

# EQUILÍBRIO ENTRE DEMANDA E OFERTA

STT0405 Planejamento e Análise de Sistemas de Transportes

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Engenharia de Transportes

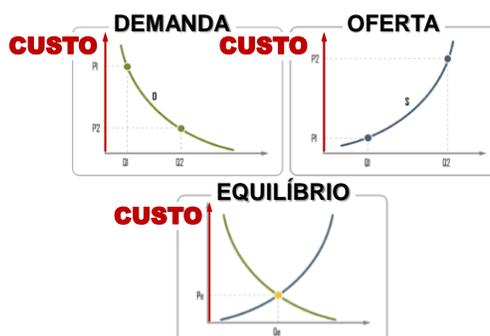
## Tópicos

- Introdução
- Teoria sobre o equilíbrio entre demanda e oferta
- Construção da curva de demanda (volume x custo ao usuário)
- Equilíbrio em ligações isoladas
- Equilíbrio em rede
- Custo e benefício no equilíbrio

**EQUILÍBRIO ENTRE DEMANDA E OFERTA**  
**PRODUTOS HOMOGÊNEOS**



**EQUILÍBRIO ENTRE DEMANDA E OFERTA**  
**NO SISTEMA DE TRANSPORTES**



**CUSTO**  
**=**  
**CUSTO GENERALIZADO**

**PRODUTOS DE  
QUALIDADE HOMOGÊNEA**

**PREÇO**  
ÚNICO FATOR CONSIDERADO  
NA ANÁLISE DA OFERTA

**TRANSPORTE PODE SER INCLUÍDO NO  
CONJUNTO DE BENS E SERVIÇOS**

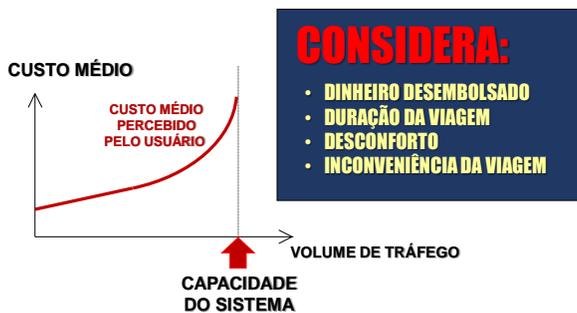
Usuário quer

**QUALIDADE**

Demanda sensível ao  
**NÍVEL DE SERVIÇO**

**FUNÇÃO  
CUSTO AO  
USUÁRIO**

**EM TRANSPORTES**  
VALOR DO TEMPO EM VIAGEM  
PERDA DO VALOR DA  
MERCADORIA EM TRÂNSITO  
CUSTO DA INCONVENIÊNCIA  
CUSTO DO DESCONFORTO



**EQUILÍBRIO ENTRE  
DEMANDA E OFERTA  
PRODUTOS  
HOMOGÊNEOS**

**PERMITE ESTIMAR  
QUANTIDADE  
PREÇO**

**EQUILÍBRIO ENTRE  
DEMANDA E OFERTA  
NO SISTEMA DE  
TRANSPORTES**

**PERMITE ESTIMAR  
FLUXO  
CUSTO  
TEMPO DE VIAGEM**

**Tópicos**



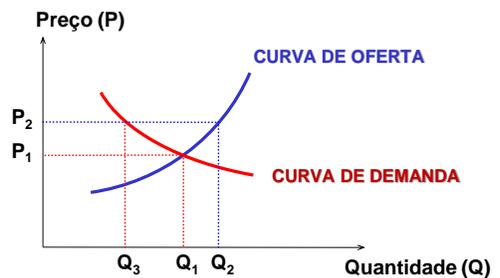
- Introdução
- Teoria sobre o equilíbrio entre demanda e oferta
- Construção da curva de demanda (volume x custo ao usuário)
- Equilíbrio em ligações isoladas
- Equilíbrio em rede
- Custo e benefício no equilíbrio

# EQUILÍBRIO ENTRE DEMANDA E OFERTA

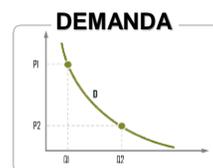
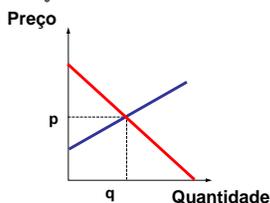
## PRODUTOS HOMOGÊNEOS

