



Localização de Instalações

Projeto de Redes Logísticas

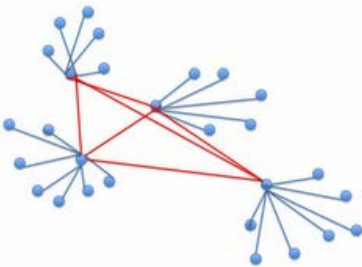
Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha

Escola Politécnica



USP Universidade de São Paulo
Brasil

cbcunha@usp.br

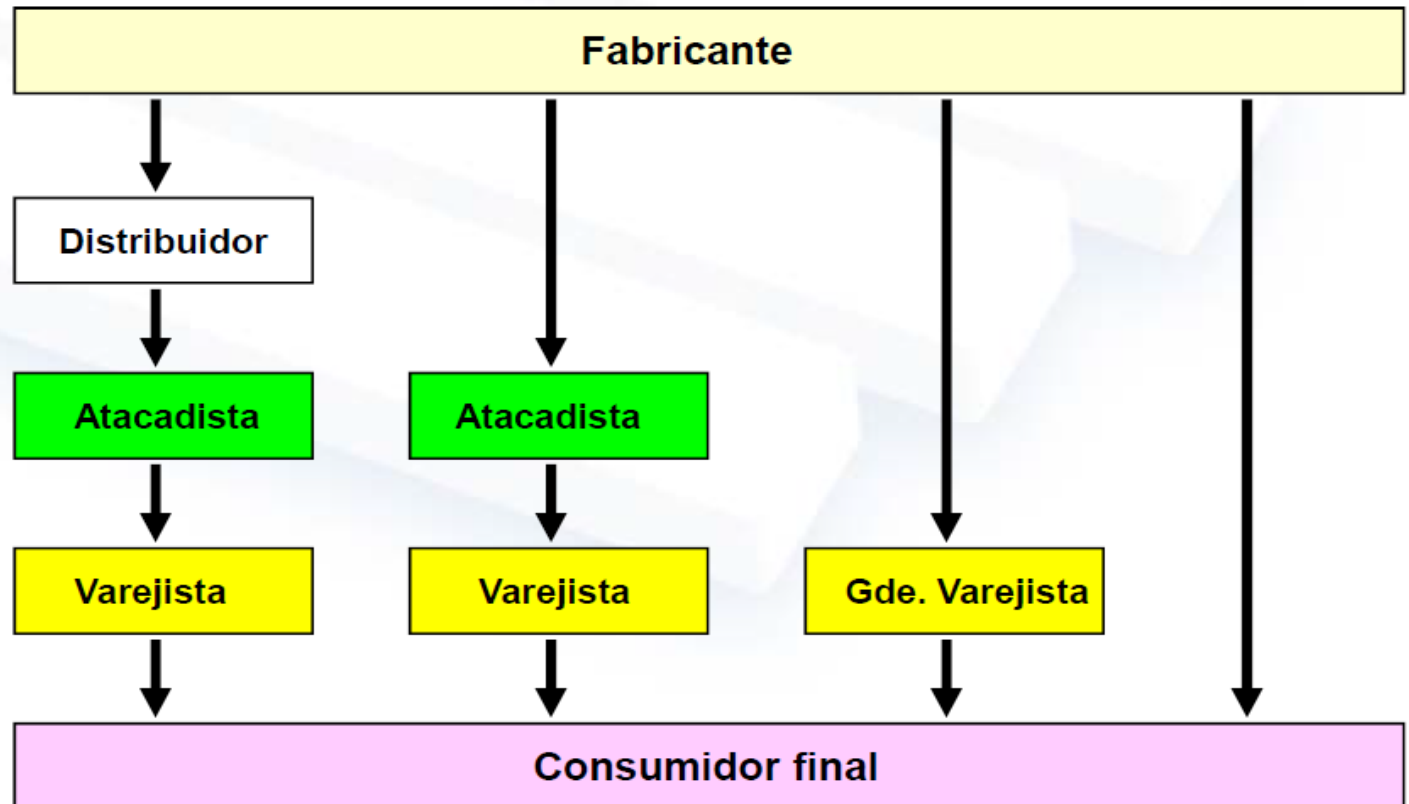


Objetivo

- **Definir a configuração de uma rede logística / *supply chain* em termos da:**
- **Número (quantas), localização e tamanho das unidades produtivas**
 - Fábricas, centros de distribuição regionais e locais, armazéns
- **Ligações/relacionamentos entre unidades**
 - Quem abastece quem?
- **Quantidades produzidas/movimentadas em cada local**
- **Fluxos**

Canais de distribuição

- **Seleção e organização das instituições pelas quais a oferta de produtos e serviços se torna disponível no mercado**

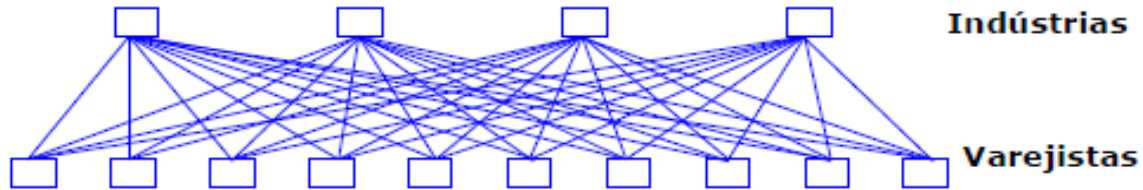


Definição da rede de distribuição física

- **Uma vez selecionados os melhores canais de distribuição, a definição da rede de distribuição física consiste de encontrar a forma/caminhos que os produtos devem seguir a fim de atender as necessidade de vendas e entregas.**
- **Engloba:**
 - Transporte
 - Armazéns e centros de distribuição
 - Posicionamento do estoque

