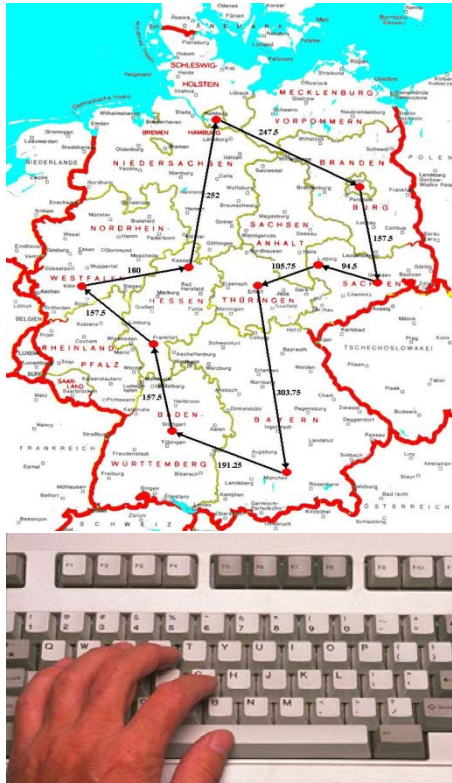


Roteirização de Veículos

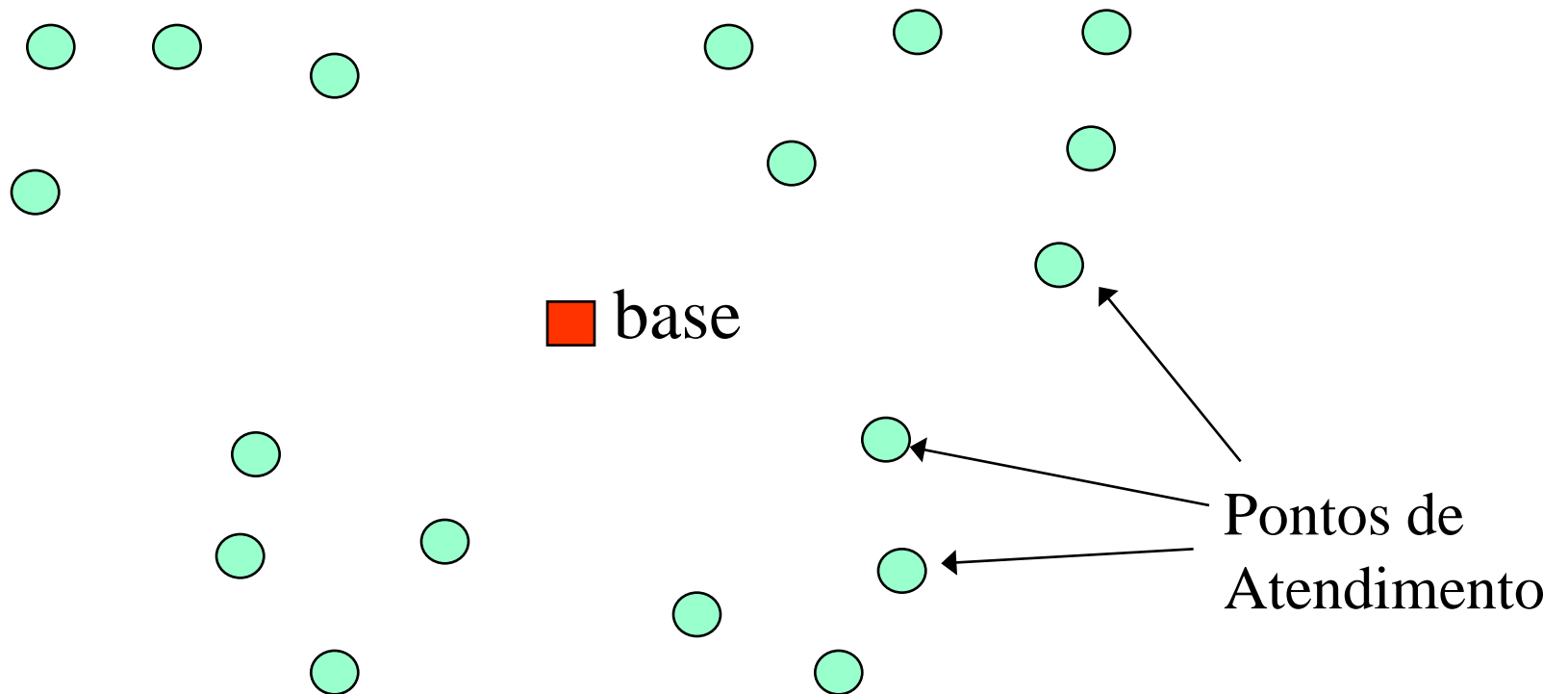


Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Transportes

Maio de 2012

O que é roteirizar?

