

# Planejamento da Oferta

# Dimensionamento

Prof. Orlando Strambi

Prof. Cassiano Augusto Isler

Prof. Mateus Humberto

2023



# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ **Objetivos**

### **Equilíbrio entre oferta e demanda**

#### **Oferta de Transporte Público como produção de transportes**

- **Demanda**
  - Distribuição espacial e temporal
  - Diferentes formas de ser obtida
- **CrITÉrios de qualidade**
  - Demanda pode ser atendida de diferentes formas

**Projeto resulta nos atributos percebidos pelos usuários  
em diferentes instâncias de decisão**



# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Projeto

- **Dados de demanda como matriz OD de viagens**
  - Por período/sentido
  - Zonas de tráfego/Pontos de parada

O D	1	2	3	4	5	Total
1	-	50	50	200	400	700
2	-	-	100	-	-	100
3	50	-	-	50	150	250
4	-	-	50	-	-	50
5	50	-	50	-	-	100
Total	100	50	250	250	550	1200



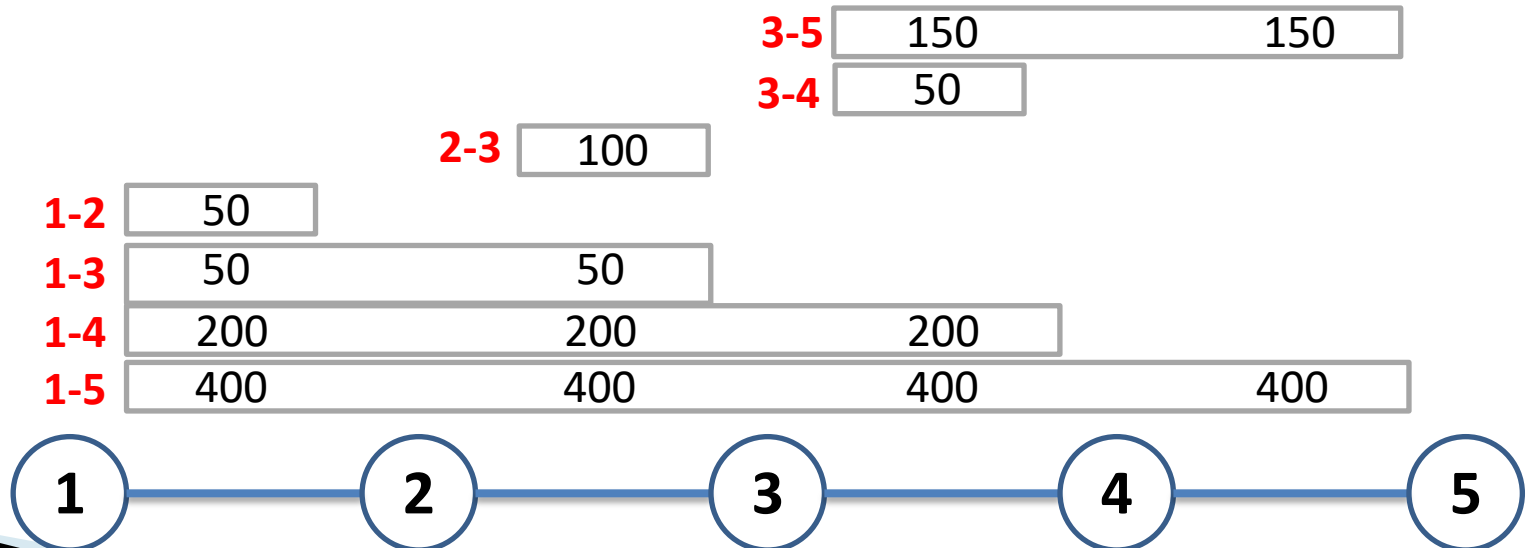
# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Projeto

Sentido 5-1  
(menor demanda)

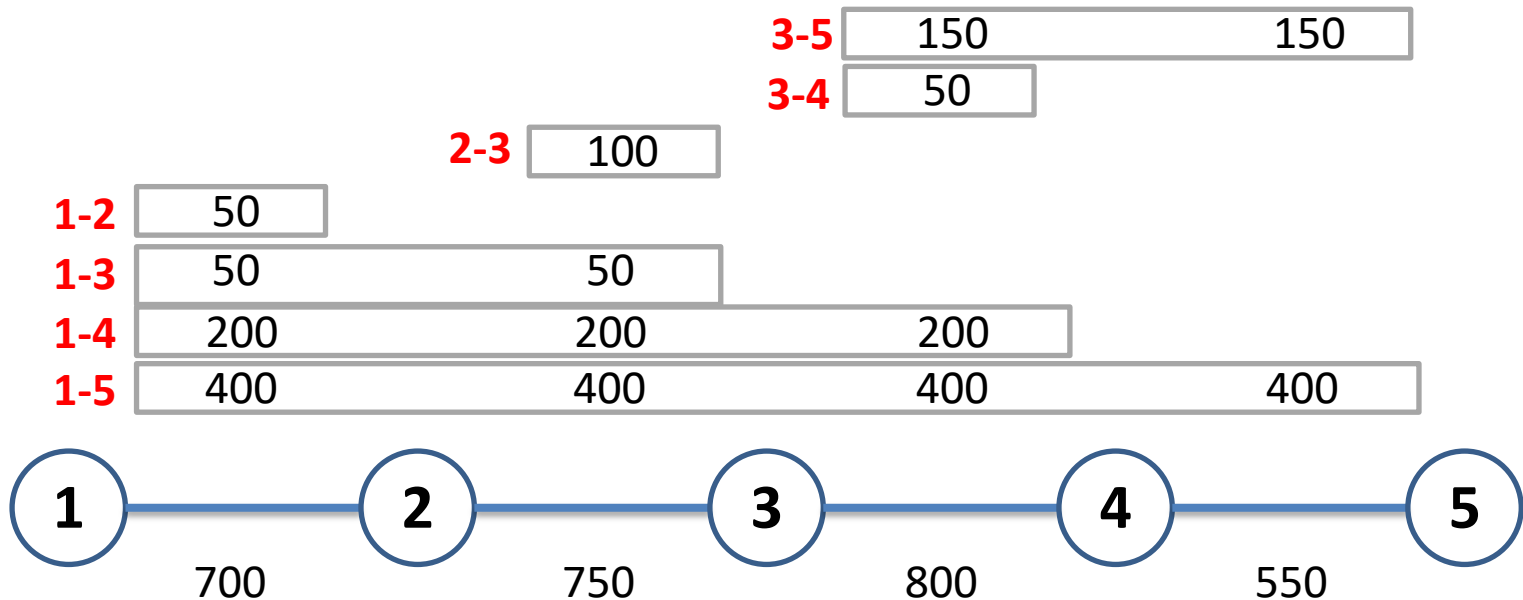
O	D	1	2	3	4	5	Total
1			50	50	200	400	700
2		-		100	-	-	100
3		50	-		50	150	250
4		-	-	50		-	50
5		50	-	50	-		100
Total		100	50	250	250	550	1200

Sentido 1-5  
(maior demanda)



# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Projeto



- Qual o trecho crítico?
- Qual o carregamento crítico? Em qual período?
- Qual a demanda atendida?

# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Projeto



- Qual o trecho crítico? **3-4 no período da matriz OD (pico)**
- Qual o carregamento crítico? Em qual período? **800 pass./Período da OD**
- Qual a demanda atendida? **Pelo carregamento não é possível determinar**

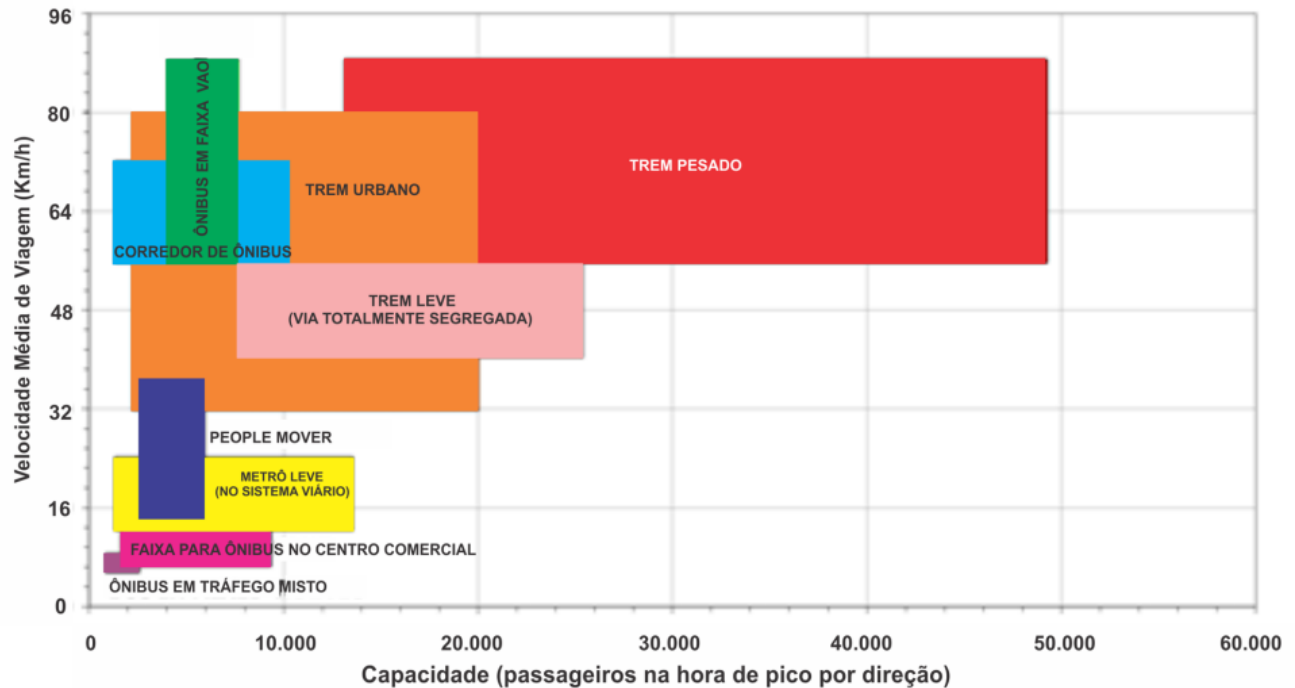
O	D	1	2	3	4	5	Total
1		-	50	50	200	400	700
2		-	-	100	-	-	100
3		50	-	-	50	150	250
4		-	-	50	-	-	50
5		50	-	50	-	-	100
Total		100	50	250	250	550	1200

# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Projeto



- Como transportar os passageiros nos trechos?





# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Projeto



Dada uma Ocupação de Projeto (OP) considerando um veículo-tipo, o objetivo é oferecer o serviço em intervalos regulares (com uma dada frequência).

$$Freq = \frac{\text{Carregamento Crítico (CC) no período}}{\text{Ocupação de Projeto (OP)}}$$

Se  $OP = 80$  passageiros então  $Freq = 10$  viagens/hora (a cada 6 minutos).

- Qual é a ocupação média em cada trecho de uma viagem?
- Qual é a espera média?
- Qual é a demanda média atendida em uma viagem?

# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Projeto

Se  $OP = 80$  passageiros então  $F = 10$  viagens/hora (a cada 6 minutos).

- Qual é a ocupação média em cada trecho de uma viagem?

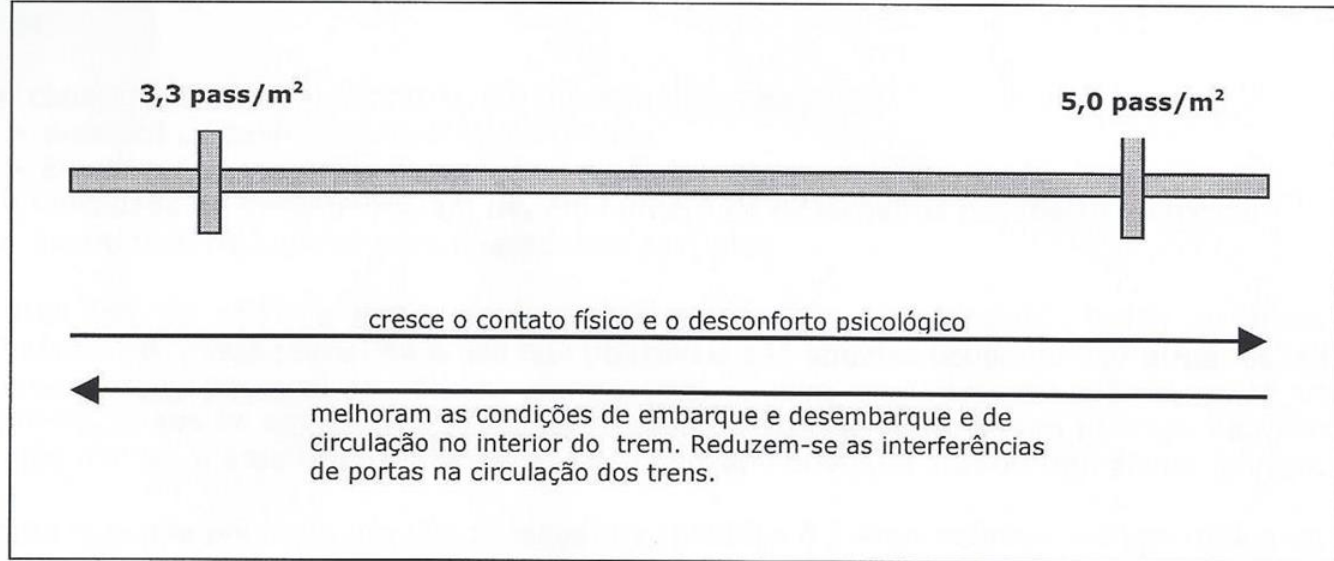


- Qual é a espera média? **3 minutos**
- Qual é a demanda média atendida em uma viagem? **100 passageiros**
- Qual a diferença entre carregamento e ocupação?