Exemplos de configurações de redes de distribuição

Entregas diretas

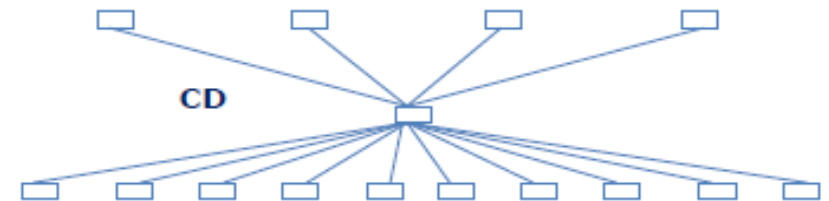


Indústrias

Varejistas

Entregas através de Centro de Distribuição

Indústrias

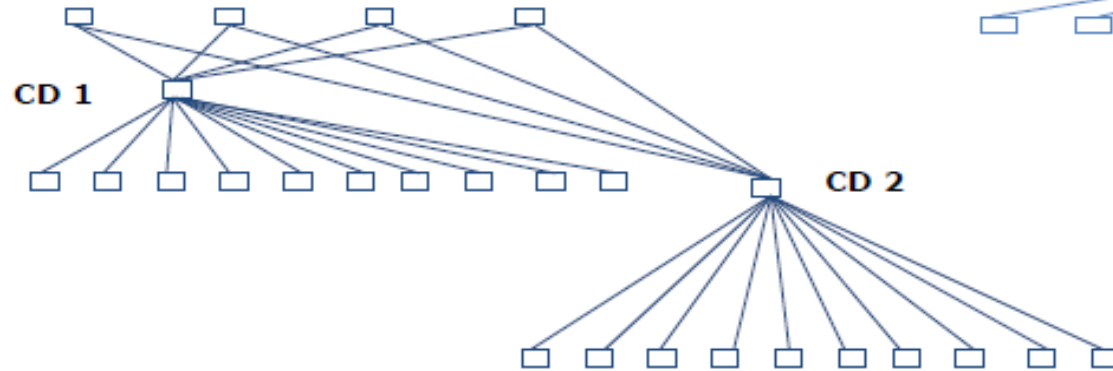


CD

Varejistas

Uso de vários CDs

Indústrias

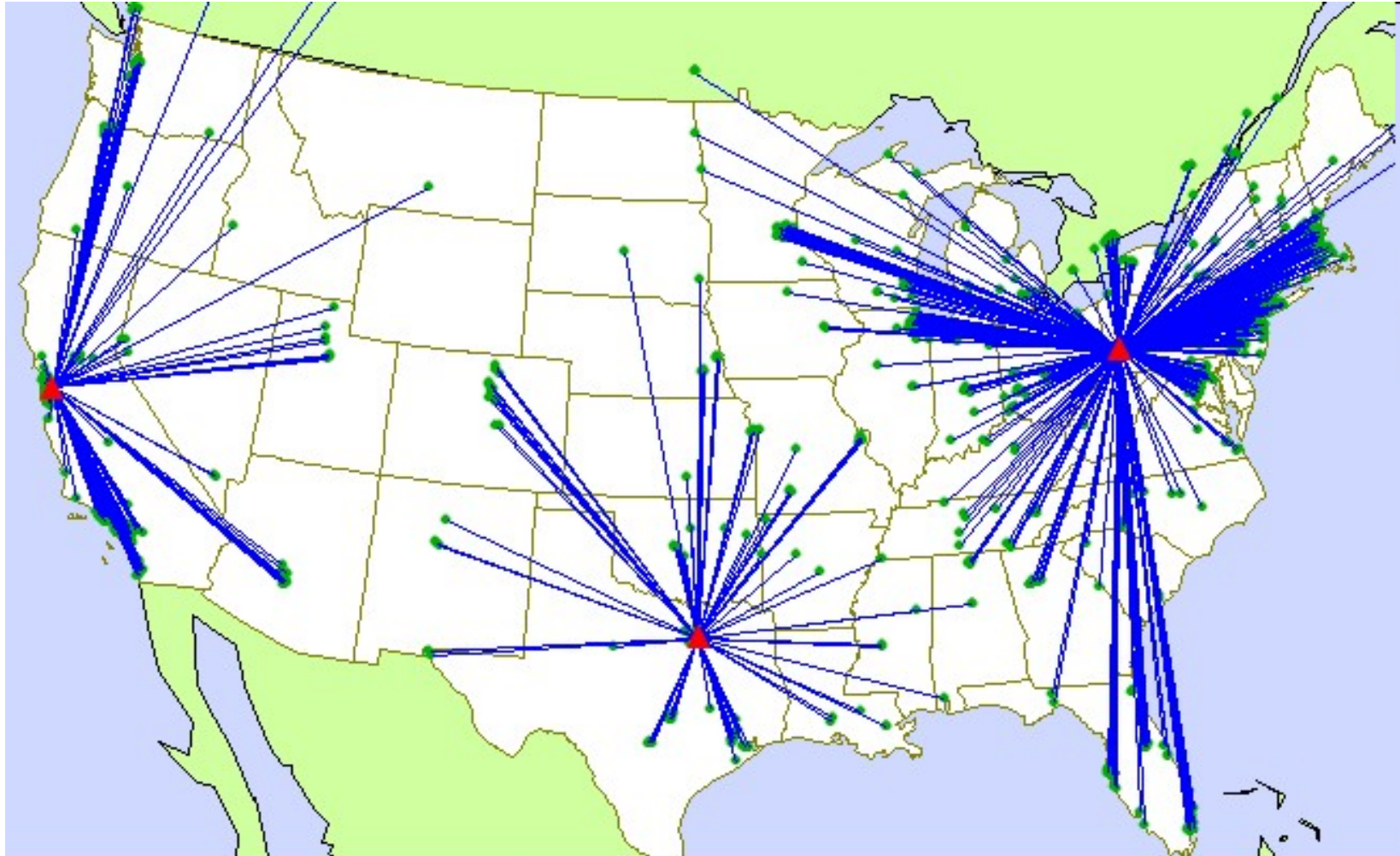


CD 1

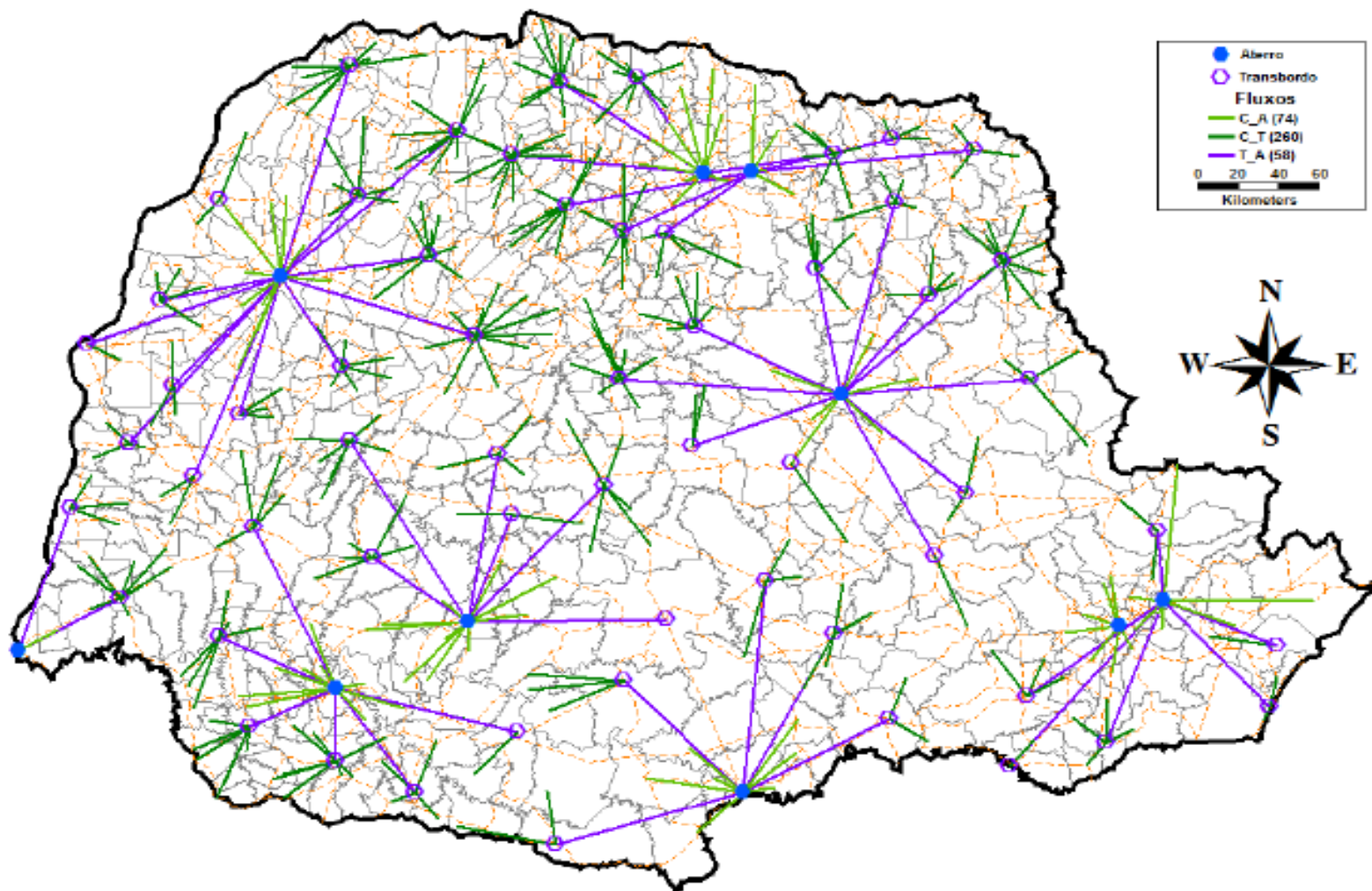
CD 2

Varejistas

Localização de Instalações e Projeto de Rede Logística

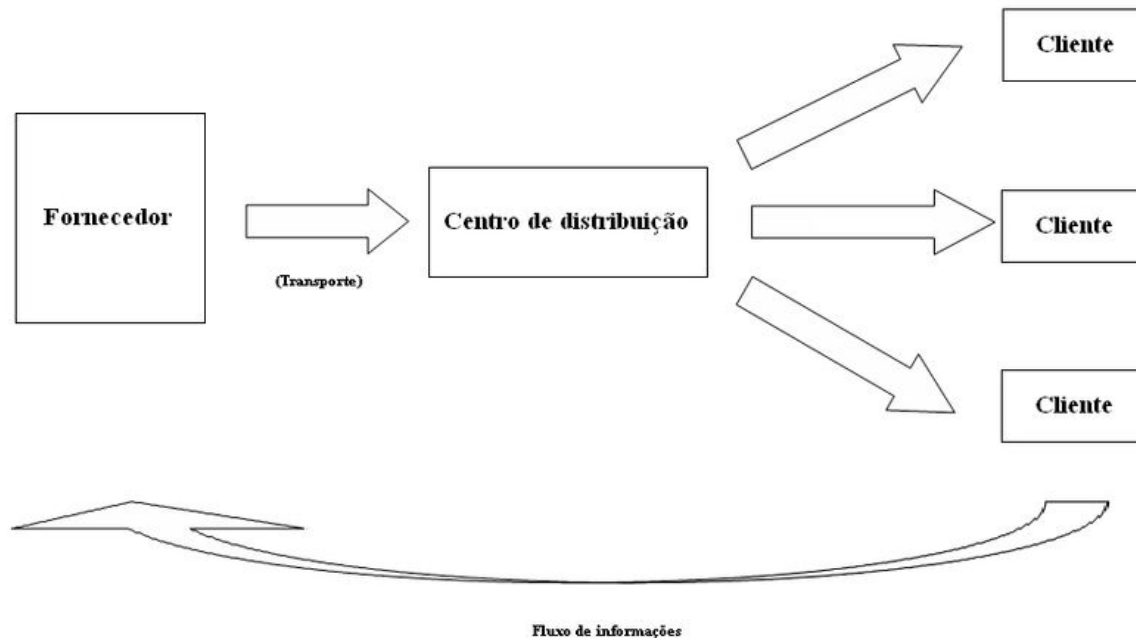


Exemplo de rede de distribuição



Centro de Distribuição (CD)

- é uma unidade construída por indústrias, atacadistas e/ou varejistas a fim de armazenar os produtos produzidos ou comprados para revenda, com a finalidade de despachá-los para outras unidades, filiais ou clientes.



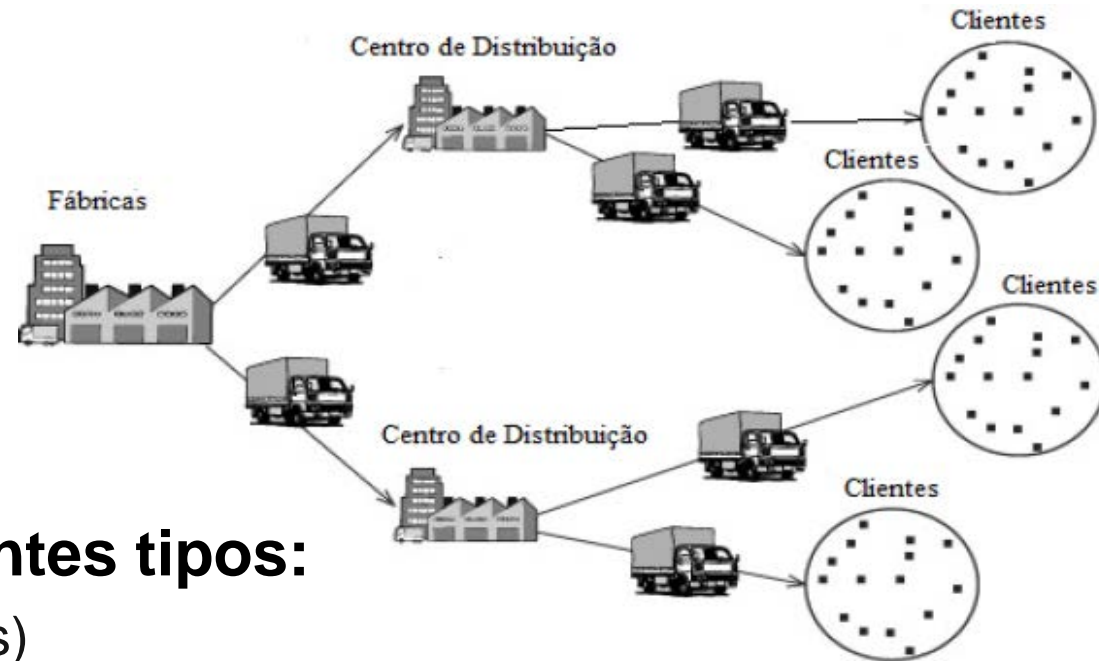
Em que consiste a localização de instalações?