PRODUTORES ESTÃO DISPOSTOS A  
OFERECER O **VOLUME** DE  
BENS/SERVIÇOS QUE  
CONSUMIDORES ESTÃO DISPOSTOS A  
**ADQUIRIR**  
POR UM DADO **PREÇO**

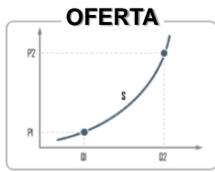
QUANTIDADE TOTAL  
PRODUZIDA É IGUAL À  
QUANTIDADE TOTAL  
CONSUMIDA



**MATEMATICAMENTE**  
PONTO EM QUE A FUNÇÃO DE **DEMANDA**  
É IGUAL A FUNÇÃO DE OFERTA



MOSTRA COMO **VOLUME DE TRÁFEGO**  
É AFETADO PELOS ATRIBUTOS DE  
**NÍVEL DE SERVIÇO**



**MOSTRA COMO ATRIBUTOS DE NÍVEL DE SERVIÇO SÃO INFLUENCIADOS PELO VOLUME DE TRÁFEGO**

## EXEMPLO

TEMPO DE VIAGEM EM UMA VIA ENTRE DOIS PONTOS

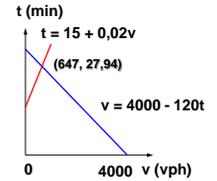
$$t = 15 + 0,02 \cdot v$$

v: volume (veic/h)

t: tempo de viagem (min)

Demanda por viagens entre pontos

$$v = 4000 - 120 \cdot t$$



## Tópicos

- Introdução
- Teoria sobre o equilíbrio entre demanda e oferta
- Construção da curva de demanda (volume x custo ao usuário)
- Equilíbrio em ligações isoladas
- Equilíbrio em rede
- Custo e benefício no equilíbrio



# CONSTRUÇÃO DA CURVA DE DEMANDA

**CONSTRUÇÃO DE CURVA DE DEMANDA EM FUNÇÃO DO CUSTO AO USUÁRIO**

33

**CURVAS DE DEMANDA E DE OFERTA VOLUME X CUSTO AO USUÁRIO**

34

## FLUXO DE EQUILÍBRIO ENTRE DEMANDA E OFERTA NA LIGAÇÃO ENTRE DUAS CIDADES

$$D_{auto} = 8,18 \cdot 10^{-9} \cdot H_1^{0,8} \cdot E_2^{1,0} \cdot R_1^{1,5} \cdot P_a^{-0,9} \cdot T_a^{-0,7}$$

Onde:

$D_{auto}$  - Viagens de automóvel na hora pico, da cidade 1 para a cidade 2

$H_1$  - População da cidade 1 (**160.000 habitantes**)

$E_2$  - Número de empregos na cidade 2 (**50.000 empregos**)

$R_1$  - Renda per capita da cidade 1, em US\$ (**6.000 US\$**)

$P_a$  - Custo monetário da viagem em automóvel

$T_a$  - Tempo de viagem em automóvel

35

$$D_{auto} = 2769141 \cdot P_a^{-0,9} \cdot T_a^{-0,7}$$

$D_{auto}$  - Viagens de automóvel entre 1 e 2

$P_a$  - Custo da viagem (u.m.)

$T_a$  - Tempo de viagem (minutos)

36

## CUSTO PERCEBIDO E TEMPO DE VIAGEM VARIAM EM FUNÇÃO DO VOLUME DE TRÁFEGO

$$P_a = 130 + 0,000006 \cdot V_a^2$$

$P_a$  é o custo monetário (de automóvel) percebido, em u.m.

$V_a$  é o volume de tráfego, em veículos/h

37



$$P_a = 130 + 0,000006 \cdot V_a^2$$

$P_a$  é o custo monetário (de automóvel) percebido, em u.m.

$V_a$  é o volume de tráfego, em veículos/h

$$T_a = 30 \left[ 1 + 0,15 \cdot \left( \frac{V_a}{2000} \right)^4 \right]$$

$$C_g = P_a + 2,0 \cdot T_a$$

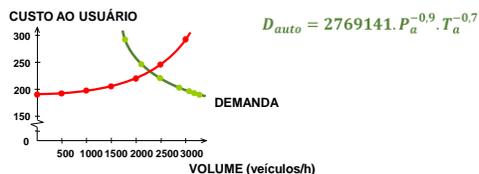
$T_a$  é o tempo de viagem de automóvel, em minutos

$C_g$  é o custo ao usuário, em u.m.