# Afinal, quantos cabem?

O Metrô de São Paulo, no início de sua operação adotou 4 passageiros em pé por  $m^2$  como padrão de densidade de passageiros para planejamento da oferta de lugares nos picos de demanda dos dias úteis. Com este padrão, apesar dos usuários estarem sujeitos a um pequeno desconforto psicológico pelo contato físico inevitável, existem boas condições de circulação no interior dos trens, possibilitando ainda a absorção de eventuais acúmulos de passageiros nas plataformas decorrentes de flutuações na demanda ou irregularidade na circulação dos trens. Com este padrão, o sistema tem a sua situação normalizada rapidamente após alguma irregularidade operacional (figura 4.2).

Figura 4.2 - Nível de conforto "E" - John J. Fruin



Nos sistemas atualmente projetados, em virtude da alteração dos limites de percepção do desconforto psicológico aceita-se 6 passageiros em pé por  $m^2$  como padrão de densidade de passageiros para planejamento da oferta de lugares nos picos de demanda dos dias úteis.

# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Projeto

- Qual o índice de renovação da linha?



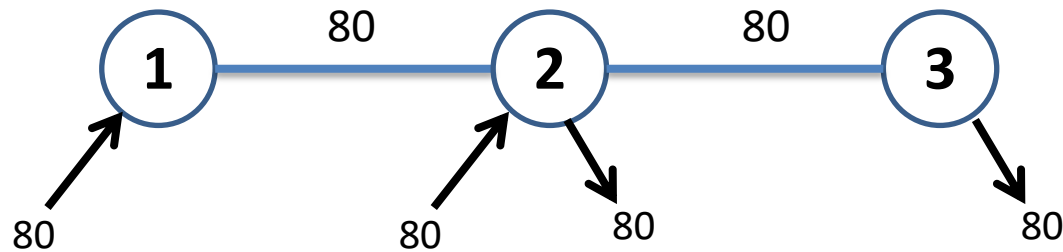
$$\text{Índice de Renovação (IR)} = \frac{\text{Demanda no período}}{\text{Carregamento Crítico (CC) no período}}$$

$$\text{Índice de Renovação (IR)} = \frac{1000}{800} = 1,25$$

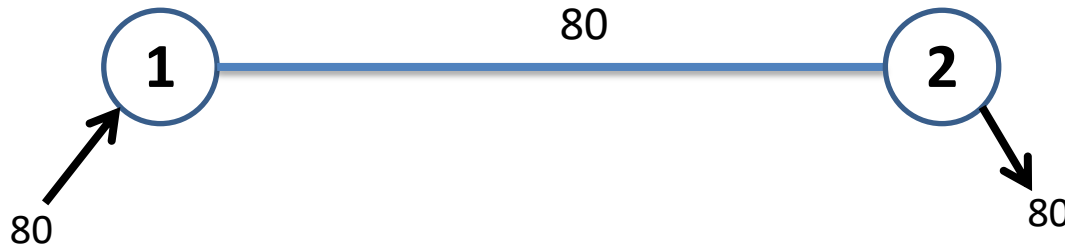
**IR sempre maior que 1,00!**

# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

- Por que *IR* é importante?



$$IR = \frac{160}{80} = 2,0$$



$$IR = \frac{80}{80} = 1,0$$

Mesma linha pode ter IR diferentes em períodos diferentes

Linhas diferentes têm IR diferentes

# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Projeto

O	D	1	2	3	4	5	Total
1			50	50	200	400	700
2		-		100	-	-	100
3		50	-		50	150	250
4		-	-	50		-	50
5		50	-	50	-		100
Total		100	50	250	250	550	1200

### LINHA EXPRESSA



### LINHA PARADORA



Hipótese: Passageiros que saem de 1 para 4 e 5 usam a expressa

# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Projeto

O	D	1	2	3	4	5	Total
1			50	50	200	400	700
2		-	-	100	-	-	100
3		50	-	-	50	150	250
4		-	-	50	-	-	50
5		50	-	50	-	-	100
Total		100	50	250	250	550	1200

### LINHA EXPRESSA



Admitindo Ocupação de Projeto (OP) = 80 passageiros

$$Freq = \frac{600}{80} = 7,5 \text{ viagens/hora (a cada 8 minutos)}$$

$$IR = \frac{600}{600} = 1,0$$

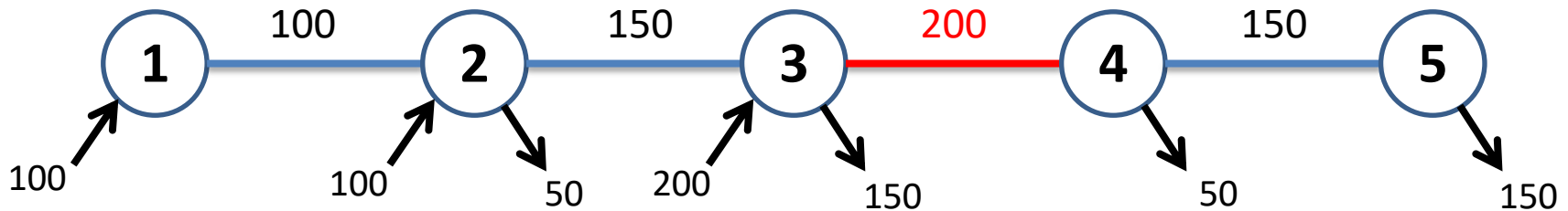
Espera média = 4 minutos

# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Projeto

O D	1	2	3	4	5	Total
1		50	50	200	400	700
2	-		100	-	-	100
3	50	-		50	150	250
4	-	-	50		-	50
5	50	-	50	-		100
Total	100	50	250	250	550	1200

### LINHA PARADORA



Admitindo Ocupação de Projeto (OP) = 80 passageiros

$$Freq = \frac{200}{80} = 2,5 \text{ viagens/hora (a cada 24 minutos)}$$

$$IR = \frac{400}{200} = 2,0$$

Espera média = 12 minutos

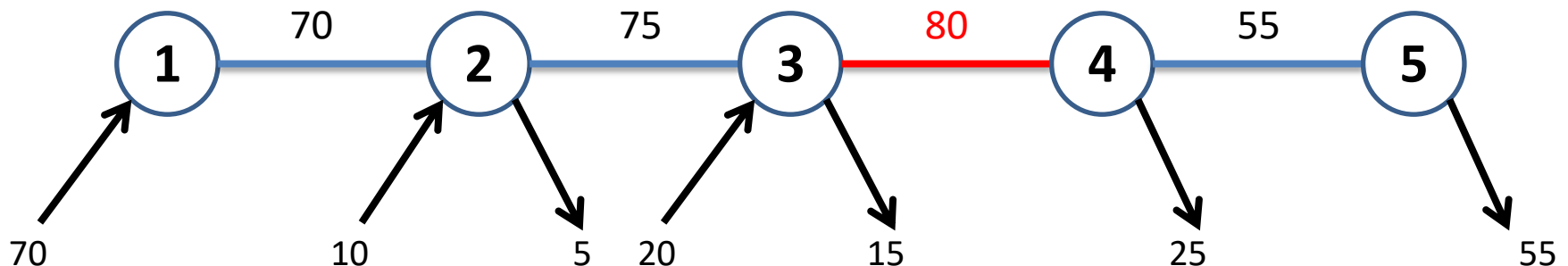


# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Outros tipos de fontes de dados