- **Definir/determinar**

- Número (quantas)
- Localização (onde)
- Tamanho

- **De instalações dos seguintes tipos:**

- Unidades produtivas (fábricas)
- Armazéns e Centros de Distribuição (CDs)
- Centros de peças de reposição
- Centros de Manutenção
- Unidades de socorro e emergência
- Etc.

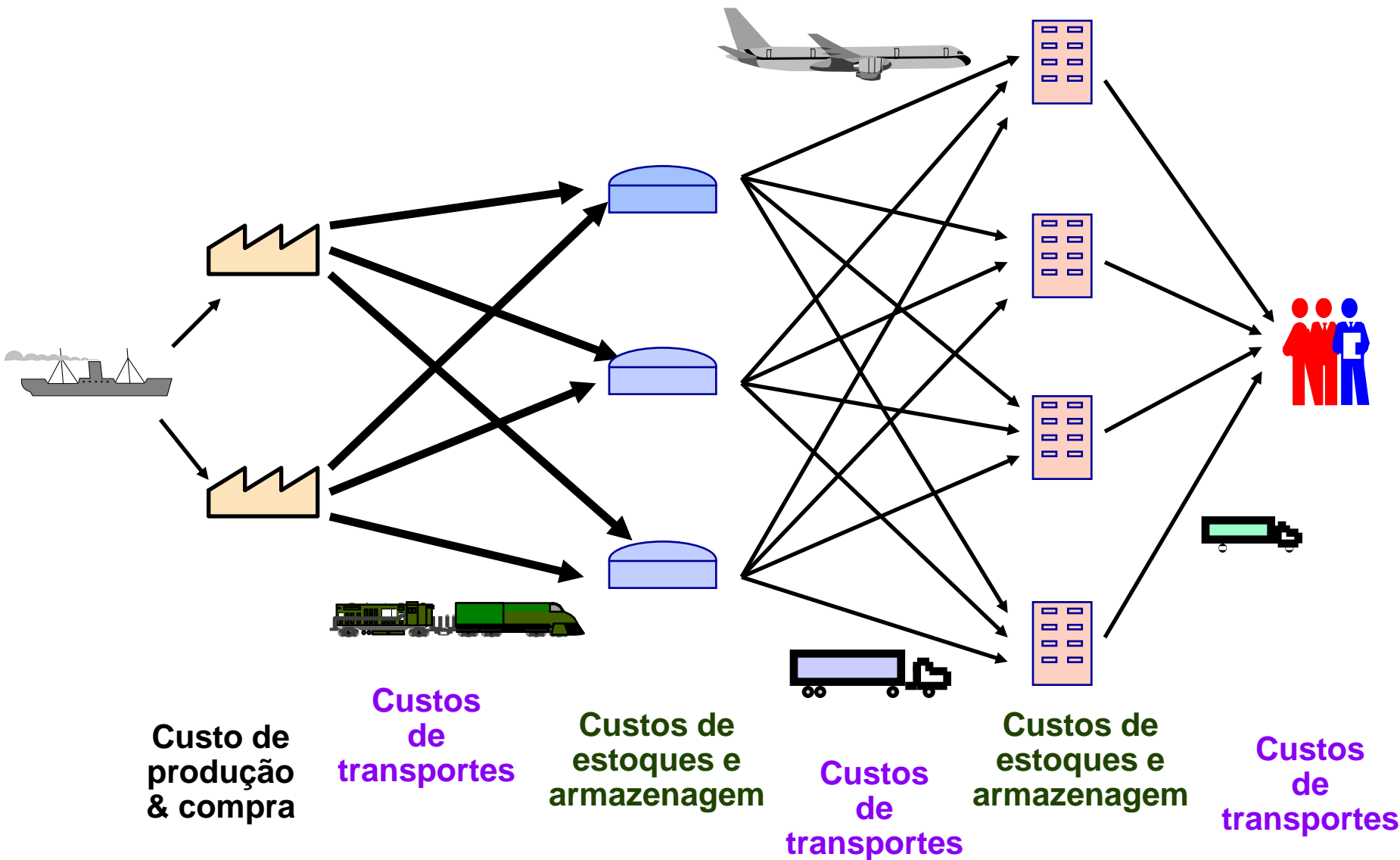


Fornecedores

CD's

Lojas

Clientes



O que se busca determinar?

- **Quantas instalações são necessárias?**
- **Onde devem se localizar?**
- **Que clientes devem ser atendidos por cada instalação?**
- **Quais produtos/linhas devem ser produzidos em cada unidade?**
- **Qual a melhor forma de transportar os produtos?**
- **Quanto de estoque deve ser mantido em cada instalação?**
- **Qual o nível de serviço?**

Decisão de Onde Localizar

depende do tipo de instalação:

- **Instalações produtivas**

Minimizar custo (produção + estoque + transporte/distribuição)
Assegurar nível de serviço

- **Instalações de serviço / atendimento / emergência**

Minimizar tempo de atendimento (médio / máximo)

- **Instalações de vendas/distribuição**

presença: conquista e manutenção de mercados
concorrência

Quando planejar a localização ?

- **Ampliar mercados - expansão/relocação**
- **Novos requisitos de Nível de Serviço**
- **Melhoria eficiência produtiva**
- **Situações de emergência/contingência**
 - falhas, paradas, ...
- **Reestruturação da Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain*)**
 - Reduzir custos
 - Melhorar abastecimento / nível de serviço

Complexidade

- **Dezenas/centenas de produtos/itens a serem considerados**
- **Muitos locais candidatos**
- **Muitos fornecedores**
- **Milhares de clientes/destinos finais**
- **Múltiplos modais/rotas de transporte**

- **Difícil analisar todas as combinações**
 - **Número muito elevado!!!**

Condicionantes do Problema de Localização

- no plano (qualquer local) x escolha entre locais candidatos pré-determinados
- uma ou mais de uma instalação?
- um ou mais níveis de instalações?
- um produto ou multi-produto
- há restrições de capacidade das instalações
- há número máximo de instalações
- quais custos fixos considerar nas instalações,
- custo de estoque deve ser considerado?

Critérios QUALITATIVOS da decisão de localização

- **Dados de difícil quantificação**
- **Algum critério pode eliminar alternativa**
- **Aspectos diversos e específicos de cada problema:**
 - infra-estrutura em geral (água, energia, comunicações, acesso e transporte, ...)
 - equipamentos urbanos (hospitais, escolas,)
 - proximidade com fornecedores
 - mão-de-obra qualificada disponível
 - custo da mão-de-obra, organização sindical

Exemplo de Avaliação Qualitativa Simplificada

Ponderação de fatores/atributos de decisão

FATOR DE LOCALIZAÇÃO	PESO	NOTAS (0 a 100)		
		Site 1	Site 2	Site 3
Qualidade da MO	.30	80	65	90
Proximidade com fornecedores	.20	100	91	75
Salário médio	.15	60	95	72
Recursos (escolas, hospitais)	.15	75	80	80
Proximidade com clientes	.10	65	90	95
Disponib. e custo transporte	.05	85	92	65
Proximidade aeroporto	.05	50	65	90

Avaliação Qualitativa de Localização

NOTAS PONDERADAS		
<i>Site 1</i>	<i>Site 2</i>	<i>Site 3</i>
24.00	19.50	27.00
20.00	18.20	15.00
9.00	14.25	10.80
11.25	12.00	12.00
6.50	9.00	9.50
4.25	4.60	3.25
2.50	3.25	4.50
<hr/>		
77.50	80.80	82.05

Site 3 tem a melhor nota

Modelos de Análise Quantitativa da Decisão de Localização

- **Modelos de Otimização (matemáticos)**
 - Permitem definir a melhor configuração da rede dentre um número muito elevado de alternativas / combinações
 - Quantas instalações, onde, de que tamanho, clientes atendidos por cada local
 - Minimizar custo, ou tempo de atendimento, ou tempo máximo de resposta
- **Modelos de Simulação por Eventos Discretos (Estocástico)**
 - Permitem avaliar o desempenho de uma dada configuração de rede ao longo do tempo, considerando variações / sazonalidades, etc.
- **Modelos Multi-criteriais**
 - Permitem considerar simultaneamente aspectos quantitativos e qualitativos
 - Podem usar “inputs” de modelos matemáticos e de simulação discreta como parte dos atributos considerados na análise multi-critério
 - Por exemplo, custo