- **Dados:**
- Um conjunto de pontos a serem atendidos, para os quais são conhecidos sua localização, quantidade demandada, horários de atendimento, etc.
- Uma frota de veículos disponíveis para realizar os atendimentos e sua localização
- As distâncias e os tempos de viagem entre todos os pares de pontos

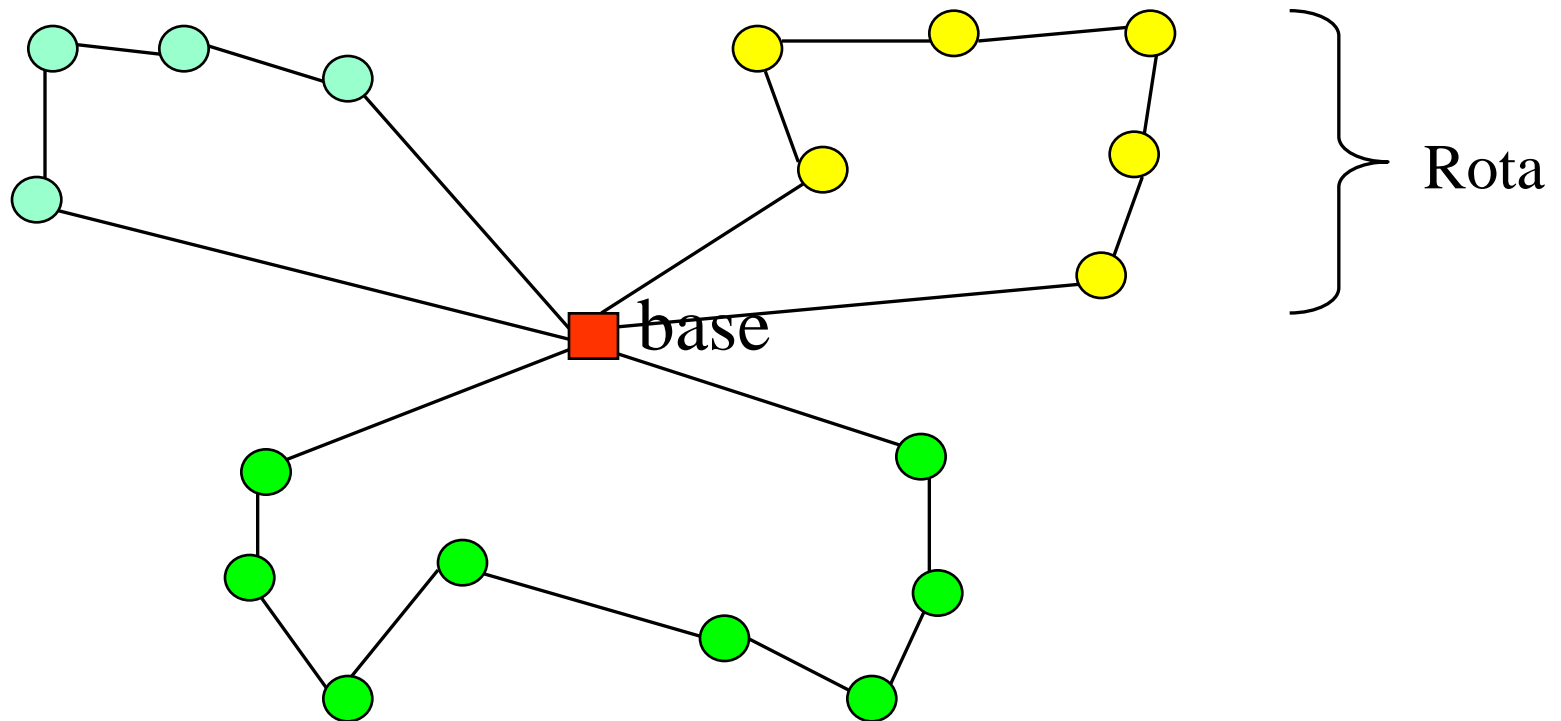


Roteirizar é

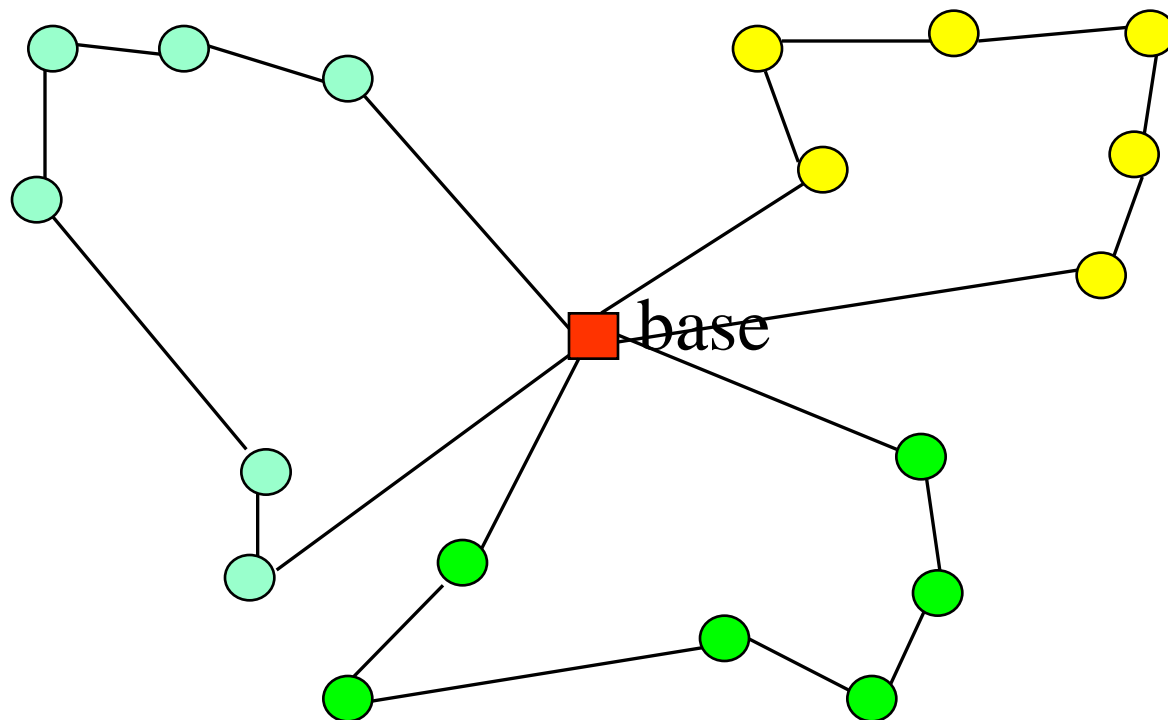
Definir e determinar:

- quantos e quais veículos utilizar ?
- que atendimentos alocar/atribuir a cada veículo ?
- para cada veículo, em que ordem/seqüência atender ?
(roteiros)

O Problema de Roteamento de Veículos



Outra Solução



Contexto da Roteirização

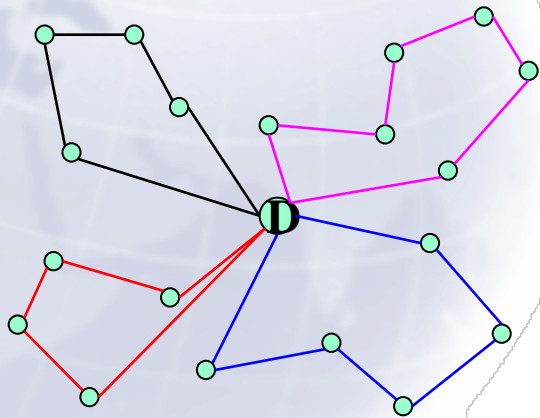
- **Uma das estratégias para distribuição física urbana**
 - Envolve somente entregas?
 - O que mais pode incluir? Coletas, atendimentos,
- **Por quê roteirizar?**
 - Quantidade de carga para cada cliente, frequência de entrega não permitem entrega direta com carga completa
 - Portanto, necessidade de compartilhamento de veículos para atendimento de vários clientes
 - Necessário definir que veículos servem que clientes e em que ordem/sequência, de maneira ótima

Roteirização: aplicações

- Roteirização diária
 - Clientes e quantidades mudam diariamente
 - Muita flutuação para permitir rotas estáticas
- Planejamento estratégico e tático
 - Análise de cenários
 - Impacto de criação de novos CDs ou TPs
 - Impacto de políticas operacionais (hora extra, número máximo de entregas por rota, etc.)
 - Estimar custo de entrega/atendimento de cliente

Roteiros de entregas

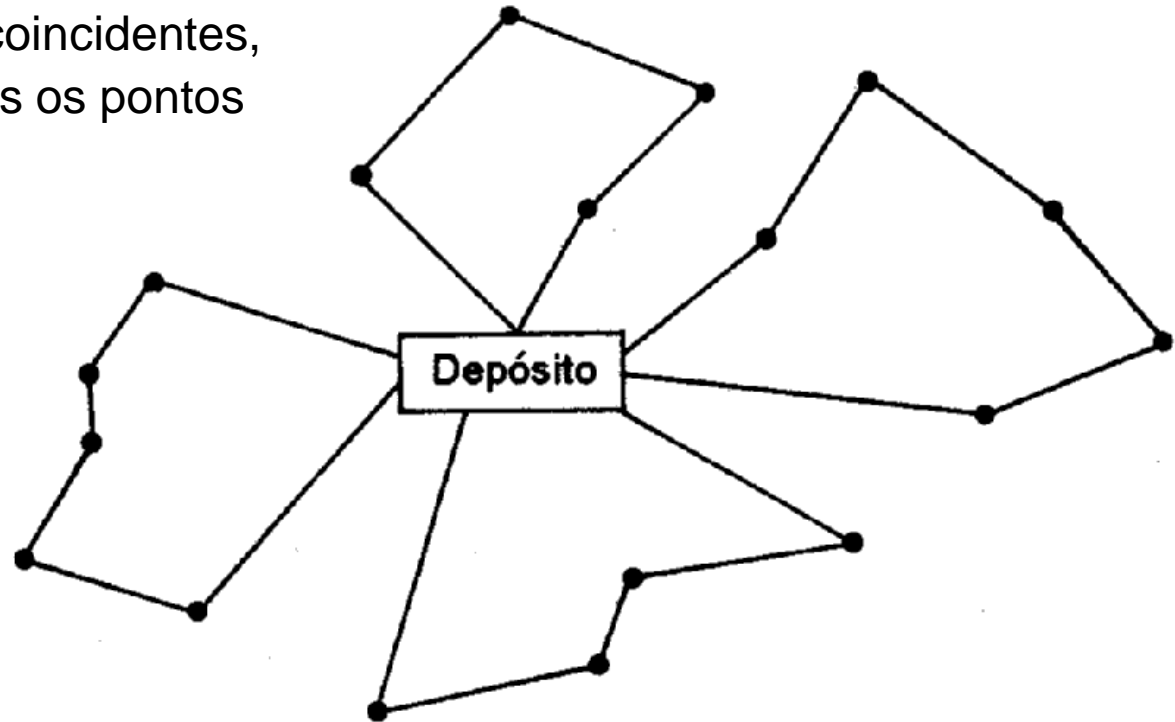
- 500 entregas
- 25 veículos
- 2h para concluir programação!!!