**2,0** valor de um minuto gasto na viagem

38

Volume (veic./h)	Custo monetário (u.m.)	Tempo de viagem	Custo ao usuário (u.m.)	Demanda (veic./h)
0	130,00	30,00	190,00	3205
500	131,50	30,02	191,54	3170
1000	136,00	30,28	196,56	3057
1500	143,50	31,42	206,34	2838
2000	154,00	34,50	223,00	2495
2500	167,50	40,99	249,48	2049
3000	184,00	52,78	289,56	1578



39



## Tópicos

- Introdução
- Teoria sobre o equilíbrio entre demanda e oferta
- Construção da curva de demanda (volume x custo ao usuário)
- Equilíbrio em ligações isoladas
  - Equilíbrio em rede
  - Custo e benefício no equilíbrio

# EQUILÍBRIO EM LIGAÇÕES ISOLADAS

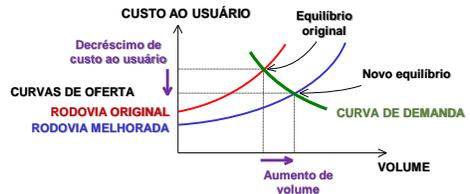
SITUAÇÃO MAIS SIMPLES

## PISTA SIMPLES

### VIA LIGANDO DOIS PONTOS

## MODIFICAÇÕES OCORRIDAS NA VIA PODEM SER FACILMENTE INCORPORADAS NA ANÁLISE

## EFEITO DA MUDANÇA NA OFERTA



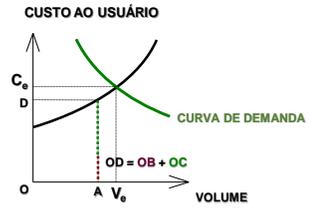
## EFEITO DO AUMENTO DA DEMANDA



## DUAS VIAS LIGANDO DOIS PONTOS



# DUAS VIAS LIGANDO DOIS PONTOS

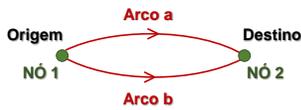


CURVA DE OFERTA CONJUNTA

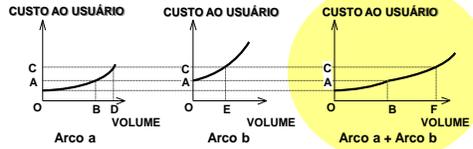
27

28

# VIAS COM ROTAS ALTERNATIVAS

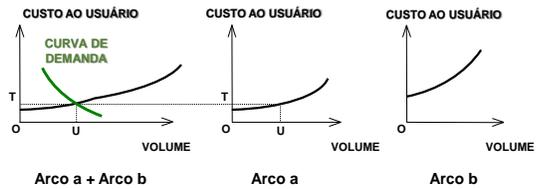
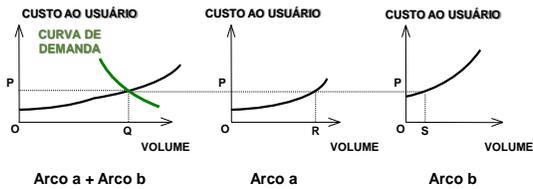


# VIAS COM ROTAS ALTERNATIVAS



29

30



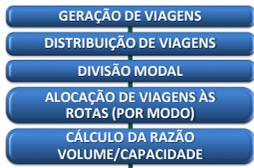
31

32

# EQUILÍBRIO EM REDE

**DEZENAS, CENTENAS  
OU MILHARES DE NÓS  
E DE LIGAÇÕES E  
ARCOS**

## PARA CADA ZONA DE TRÁFEGO



PREVISÃO  
Uso e ocupação do solo  
Variáveis socioeconômicas  
(população, emprego, etc.)

**RECALCULAR  
O CUSTO AO  
USUÁRIO**

CUSTO AO USUÁRIO É IGUAL AO SUPOSTO A PRIORI?