ASPECTOS DOS MODELOS DE OTIMIZAÇÃO

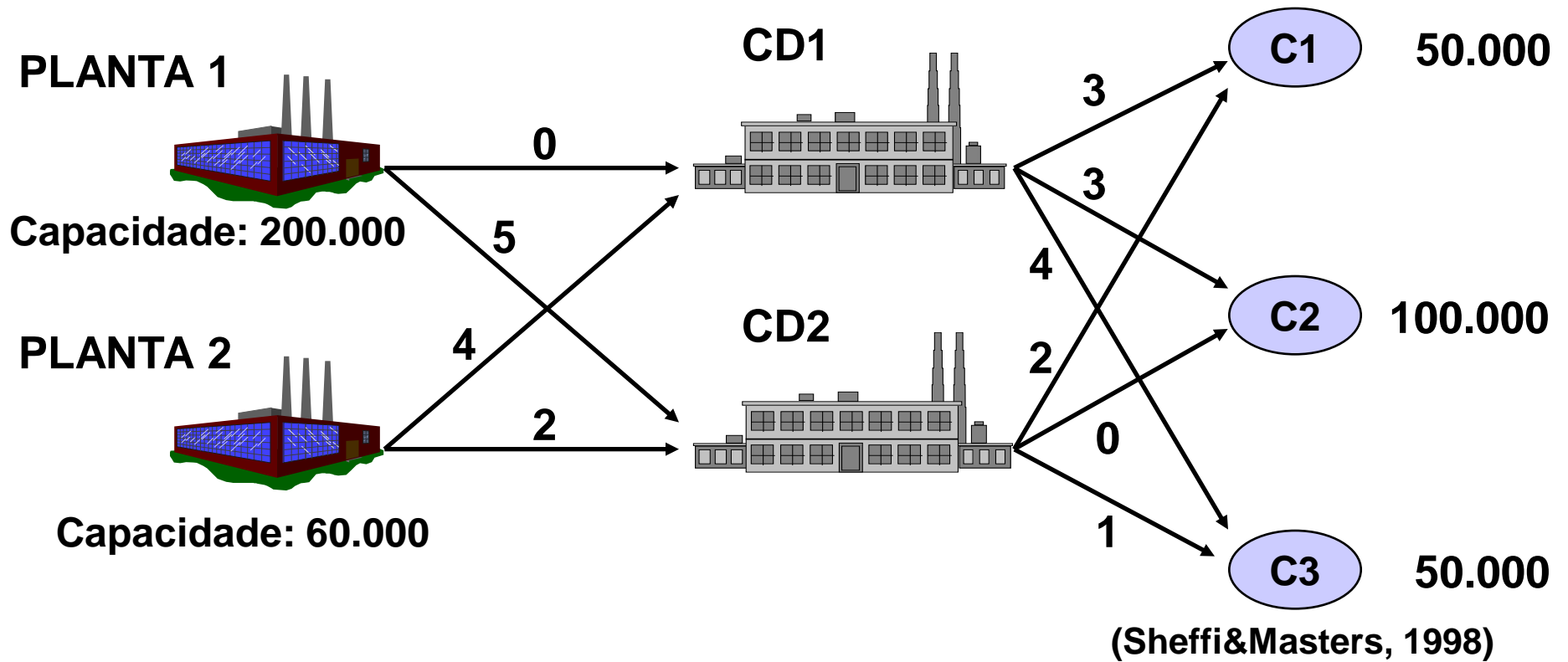
- **Minimizar o custo total (ou medida correlata)**
- **Nível de serviço é INPUT (restrição definida *a priori*)**
- **Resultados:**
 - quais instalações foram selecionadas
 - Que clientes são atendidos por cada instalação
 - ligações mais econômicas, rotas/modais de transporte
- **Complexidade/Dificuldade de solução**
 - problemas *NP-hard* quando custos fixos estão presentes
 - impossibilidade de otimizar: uso de heurísticas

EXEMPLO DE DECISÃO DE MALHA SEM CUSTO FIXO

Decisões táticas / operacionais :

Onde produzir, para quem entregar?

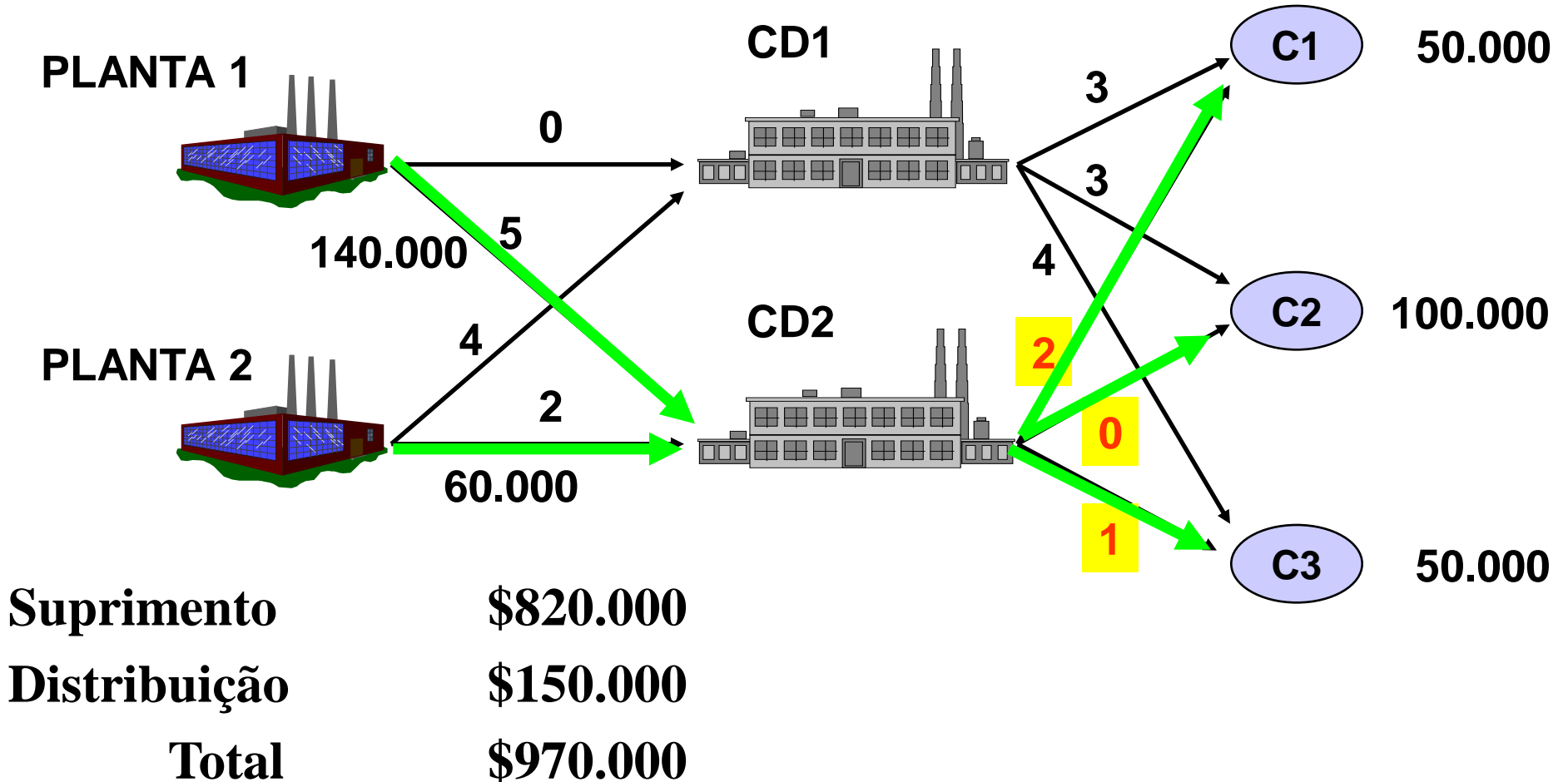
Sem decisão de abrir/fechar/realocar/ampliar instalações



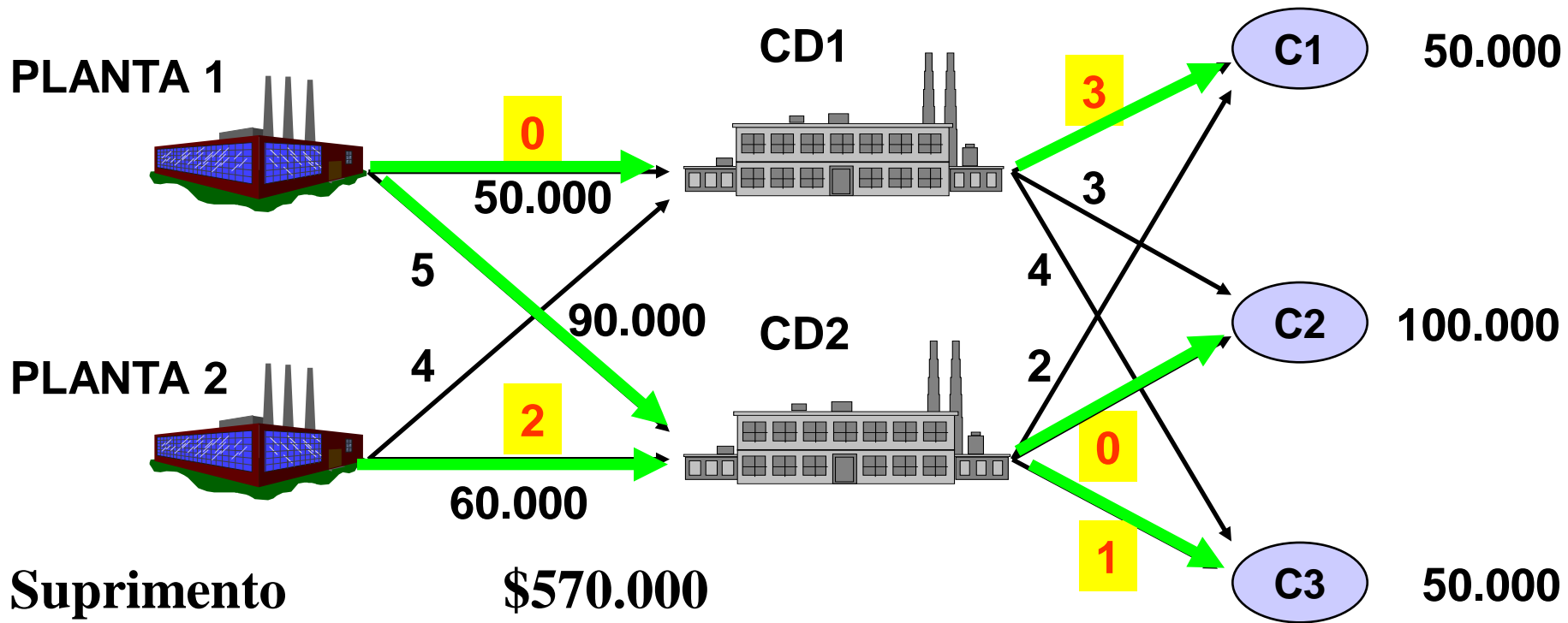
Pode ser resolvido facilmente através do algoritmo do problema do transbordo