- $1,0439 \times 10^{42}$ combinações (formas de agrupamento)
 - $\approx 1.043.900.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000$
- Sem considerar roteiros/seqüências de entrega

TIPOS DE PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO (Segundo Ballou)

- o **REAL** problema de roteirização
 - Origem e destino coincidentes, passando por todos os pontos



Principais desafios da roteirização

- **Congestionamentos nos centros urbanos**
- **Restrições à circulação de veículos de carga**
 - Horários, tamanhos de veículos
- **Rever estratégia de distribuição**

Medidas de Qualidade/ Nível de Serviço

- Realizar todos os atendimentos
- Atender corretamente (não falta nada !)
- Respeitar horários de atendimento
- Utilizar veículo adequado

Tipos de Problemas de Roteirização

- **Problema do caixeiro viajante (TSP)**
 - Encontrar um roteiro ou seqüência de pontos (cidades) a serem visitados pelo caixeiro
 - visitando todas as cidades, e cada uma delas uma só vez.
 - Buscando minimizar a distância total percorrida
- **Problema do carteiro chinês**
 - Passar por todos os quarteirões de uma área e retornar ao ponto inicial
 - Minimizando a distância total percorrida, ou percurso ocioso (evitando passar mais de uma vez em cada trecho)

HELP! WE'RE LOST!

54...\$1,000 PRIZES
ONE...\$10,000 GRAND PRIZE



All you do is draw connecting straight lines from location to location to show the shortest round trip route.

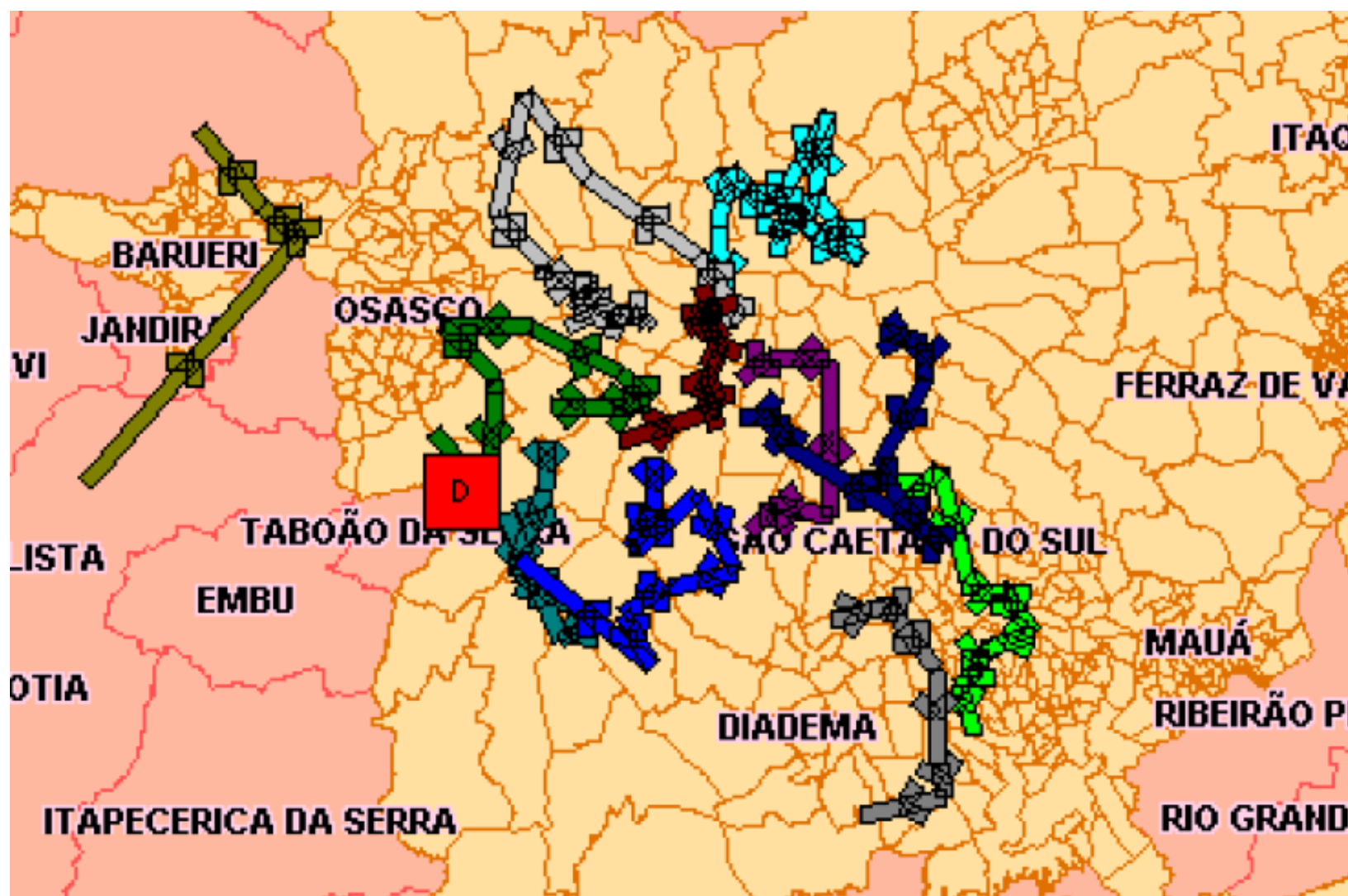
Begin at Chicago, Illinois. From there, lines show correct route as far as Erie, Pennsylvania. Next, do you go to Carlisle, Pennsylvania or Wana, West Virginia? Check the easy instructions on back of this entry blank for details.