NÃO

SIM

VOLUME DE TRÁFEGO EM CADA LIGAÇÃO  
(POR MODO E NÍVEL DE SERVIÇO)

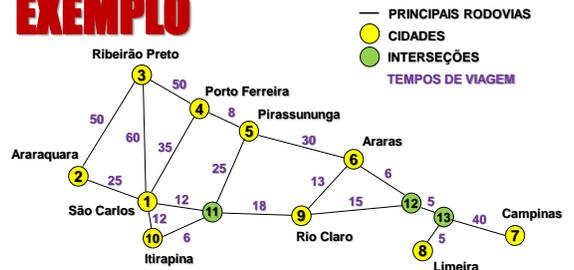
## TÉCNICA DO CAMINHO MÍNIMO

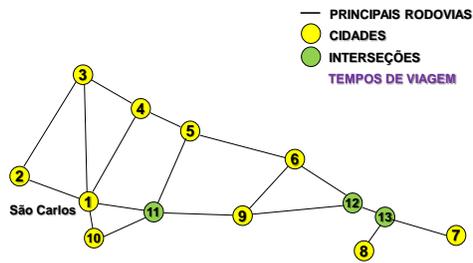
**MENOR TEMPO  
TOTAL DE VIAGEM**

## TÉCNICA DO CAMINHO MÍNIMO

**MENOR CUSTO  
GENERALIZADO**

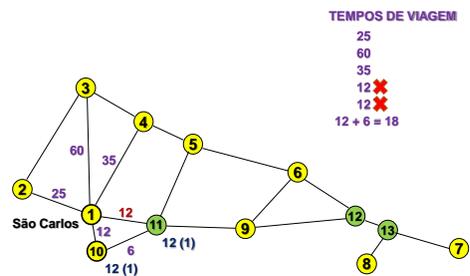
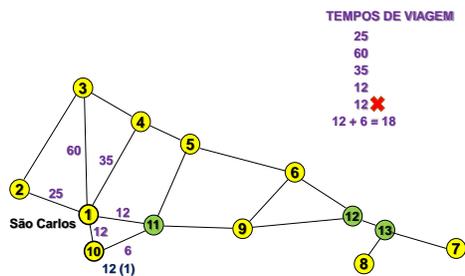
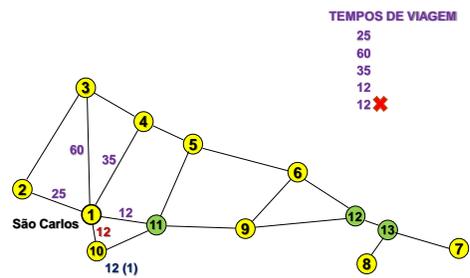
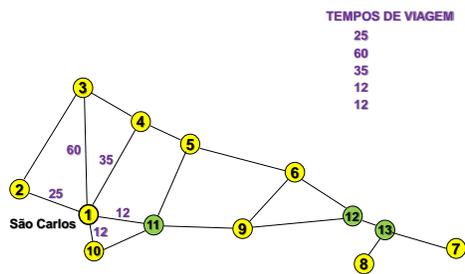
## EXEMPLO

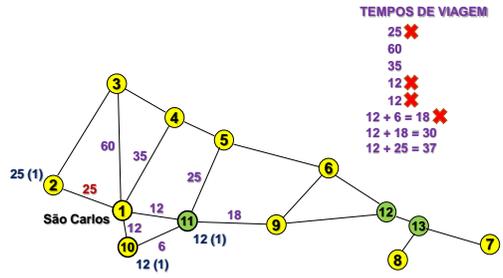
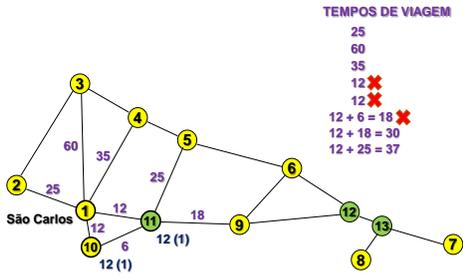