SOLUÇÃO 1 – Não ótima

escolhendo forma de distribuição considerando apenas o menor frete unitário de distribuição (CD \square Cliente), sem considerar capacidades



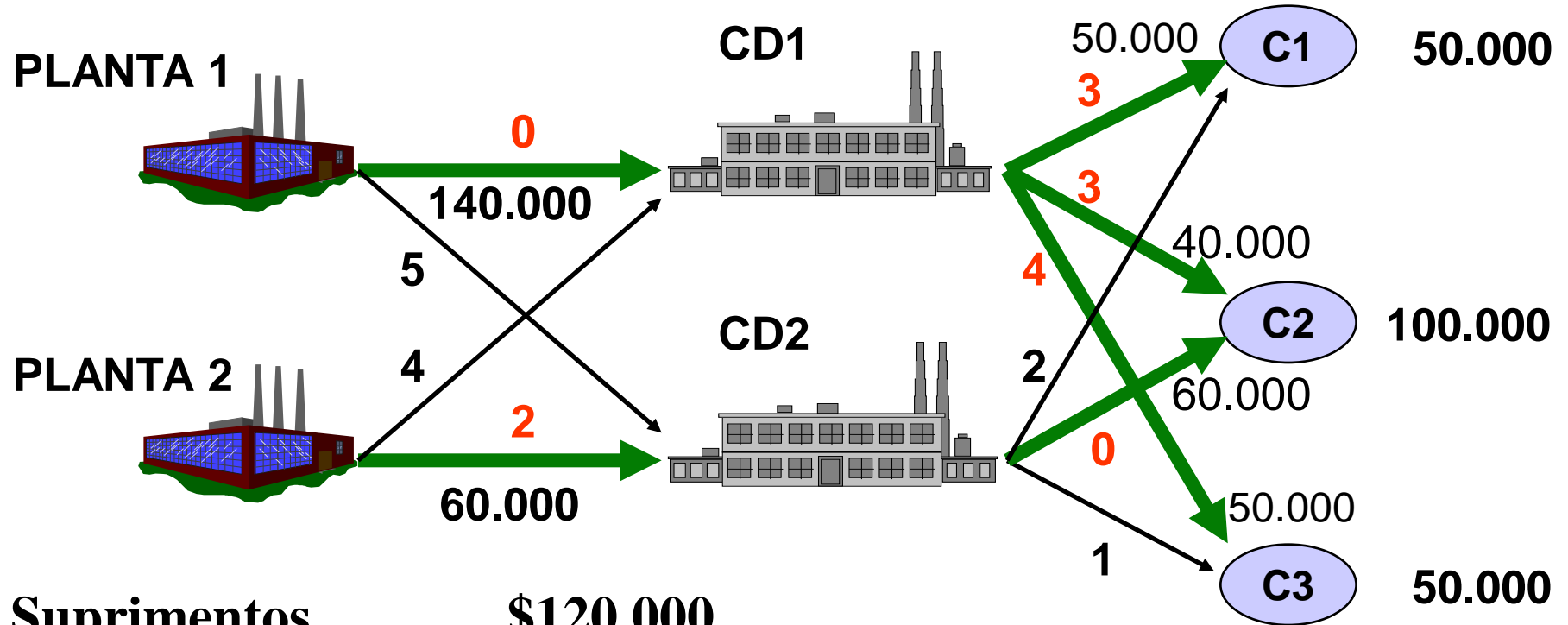
SOLUÇÃO 2 – melhor que a anterior, porém ainda não ótima
 escolhendo forma de distribuição com base no **menor frete unitário total** (sem considerar capacidade)



Suprimento	\$570.000
Distribuição	\$200.000
Total	\$770.000

SOLUÇÃO ÓTIMA

solução de mínimo custo (de frete) total
resolvendo o problema do transbordo



Suprimentos	\$120.000
Distribuição	\$470.000
Total	\$590.000

Não considera custos fixos

Formulação Matemática

- **Função objetivo**

- Minimizar

$$z = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^s c_{ik} x_{ik} + \sum_{k=1}^s \sum_{j=1}^n c_{kj} x_{kj}$$

- Sujeito a

$$\sum_{k=1}^s x_{ik} = O_i \quad i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{k=1}^s x_{kj} = D_j \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ik} = \sum_{j=1}^n x_{kj} \quad k = 1, \dots, s$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad x_{kj} \geq 0 \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, s$$

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Problema de Transbordo (Fluxo em Rede de Mínimo Custo) Masters & Sheffi							
2								
3	Custos Unitários de Transporte							
4			Para					
5			CD1	CD2				
6	De	Planta 1	\$0	\$5				
7		Planta 2	\$4	\$2				
8								
9			Para					
10			C1	C2	C3			
11	De	CD1	\$3	\$3	\$4			
12		CD2	\$2	\$0	\$1			
13								
14	Fluxos (Carregamentos)							
15			Para					
16			CD1	CD2	Total Enviado		Capacidade	
17	De	Planta 1	140	0	140	<=	200	
18		Planta 2	0	60	60	<=	60	
19		Total CD In	140	60				
20								
21			Para					
22			C1	C2	C3	Total CD Out		Total CD In
23	De	CD1	50	40	50	140	=	140
24		CD2	0	60	0	60	=	60
25		Total Recebido	50	100	50			
26			=	=	=			
27		Demanda	50	100	50			
28								
29	Custo de Distribuição							
30		Plantas-CD's	120					
31		CD's-Clientes	470					
32		TOTAL	590					

MODELO DE LOCALIZAÇÃO PLANAR

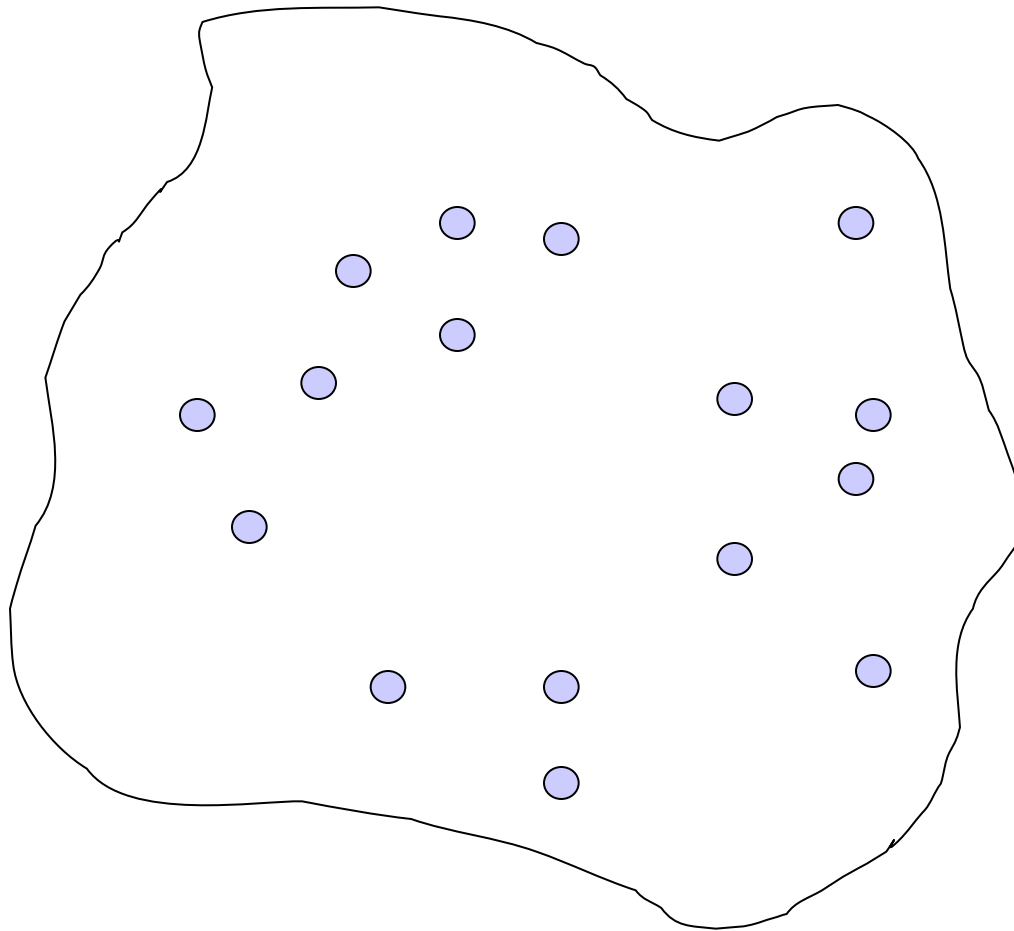
- **ONDE Localizar uma única instalação?**
- **No plano**
 - Ou seja, determinar localização da instalação, dada pelas suas coordenadas (x_0, y_0)
- **De modo a minimizar distância/custo total**
 - ponderada ou não ponderada pelas quantidades d_i