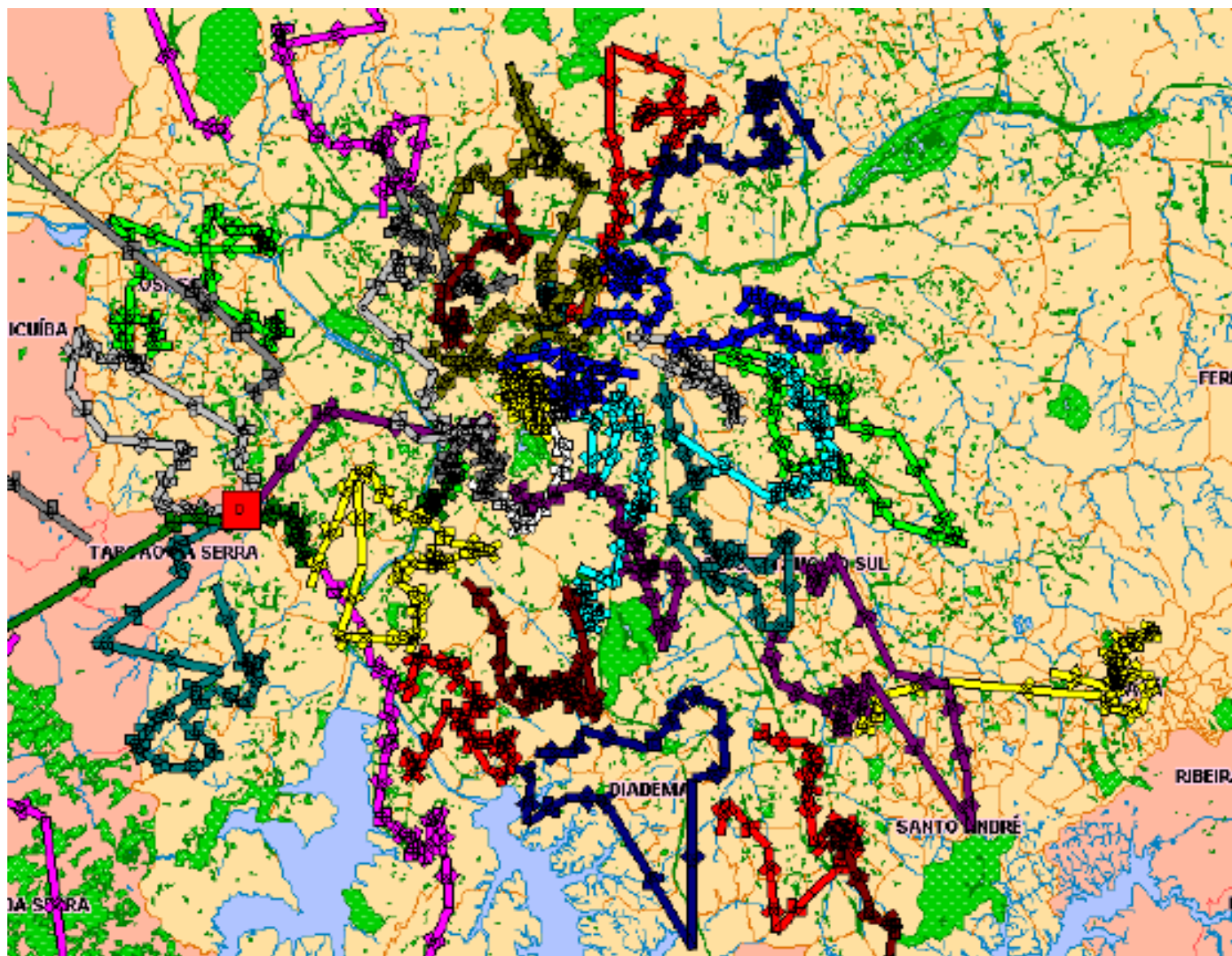
J. PROCTER & GAMBLE 1942

OFFICIAL RULES ON REVERSE SIDE

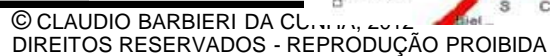
O jogo de isabelias

- **Esse jogo foi baseado no problema do "Caixeiro Viajante):**
- <http://dl.dropbox.com/u/19627271/Jogos/caixeiroviajante.html>
- **Elaborado por Isabel Elias**
- **Em março de 2009, ganhou o prêmio de melhor jogo no 1º Festival PUC-SP de Criação e Desenvolvimento de Games na Categoria Educacional**









Problema complexo

- **Problema do Caixeiro Viajante:**

- definir a rota mais curta para visitar um conjunto de cidades, voltando para a cidade de origem ao final.

- **4 cidades:**

- ABCDA ABDCA ACBDA
ACDBA ADBCA ADCBA

- **7 cidades**

- 720 rotas (6!)

