempenho.
- Leitura simples e direta para fatores específicos.
- Potencial analítico e propositivo dos índices.
- Destaque para os índices de aspectos espaciais das redes, pouco explorados ainda.
- Padrões de serviço desejáveis, como uma quilometragem de rede por habitante ou um padrão de estruturação espacial da rede.
- Deles não se extrai indicação para a distinção entre os modos ou o modelos de organização de rede.
- É possível haver mais de um modelo de rede para ambos os modos.
- Analisar racionalmente fenômenos que são sociais, econômicos e culturais, que nem sempre são exatos.

Uso de indicadores na concepção e análise de redes de alta capacidade.

Marcos Kiyoto de Tani e Isoda
marcos.kiyoto@anhanguera.com
marcos.isoda@usp.br

23ª Semana de Tecnologia Metroferroviária