$$\min \sum_i d_i \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}$$

MODELOS DE LOCALIZAÇÃO DISCRETA

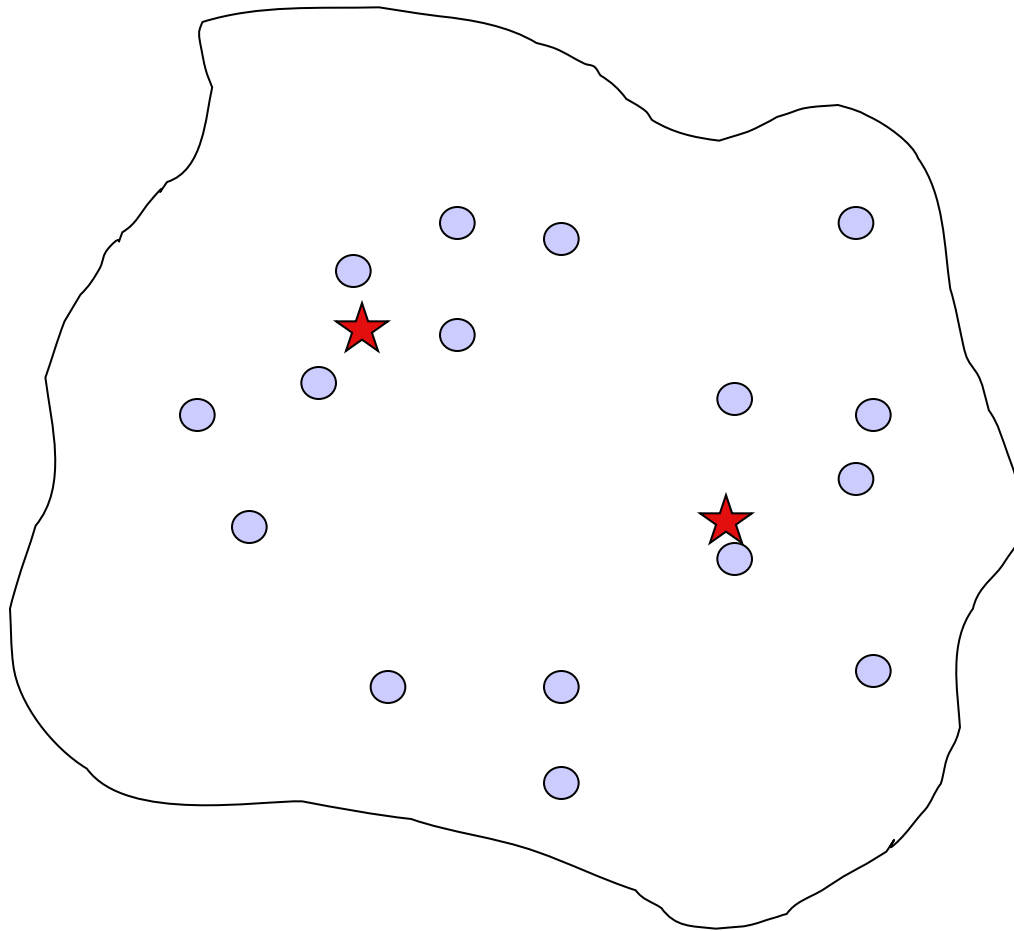
- **Modelo de otimização (programação linear inteira)**
- **Os locais candidatos a serem abertas uma ou mais instalações são conhecidos a priori**
- **Pode contemplar instalações existentes, ampliações e novas**
- **Resulta nos locais escolhidos e na alocação dos clientes a cada instalação**

Problema De Localização



● Clientes/pontos de demanda

Problema De Localização



- Clientes/pontos de demanda
- ★ Instalações

Problema de Localização Capacitado

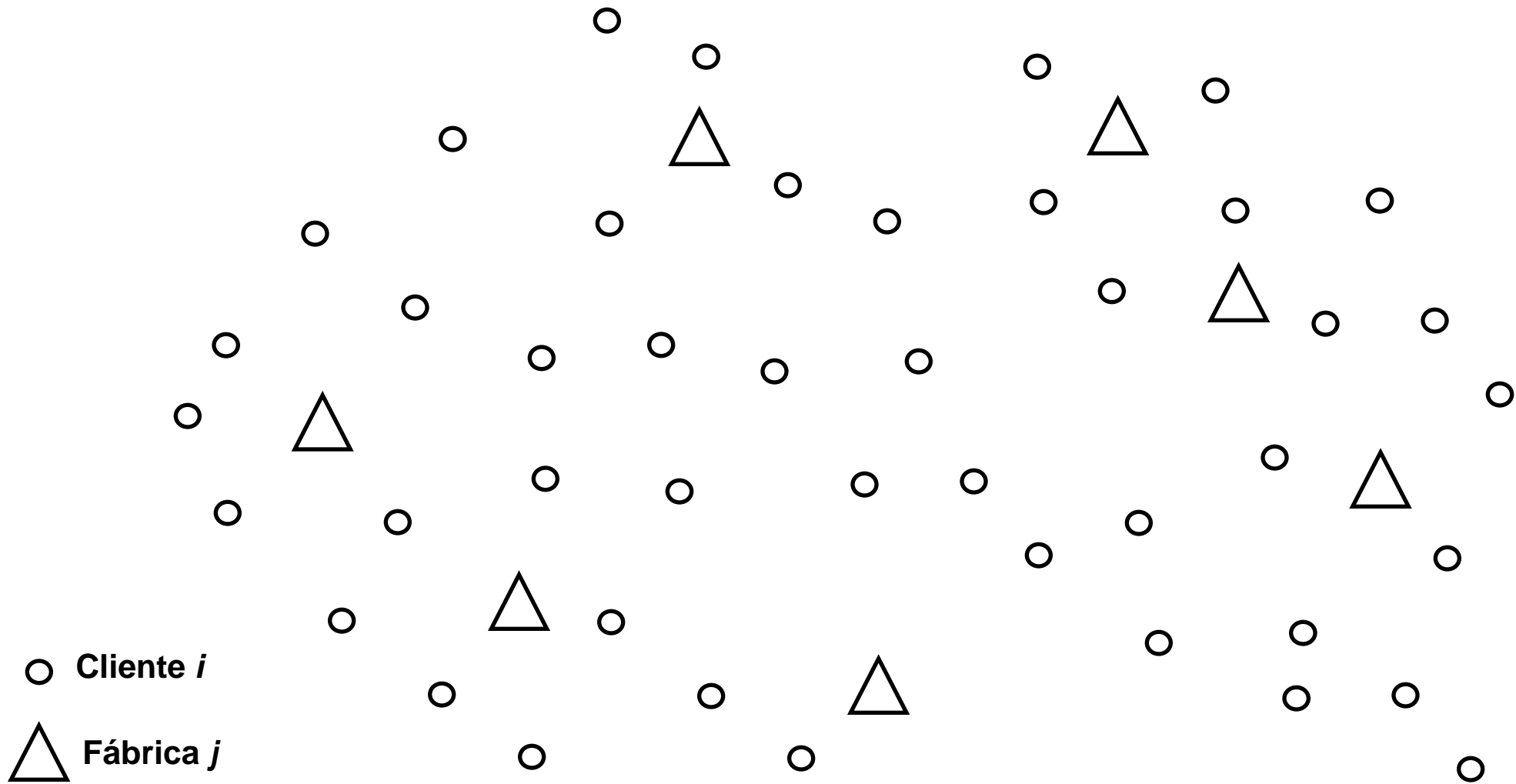
- Determinar:
 - Onde localizar as instalações
 - Que clientes atender a partir de cada instalação
- De modo que
 - Todos os clientes sejam atendidos
 - Capacidades das instalações sejam respeitadas
 - Custo total (fixo + variável) seja minimizado
- *Se não fosse pelos custos fixos das instalações, o problema poderia ser modelado como problema de transporte/transbordo*

Dados do problema de localização de instalações

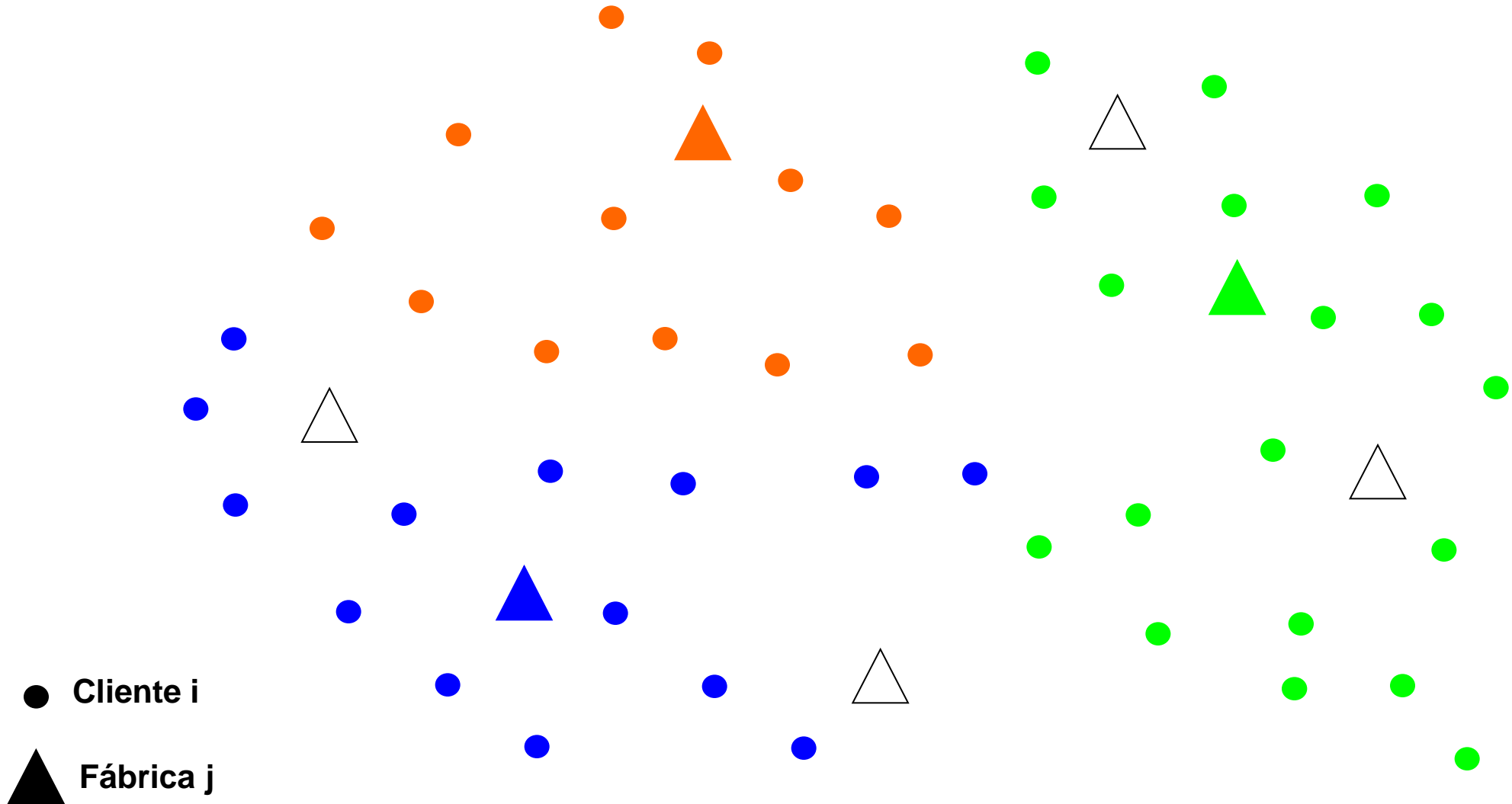
- i = conjunto de pontos a serem atendidos.
- d_i = demanda de cada ponto a ser atendido
- j = conjunto de locais candidatos (pré-definidos) para localização de instalações
- b_j = capacidade da instalação no local candidato j
- f_j = custo fixo da instalação no local candidato j
- c_{ij} = custo unitário de transporte entre cada ponto a ser atendido i e cada instalação candidata j