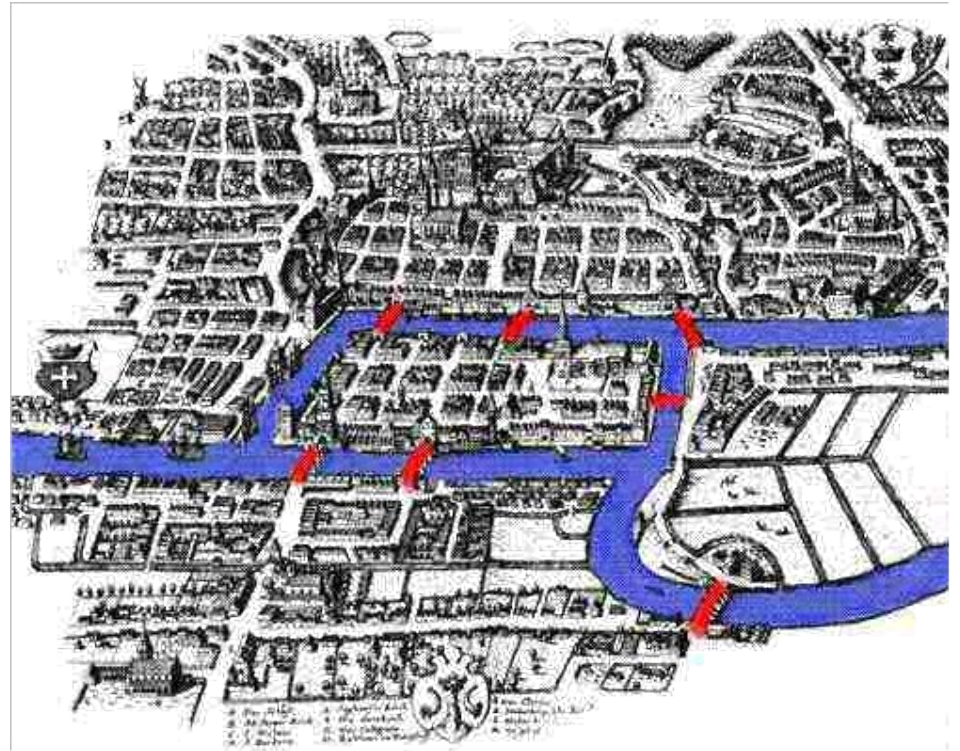
- **27 cidades**

- 403.291.461.126.606.000.000.000.000 possibilidades
 - para checar cada rota uma a uma, o computador mais rápido do mundo (546 Teraflops) precisaria rodar por 12 milhões de anos!

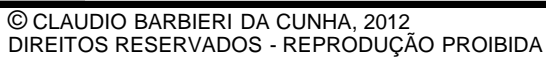
O problema do carteiro chinês

Em Königsberg, Alemanha, um rio cruzava a cidade tal que em seu centro havia uma ilha, após a qual ele se dividia em duas partes.

Sete pontes foram construídas de modo que as pessoas pudessem ir de uma parte a outra.