### • PESQUISA SOBE-DESCE/EMBARQUE-DESEMBARQUE

- uma viagem "representativa" do período
- um pesquisador em cada porta
- contagem de passageiros embarcando/desembarcando
- custo menor/menos informação
- **possível obter demanda atendida na viagem representativa**

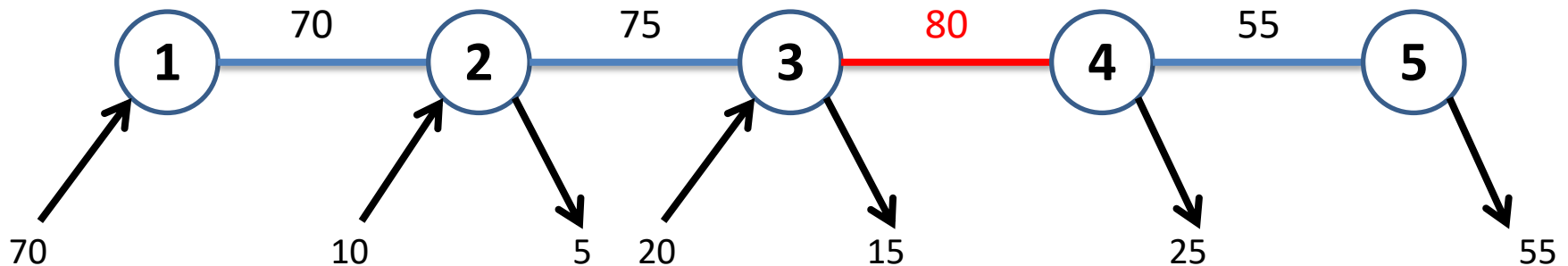


- É possível determinar demanda? E *IR*?
- Qual a informação mais importante para o projeto?

# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Outros tipos de fontes de dados

### • PESQUISA SOBE-DESCE/EMBARQUE-DESEMBARQUE



- No trecho crítico não estão incluídos
  - passageiros que desembarcaram antes do trecho crítico
  - passageiros que embarcaram após o trecho crítico

$$IR = \frac{100}{80} = 1,25$$

- Quais as consequências?

# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Outros tipos de fontes de dados

- **PESQUISA SOBE-DESCE/EMBARQUE-DESEMBARQUE**

- **Quais as consequências?**

Só é possível saber a demanda 1-4 e 1-5 pela OD

Não é possível projetar outros serviços

### **LINHA EXPRESSA**



### **LINHA PARADORA**



# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Projeto

- Dados de demanda no período (catraca) + *IR* de viagem representativa

$$\text{Carregamento Crítico (CC) no período} = \frac{\text{Demanda no período}}{\text{Índice de Renovação (IR) representativo}}$$

- Informação básica para dimensionar serviço com custo muito menor

$$\text{Freq} = \frac{\text{Carregamento Crítico (CC) no período}}{\text{Ocupação de Projeto (OP)}}$$

$$\text{Freq} = \frac{\text{Demanda no período}}{\text{Ocupação de Projeto (OP)} \cdot \text{Índice de Renovação (IR) representativo}}$$

# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Projeto

- **Quantos ônibus são necessários para oferecer a uma dada frequência?**
- **Tempo de Ciclo**
  - tempo para completar um ciclo de operação  
(o veículo está pronto para iniciar um novo ciclo)
  - existem vários tipos de ciclos  
(**por viagem**, por dia, ciclo de manutenção etc.)
- **Frota**

$$Frota = \frac{\textit{Tempo de ciclo}}{\textit{Intervalo entre partidas}} = \textit{Tempo de Ciclo} \cdot \textit{Freq}$$

# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Comentários

- **Frequência e custo**
  - Frequência determina recursos necessários
  - No pico: frota requerida para operação
    - depende da velocidade/tempo de ciclo
    - determina custos fixos (totais)
  - Durante o dia todo: quilometragem percorrida
    - depende da extensão do itinerário
    - determina custos variáveis (totais)

# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

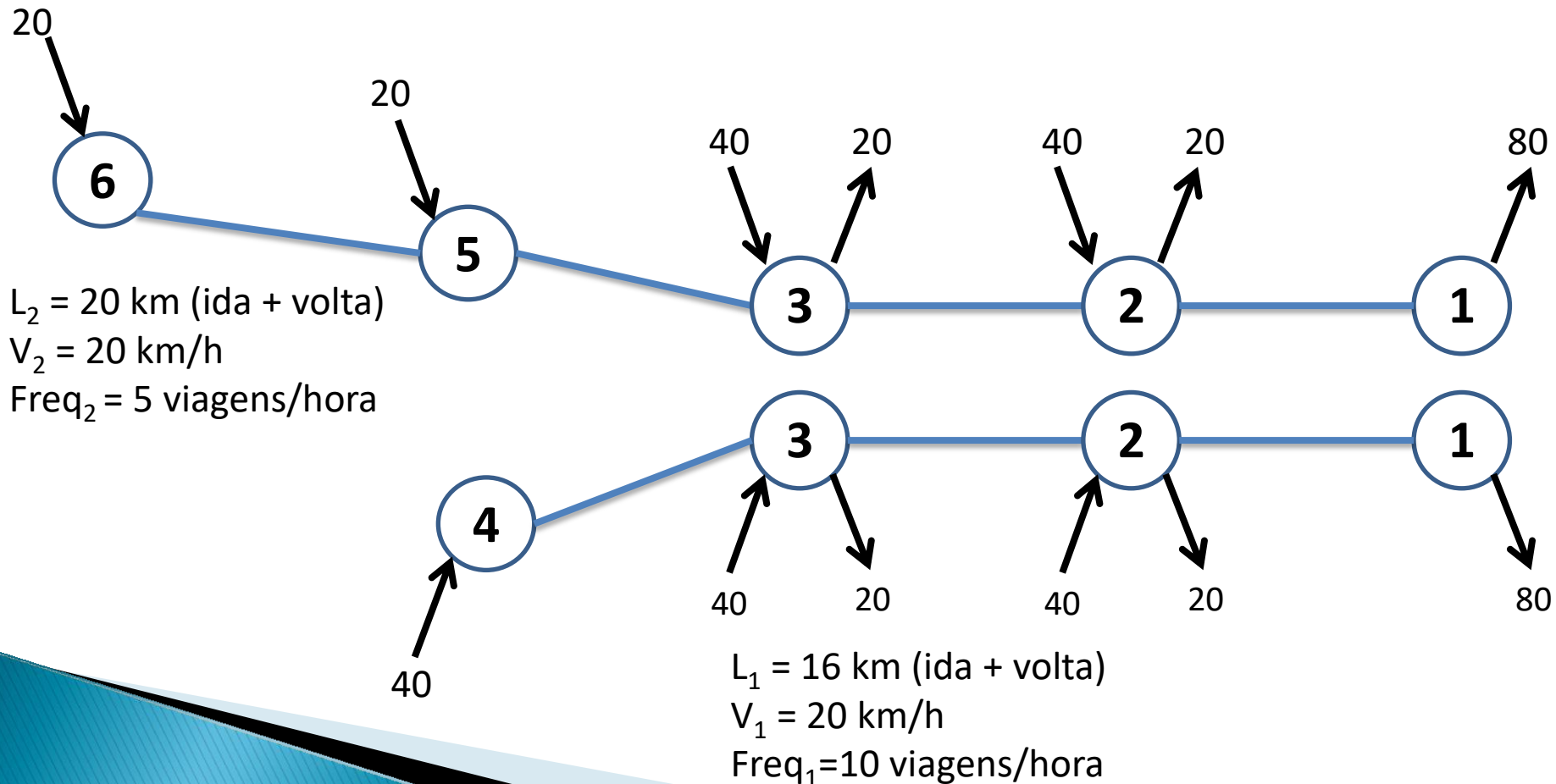
## ➤ Comentários

- **Frequência e atributos do serviço**
  - Frequência não é observada diretamente pelo usuário
  - Usuário observa consequências da frequência
    - Ocupação
    - Tempo de espera
    - Tarifa
  - Existem outros atributos que não dependem da frequência
    - Tempo de viagem, de caminhada, transbordos etc.
    - Como combiná-los para selecionar melhor solução?

# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Exemplo

- Duas linhas distintas conectando dois bairros à região central

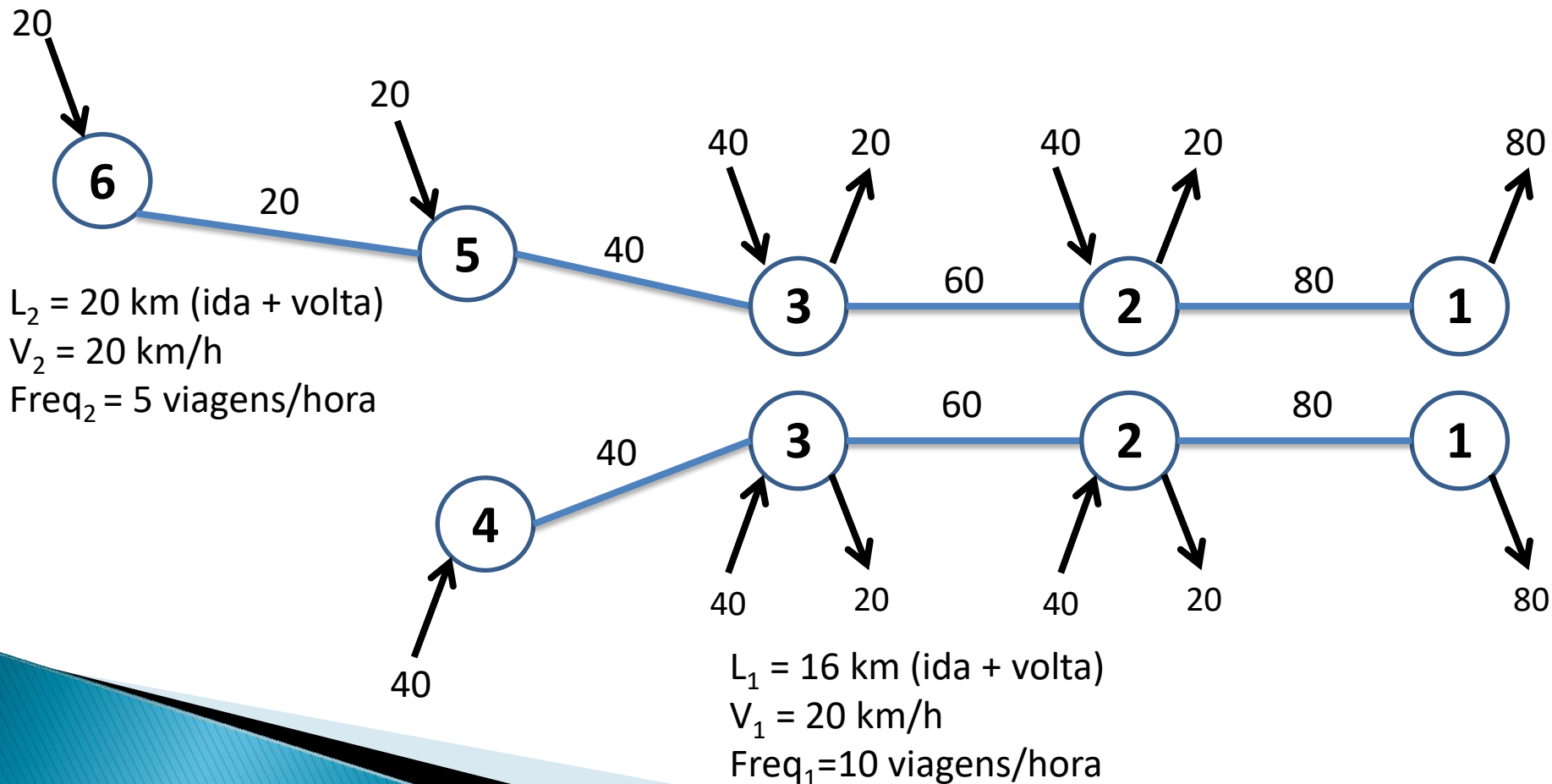




# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Exemplo

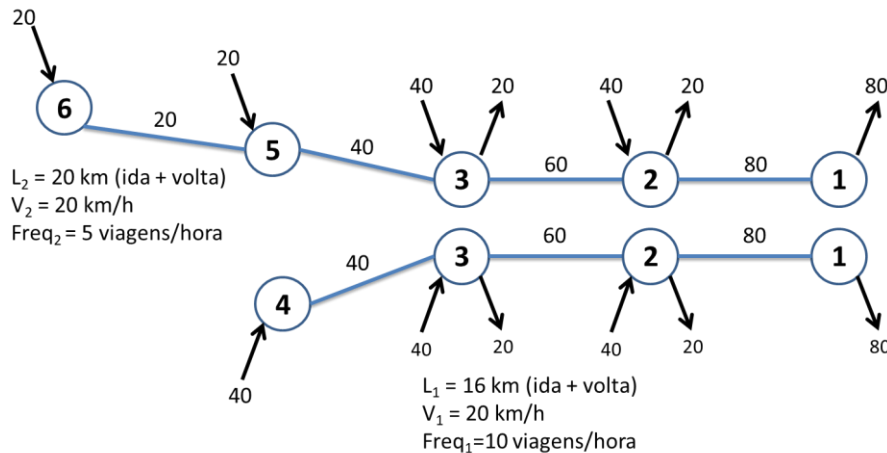
- Duas linhas distintas conectando dois bairros à região central



# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Exemplo

- Duas linhas distintas conectando dois bairros à região central



$$CG = 18.T + t_v + 2.t_e + 4.(Oc/40)^2 + 10.N$$

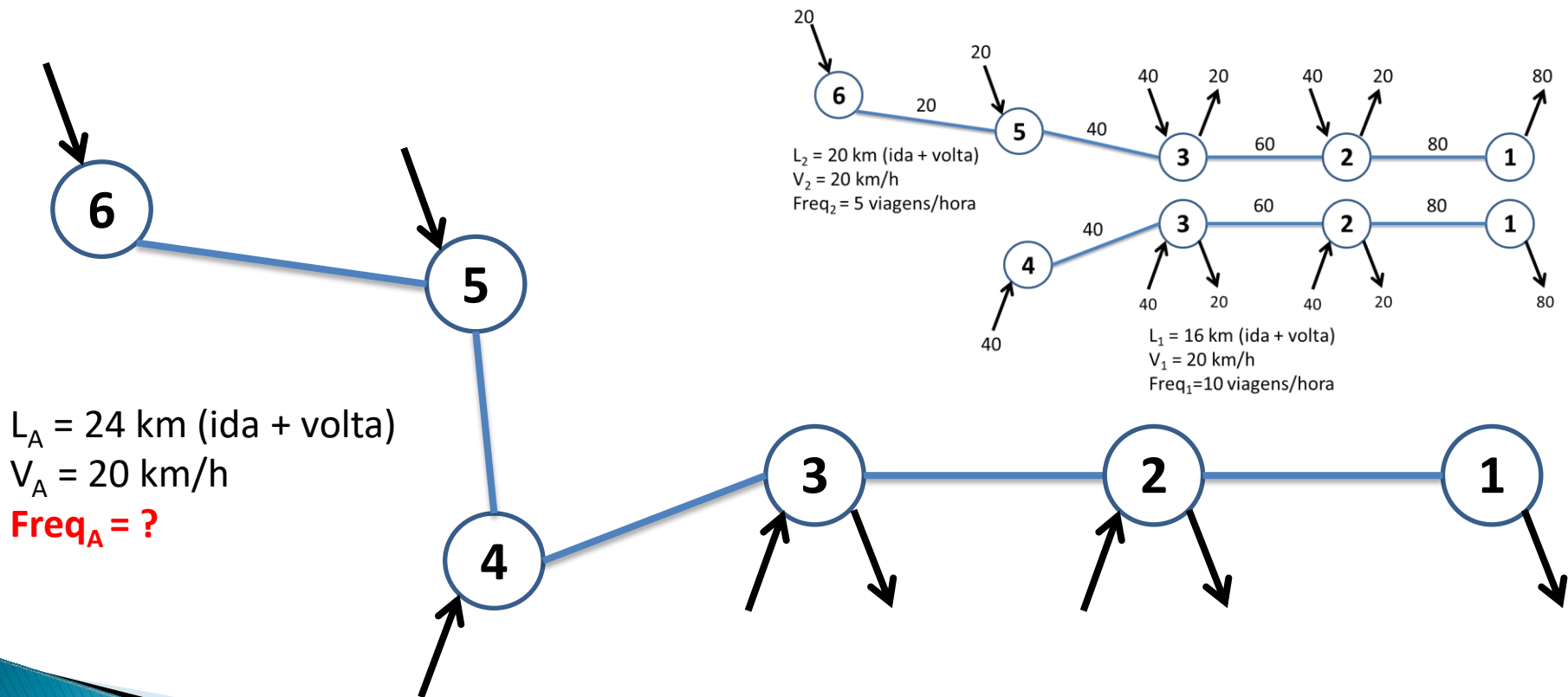
	Linhas atuais	
	L1	L2
L (km)	16	20
V (km/h)	20	20
Freq (viag/h)	10	5
Ciclo (h)	0,8	1,0
Frota (veíc.)	8	5

	Atual	
	4 >> 1	6 >> 1
T (R\$)	1,00	1,00
$t_{\text{veic}}$ (min)	24	30
$t_{\text{esp}}$ (min)	3	6
Ocup Tr. Crit.	80	80
N (transfer.)	0	0
CG (min.gen.)	64	76

# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Exemplo

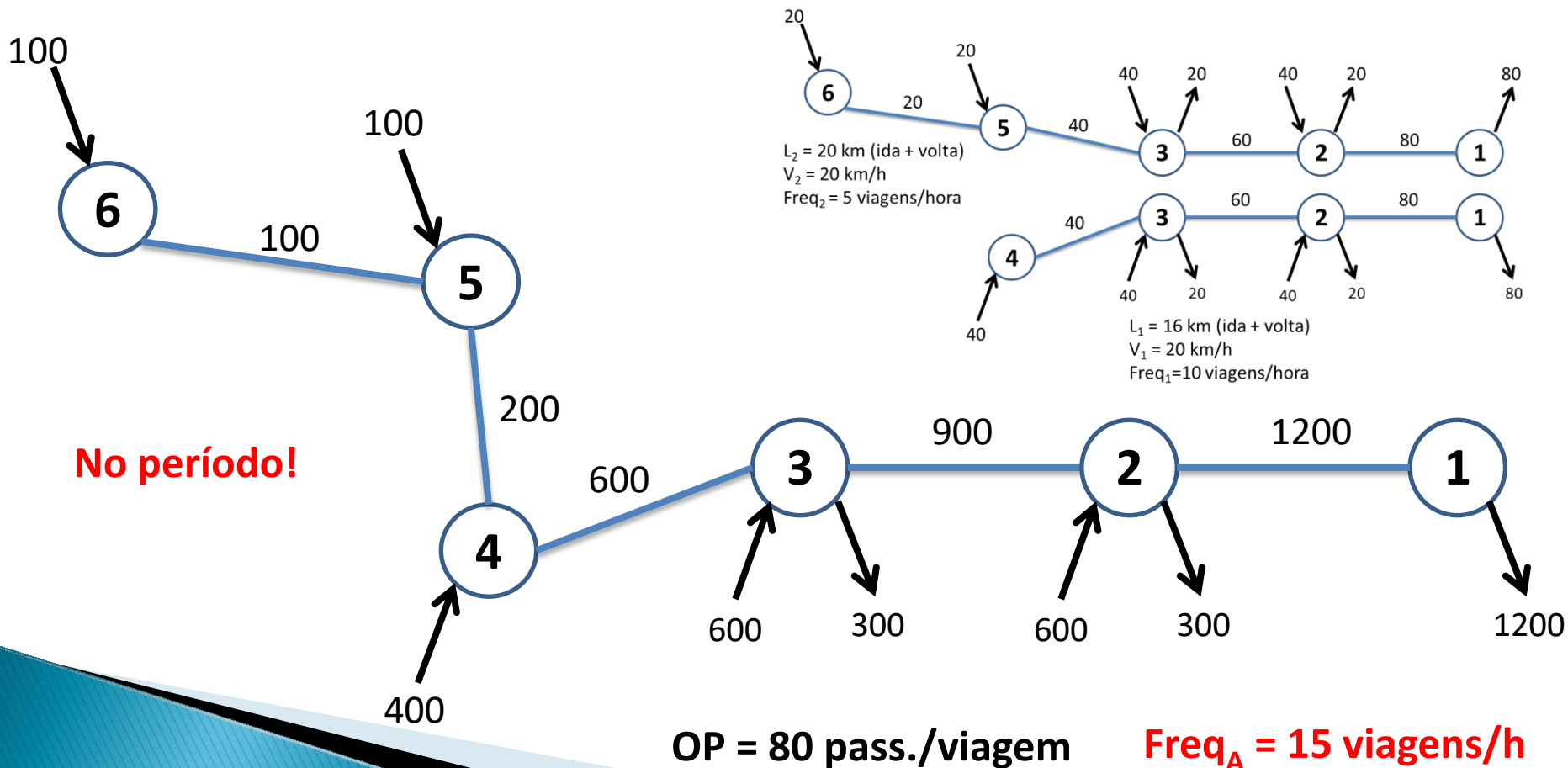
- ALTERNATIVA A – Combinação de linhas



# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Exemplo

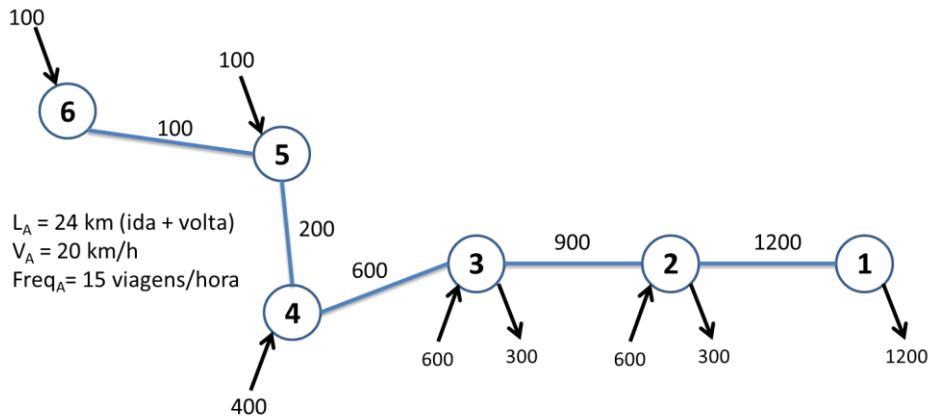
- ALTERNATIVA A – Combinação de linhas



# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Exemplo

- **ALTERNATIVA A – Combinação de linhas**



$$CG = 18.T + t_v + 2.t_e + 4.(Oc/40)^2 + 10.N$$

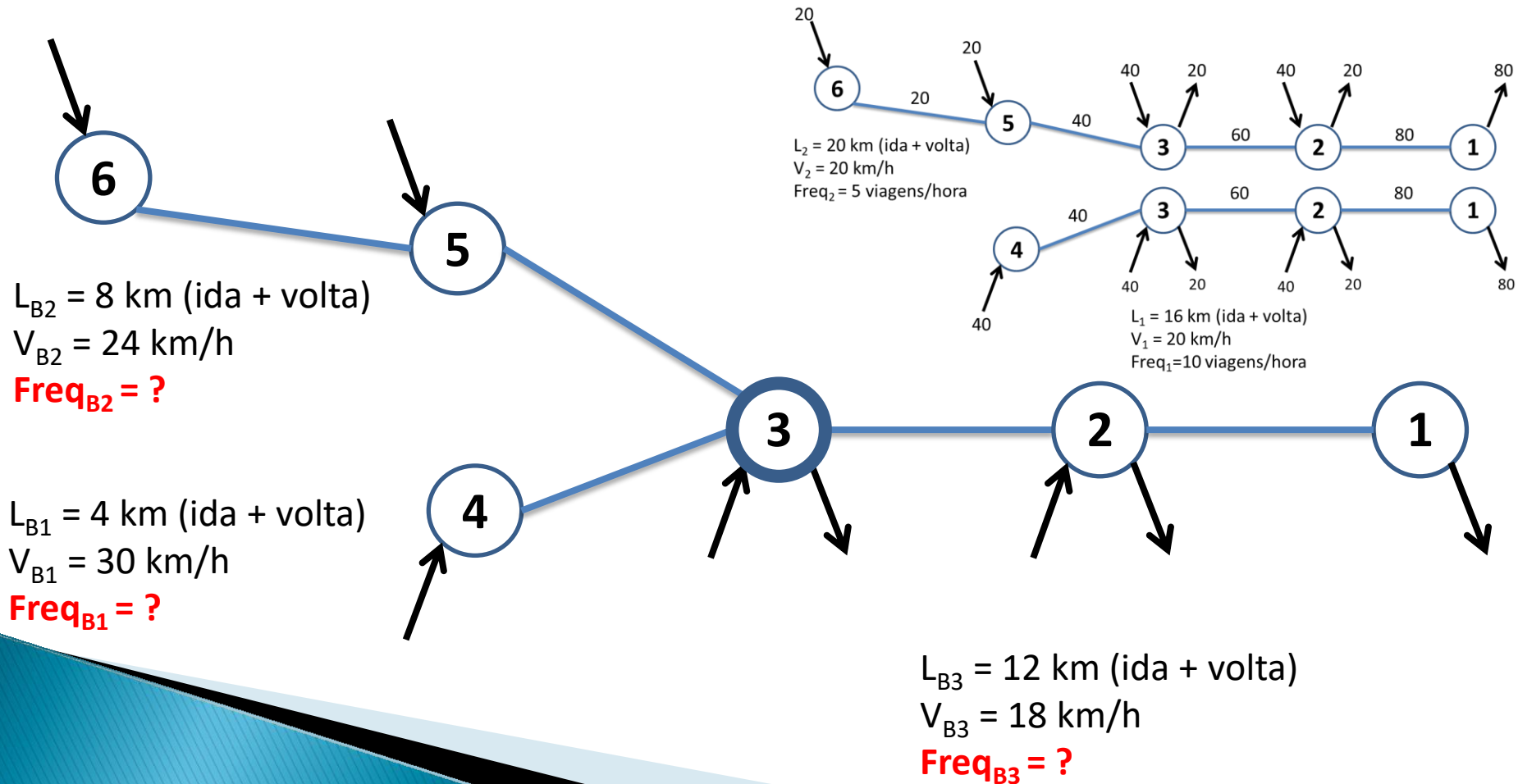
	Alternativa A
	<b>LA</b>
L (km)	24
V (km/h)	20
Freq (viag/h)	15
Ciclo (h)	1,2
Frota (veíc.)	18

	Alternativa A	
	4 >> 1	6 >> 1
T (R\$)	<b>1,11</b>	<b>1,11</b>
$t_{\text{veic}}$ (min)	24	36
$t_{\text{esp}}$ (min)	2	2
Ocup Tr. Crit.	80	80
N (transfer.)	0	0
CG (min.gen.)	64	76

# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Exemplo

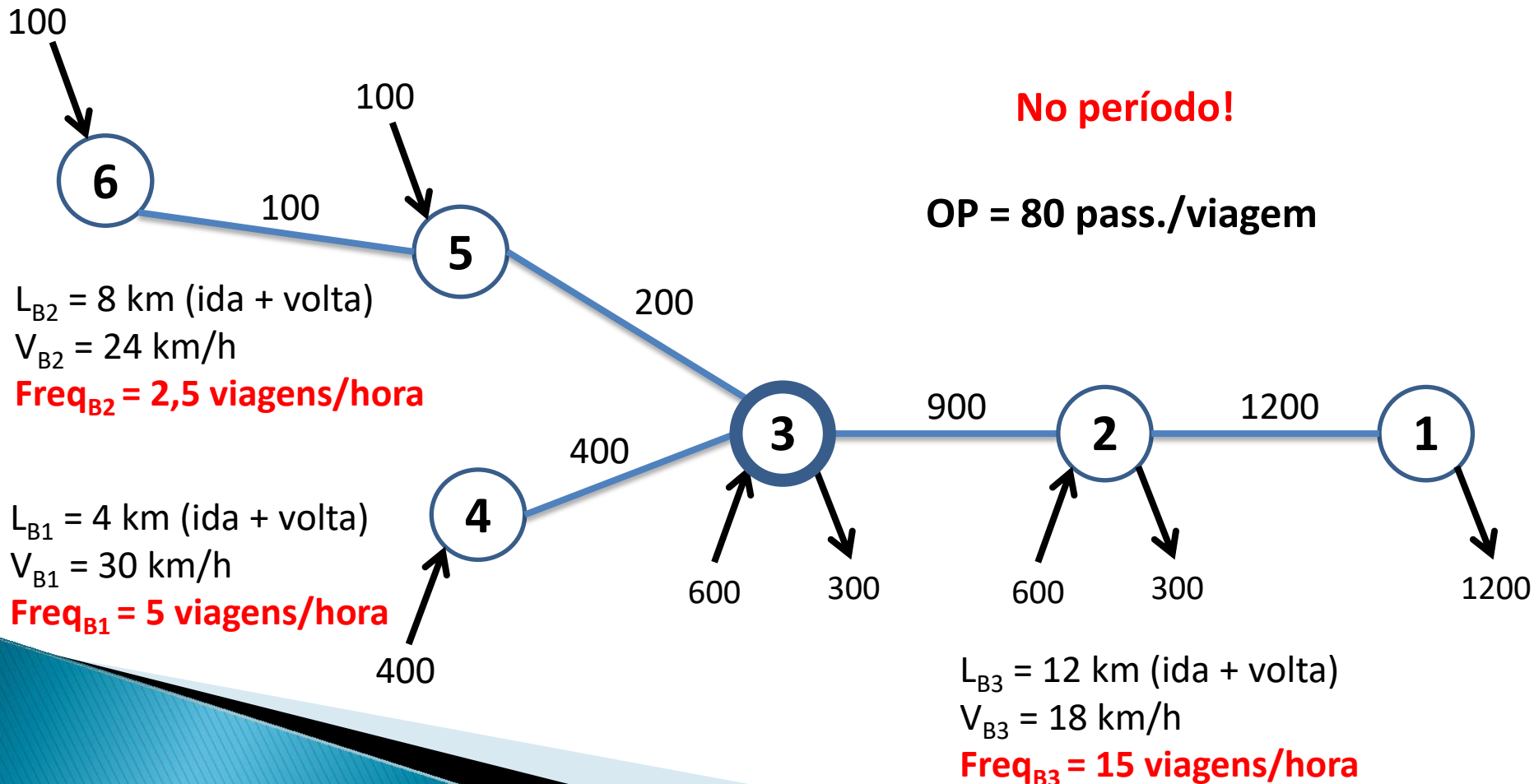
- ALTERNATIVA B – Linha Tronco-alimentado



# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Exemplo

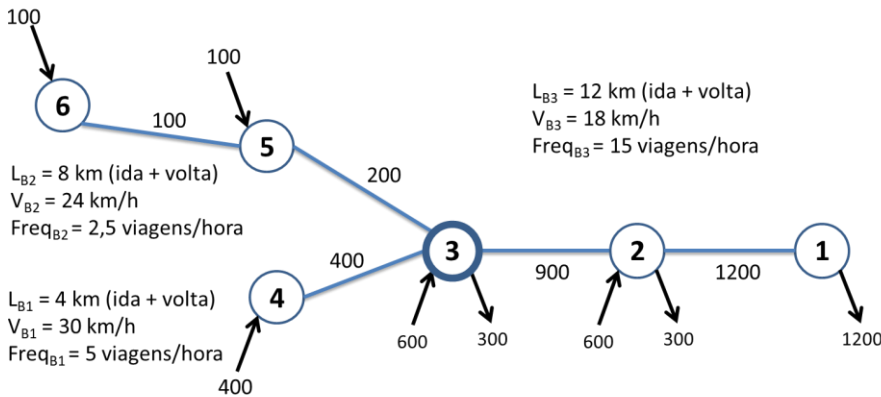
- ALTERNATIVA B – Linha Tronco-alimentado



# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Exemplo

- **ALTERNATIVA B – Linha Tronco-alimentado**



	Alternativa B		
	LB1	LB2	LB3
L (km)	4	8	12
V (km/h)	30	24	18
Freq (viag/h)	5	2,5	15
Ciclo (h)	0,13	0,33	0,67
Frota (veíc.)	1	1	10

	Alternativa B	
	4 >> 1	6 >> 1
T (R\$)	0,95	0,95
$t_{\text{veic}}$ (min)	24	30
$t_{\text{esp}}$ (min)	8	14
Ocup tr.crit	80	80
N (transfer.)	1	1
CG (min.gen.)	83	101

$$CG = 18.T + t_v + 2.t_e + 4.(Oc/40)^2 + 10.N$$



# Planejamento da Oferta – Dimensionamento

## ➤ Exemplo

- Comparação entre alternativas

	Linhas atuais		Alternativa A	Alternativa B		
	L1	L2	LA	LB1	LB2	LB3
L (km)	16	20	24	4	8	12
V (km/h)	20	20	20	30	24	18
Freq (viag/h)	10	5	15	5	2.5	15
Ciclo (h)	0,8	1	1.2	0,13	0,33	0,67
Frota (veíc.)	8	5	18	1	1	10

	Atual		Alternativa A		Alternativa B	
	4 >> 1	6 >> 1	4 >> 1	6 >> 1	4 >> 1	6 >> 1
T (R\$)	1,00	1,00	1,11	1,11	0,95	0,95
t <sub>veic</sub> (min)	24	30	24	36	24	30
t <sub>esp</sub> (min)	3	6	2	2	8	14
Ocup Tr. Crit	80	80	80	80	80	80
N (transfer.)	0	0	0	0	1	1
CG (min.gen.)	64	76	64	76	83	101