Definição do Problema de Localização - II

- Deseja-se determinar:
 - Quais instalações j abrir dentre as candidatas?
 - Que pontos de demanda i atender a partir de cada instalação j selecionada?
- Tal que
 - Toda a demanda dos pontos i seja atendida
 - Capacidade de cada instalação j seja respeitada
- Buscando
 - *Minimizar o custo total = custos fixos + custos variáveis de transporte*



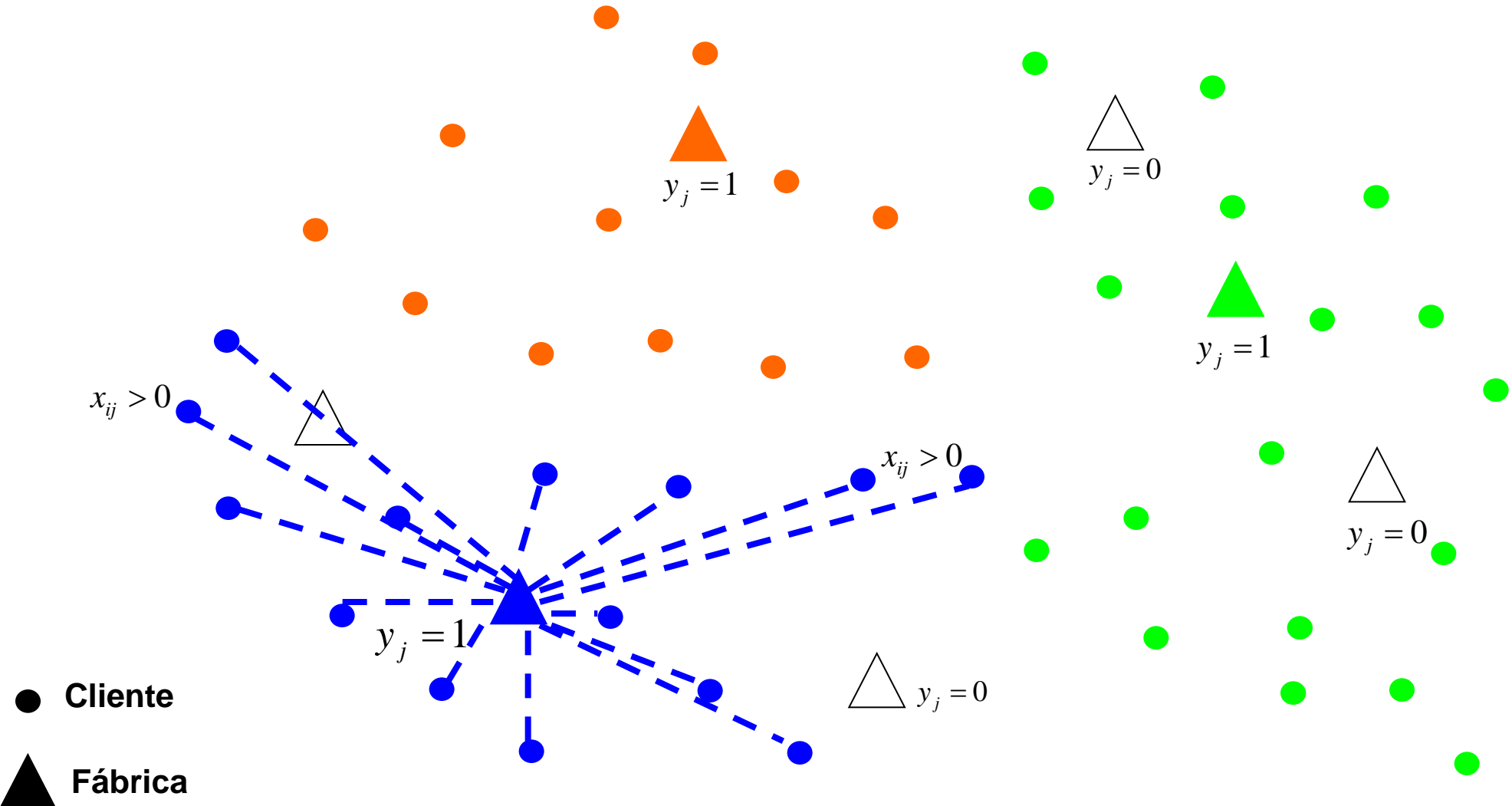
Rede Otimizada



Variáveis de decisão

- $y_j = 1$, se a instalação j é escolhida (construída/implantada no local j)
0, caso contrário
- x_{ij} = quantidade enviada para o ponto de demanda i
a partir da instalação j

Ilustração – Possível Solução



Formulação matemática do problema de localização (capacitado)

$$[\min] \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} + \sum_j f_j y_j$$

Minimizar custo total (variável + fixo)

s.a.

$$\sum_j x_{ij} = d_i \quad \forall i$$

Atender toda a demanda de cada cliente i

$$\sum_i x_{ij} \leq b_j y_j \quad \forall j$$

1) Respeitar capacidade de cada instalação j

2) Não pode atender a partir de instalações não selecionadas (i.e. $y_j=0$)

$$x_{ij} \geq 0$$

$$y_j \in \{0, 1\}$$

i = conjunto de clientes a serem atendidos

j = conjunto de locais candidatos

d_i = demanda do nó i

f_j = custo fixo de abrir a instalação j

c_{ij} = custo de atender o cliente i a partir da instalação j

b_j = capacidade da instalação j

$y_j = 1$ se a instalação j é escolhida, 0 caso contrário

x_{ij} = quantidade de carga enviada para o cliente i a partir da instalação j

Problema das p -Medianas

- Localizar p instalações nos vértices (N) de uma rede e definir a alocação dos nós de demanda a essas instalações de tal forma a minimizar a distância total ponderada entre instalações e pontos de demanda.
- O número de instalações “ p ” a serem localizadas é dado do problema

Formulação Matemática do problema das p -Medianas

- **Minimizar**
$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} q_i d_{ij} x_{ij}$$

- **Sujeito a**
$$\sum_{i \in N} x_{ii} = p$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in N$$

$$x_{ij} \leq x_{ii} \quad \forall i, j \in N$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad x_{ij} \in \{0,1\}$$