# ÁRVORE DE CAMINHOS MÍNIMOS

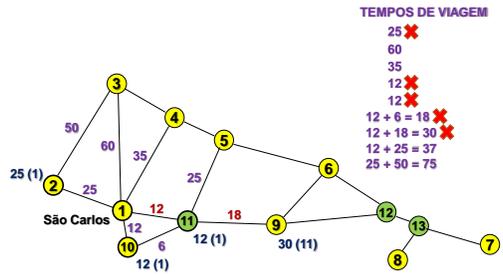
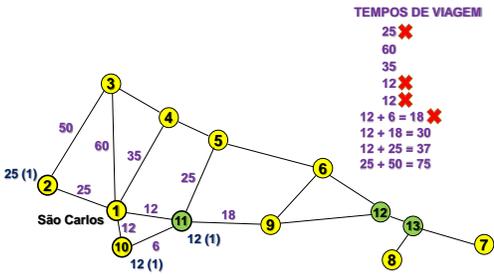
## A PARTIR DO NÓ 1





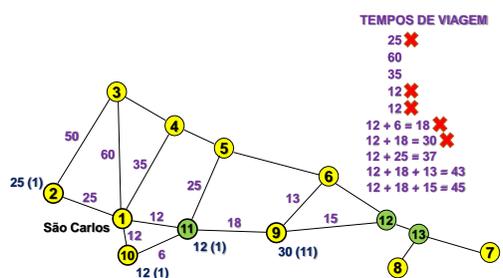
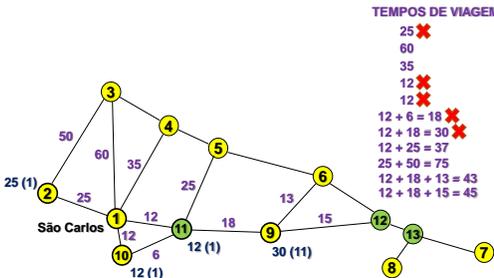
66

67



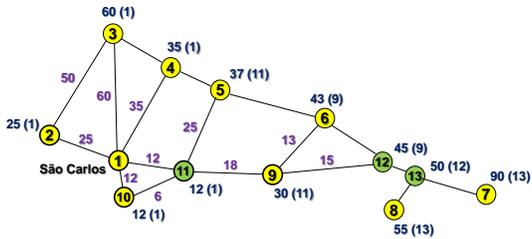
68

70

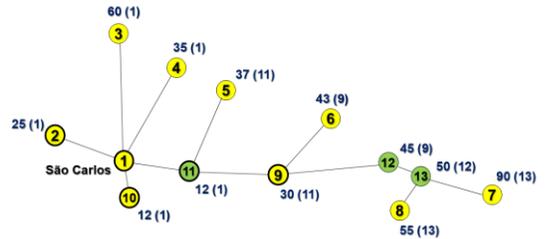


72

73



74



75

**PROCEDIMENTO QUE FORNECE UM RESULTADO ESPECÍFICO EM UM NÚMERO FINITO DE PASSOS**  
**ALGORITMO DE DETERMINAÇÃO DOS CAMINHOS MÍNIMOS**

76

**COMPARAR OS CUSTOS DE TODAS AS LIGAÇÕES QUE TÊM ORIGEM NO NÓ DE ORIGEM**

**SELECIONAR AQUELA ASSOCIADA AO MENOR CUSTO**

**CALCULAR OS CUSTOS DE CHEGAR A UM NÓ PREDECESSOR COM CUSTO MÍNIMO JÁ DETERMINADO**

**ESCOLHER A LIGAÇÃO  
DE MENOR CUSTO A  
PARTIR DA ORIGEM**

TEMPO DE VIAGEM ENTRE ALGUMAS CIDADES  
DAS REGIÕES ADMINISTRATIVAS DE CAMPINAS  
E RIBEIRÃO PRETO (EM MINUTOS)

OD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	25	60	35	37	43	90	55	30	12
2	25	0	50	60	62	68	115	80	55	37
3	60	50	0	50	58	88	139	104	90	72
4	35	60	50	0	8	38	89	54	51	47
5	37	62	58	8	0	30	81	46	43	31
6	43	68	88	38	30	0	51	16	13	37
7	90	115	139	89	81	51	0	45	60	84
8	55	80	104	54	46	16	45	0	25	49
9	30	55	90	51	43	13	60	25	0	24
10	12	37	72	47	31	37	84	49	24	0