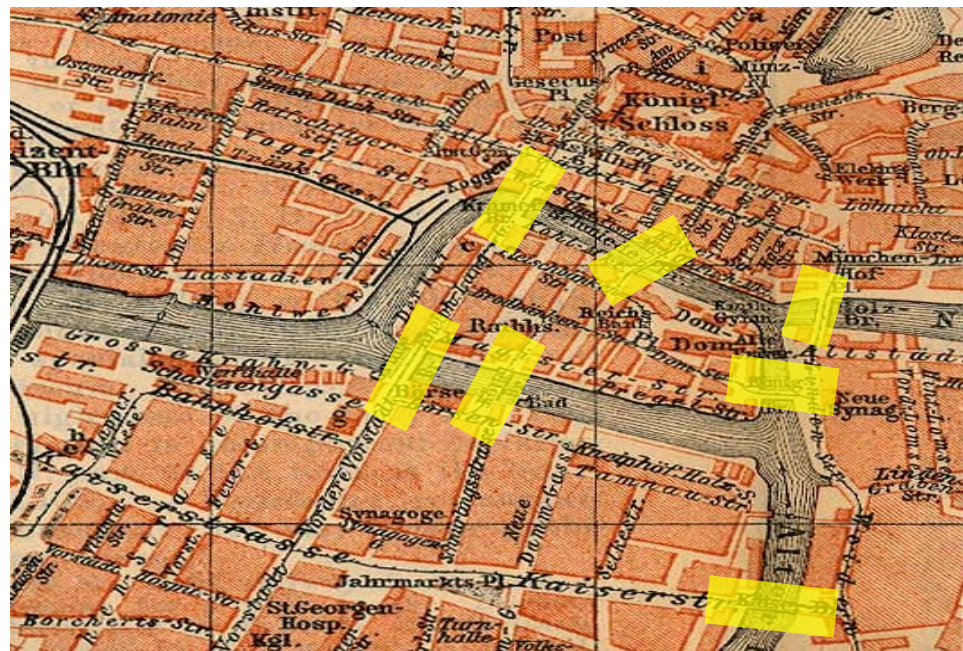






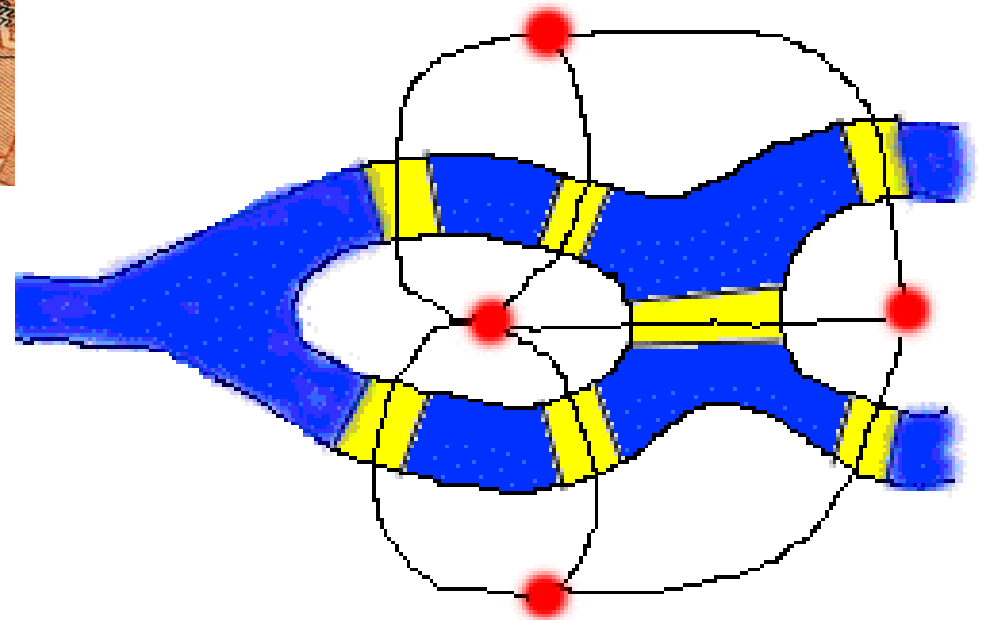
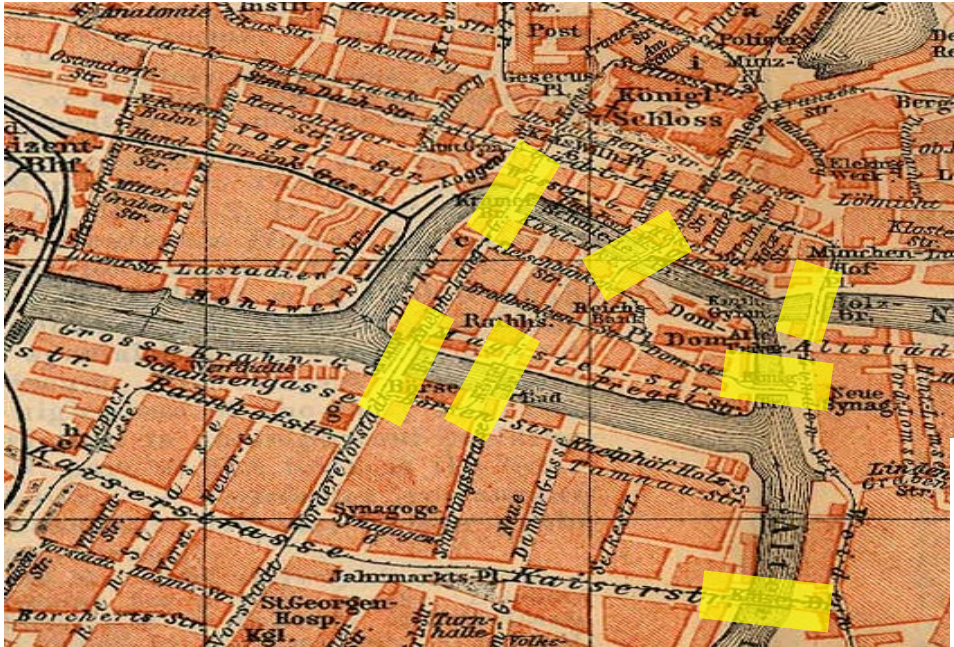
O problema do circuito de Euler

Uma lenda diz que um residente da cidade de Königsberg escreveu a Leonard Euler dizendo que um passatempo popular para os casais era **tentar cruzar cada uma das sete pontes da cidade exatamente uma vez – sem cruzar qualquer ponte mais de uma vez.**

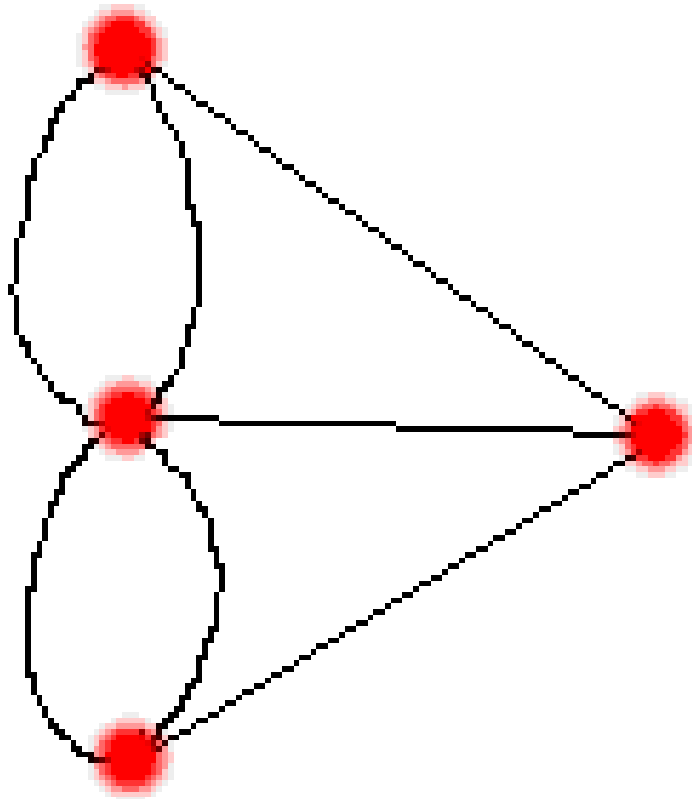


Era sabido por todos que o feito não podia ser cumprido, embora ninguém soubesse por quê.
Coube a Euler, um grande matemático, responder a questão.