N = conjunto de vértices

p = número de medianas

q_i = demanda do nó i

d_{ij} = distância entre os nós i e j

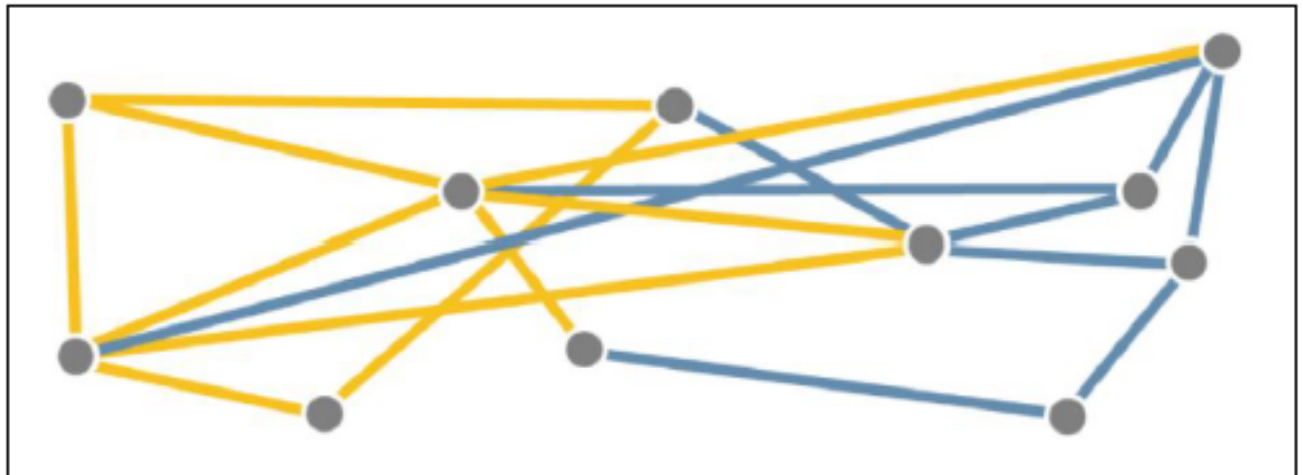
$x_{ii} = 1$ se o nó i é mediana,

0 caso contrário

$x_{ij} = 1$ se o nó j está ligado à mediana i

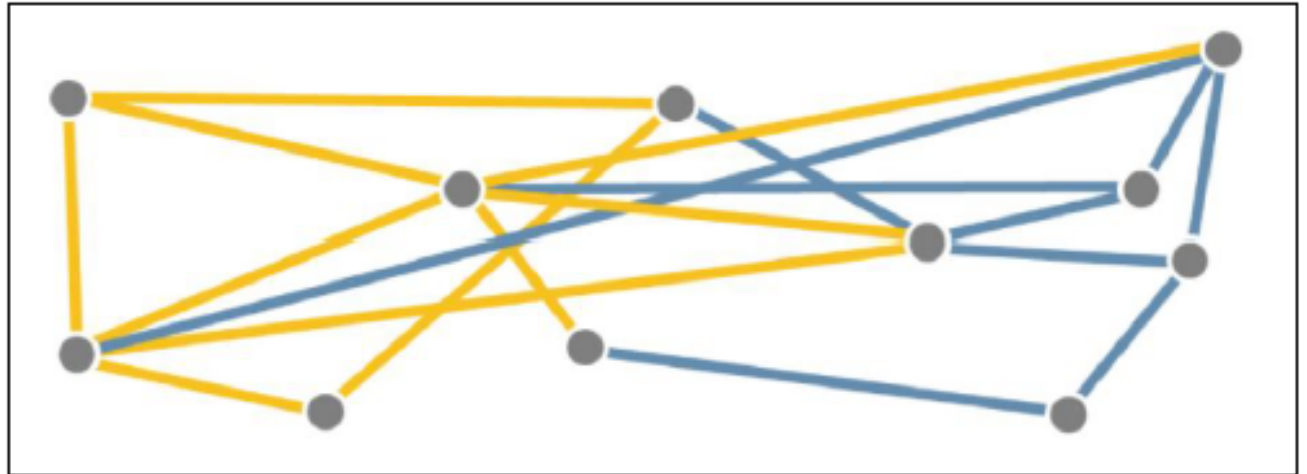
0 caso contrário

Problemas em rede do tipo hub-and-spoke

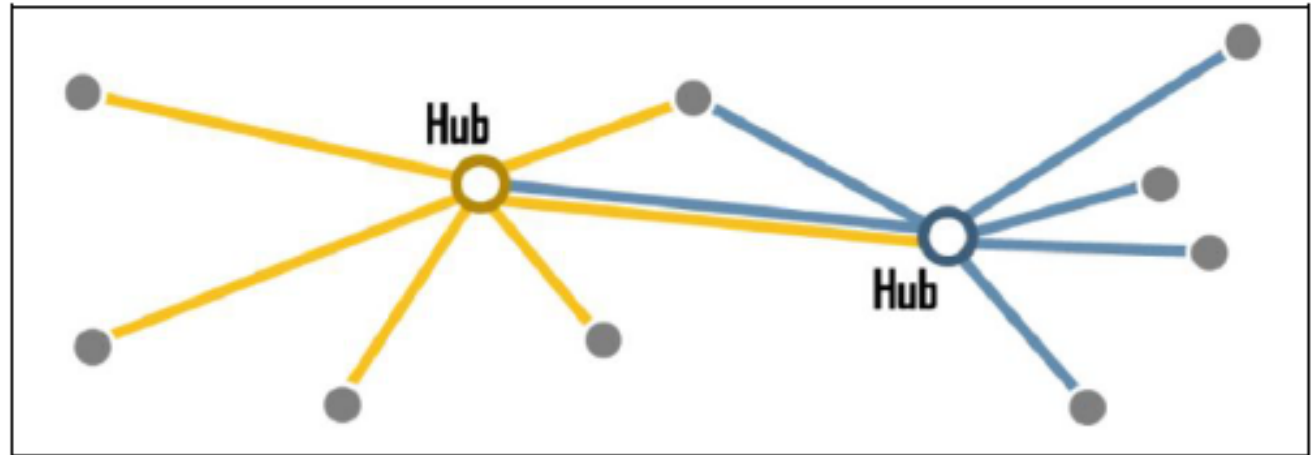


Problemas em rede do tipo *hub-and-spoke*

- Sem consolidação

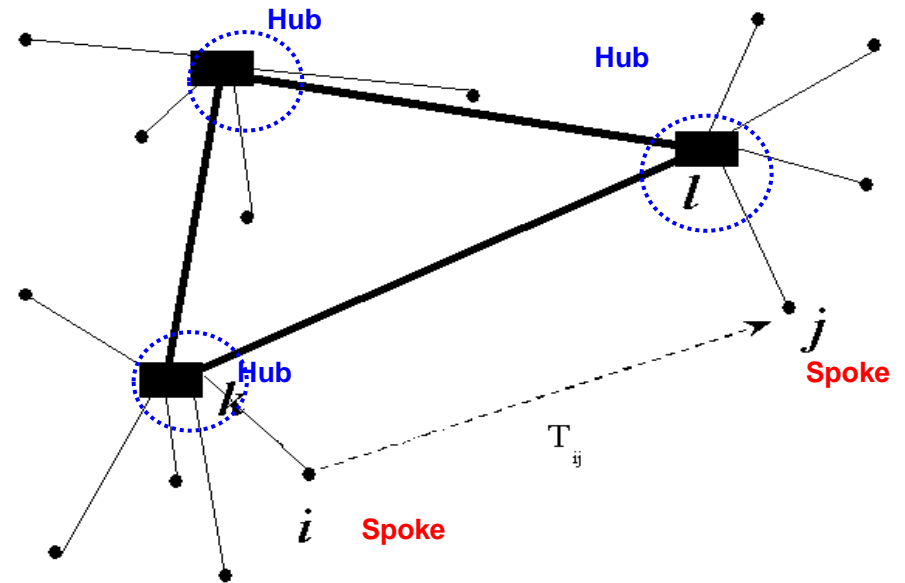


- Consolidado

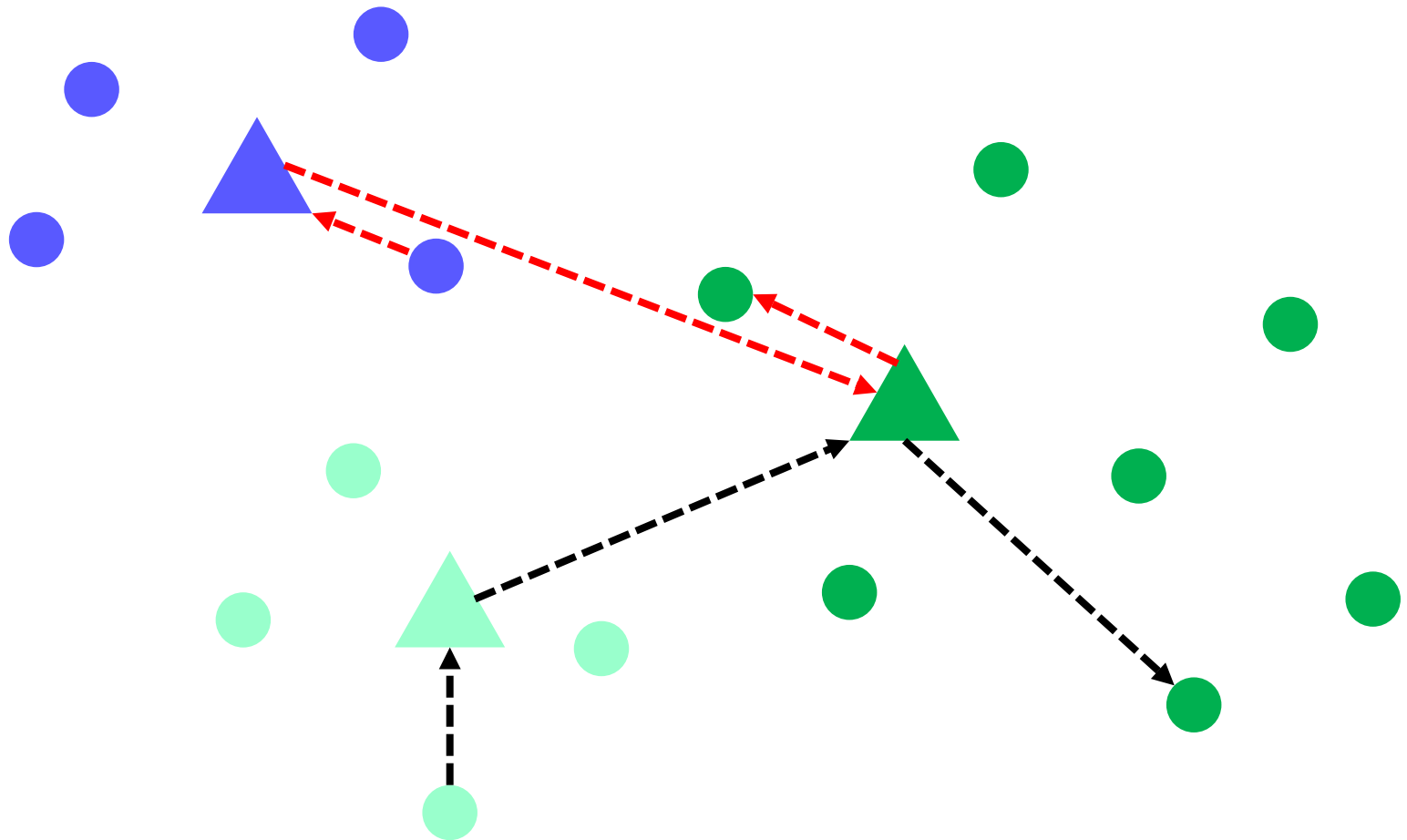


Rede Hub-and-Spoke

- Tráfego entre dois nós não é enviado diretamente, mas via terminais de consolidação (*hubs*).
- Hubs, conectados entre si, servem como pontos de consolidação ou transbordo para o tráfego originado em diferentes terminais para um mesmo destino.
- Menor custo unitário de transporte devido ao aumento do tráfego entre hubs.



Esquema de funcionamento



Problemas reais que envolvem redes H&S

- Transporte aéreo
- Serviços postais
- Terminais concentradores de carga dentre as filiais de uma transportadora de carga parcelada