**MÉTODO DE ALOCAÇÃO  
TUDO-OU-NADA**

**EXTENSÃO DA TÉCNICA  
DO CAMINHO MÍNIMO**

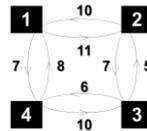
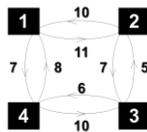
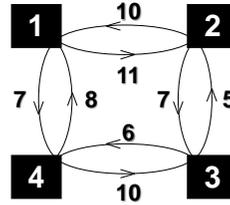
**CAMINHO QUE LEVA DE UMA ZONA DE  
ORIGEM PARA UMA ZONA DE DESTINO  
É CARREGADO  
COM TOTAL DE TRÁFEGO  
(SE FOR O CAMINHO MÍNIMO)  
OU  
COM NENHUM TRÁFEGO**

**ENCONTRAR O CAMINHO  
MÍNIMO DE CADA ZONA  
PARA AS DEMAIS**

**ASSINALAR O FLUXO DE  
CADA NÓ DE ORIGEM PARA  
OS DE DESTINO**

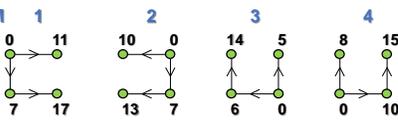
# SOMAR OS VOLUMES PARCIAIS QUE PASSAM POR CADA ARCO PARA OBTER O VOLUME TOTAL NO ARCO

## EXEMPLO

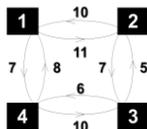
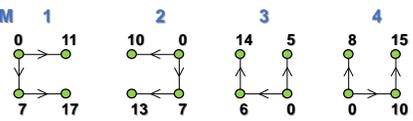


OD	1	2	3	4
1	0	500	750	350
2	275	0	1050	475
3	650	1870	0	950
4	1250	350	2050	0

NÓ DE ORIGEM

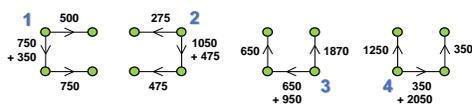


NÓ DE ORIGEM

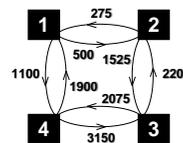
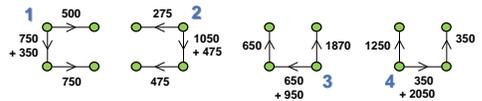


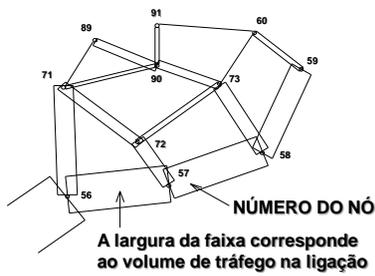
OD	1	2	3	4
1	0	500	750	350
2	275	0	1050	475
3	650	1870	0	950
4	1250	350	2050	0

NÓ DE ORIGEM

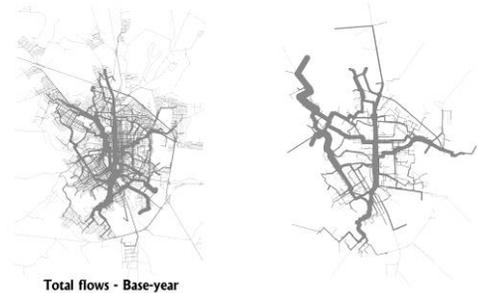


NÓ DE ORIGEM





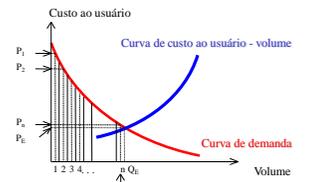
93



94

# ESTIMATIVA DE BENEFÍCIO DE PROJETOS DE TRANSPORTE

## ESTIMATIVA DE BENEFÍCIO DE PROJETOS DE TRANSPORTE



Demanda por transporte e utilidade da viagem

96

## ESTIMATIVA DE BENEFÍCIO DE PROJETOS DE TRANSPORTE

### EXCEDENTE DO USUÁRIO

Diferença entre

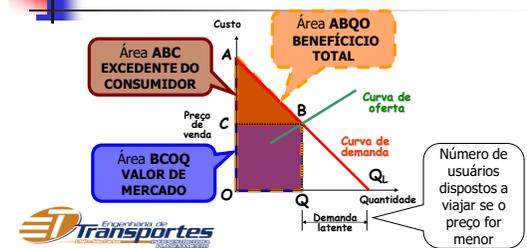
custo que o usuário está disposto a "pagar"

o que ele realmente "paga"



97

## EXCEDENTE DO CONSUMIDOR



98