Representação de Euler

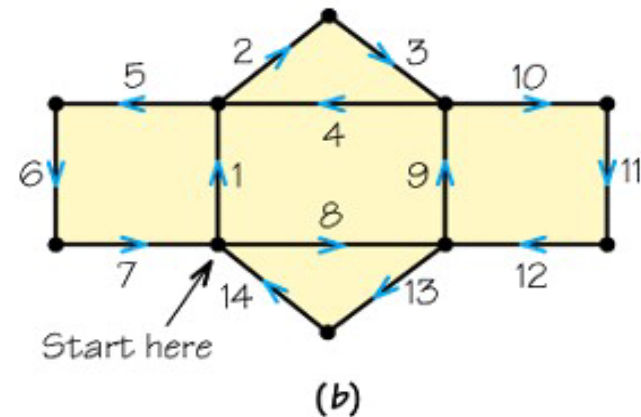
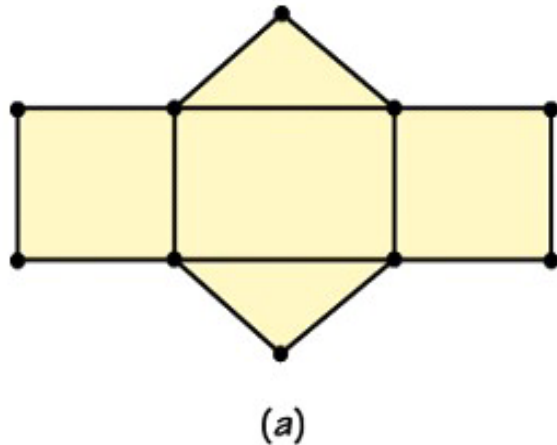


Grafo Resultante



O problema pode ser visto como o de desenhar a figura ao lado sem redesenhar qualquer linha e sem levantar o lápis do papel

O Teorema de Euler mostra que o problema só tem solução se o número de arcos incidente em cada nós for par e o grafo for conexo

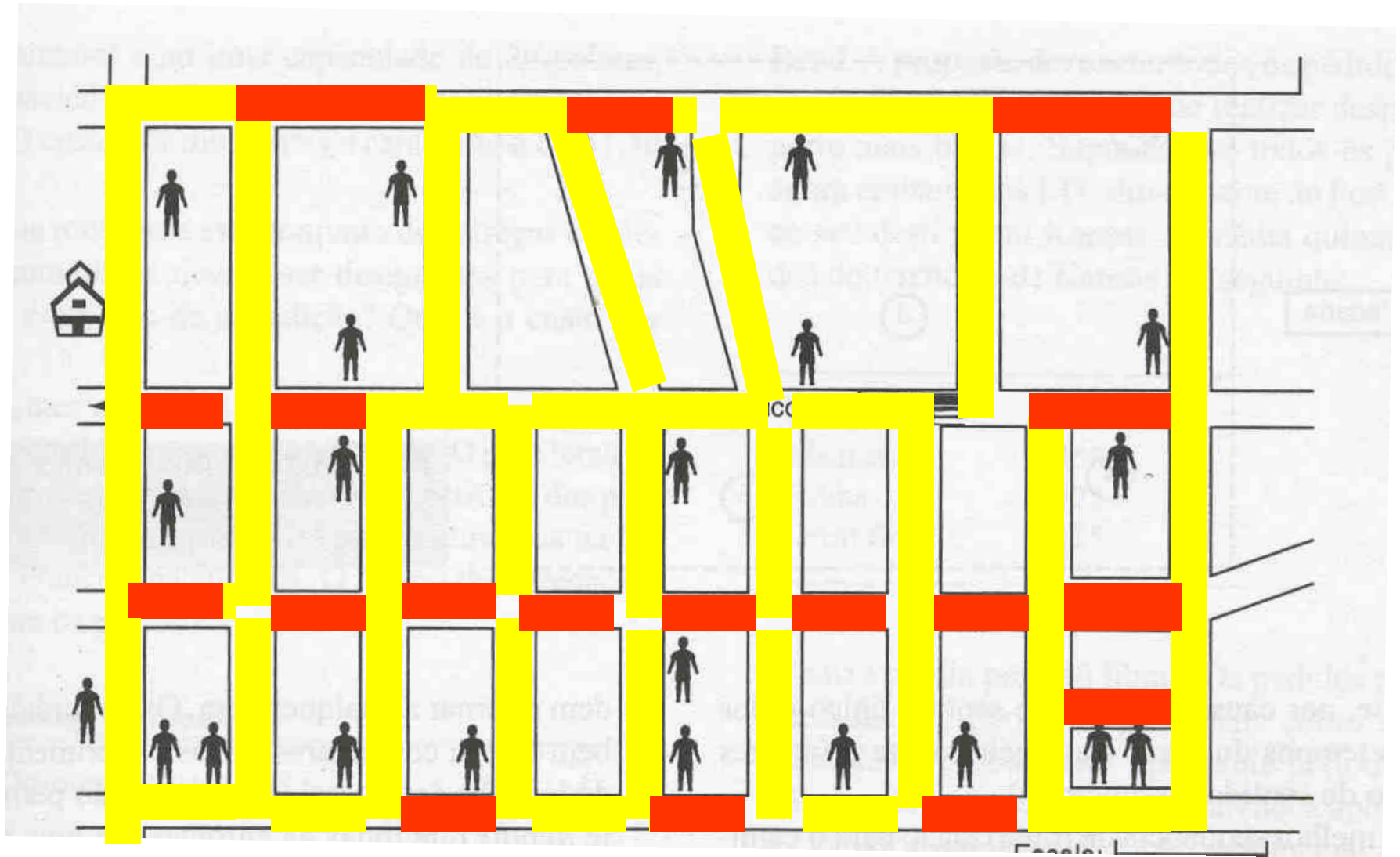


Problema do Carteiro Chinês



**Definir um trajeto contínuo (sem tirar o lápis do papel)
passando por todas as ruas, evitando repetir quarteirões**

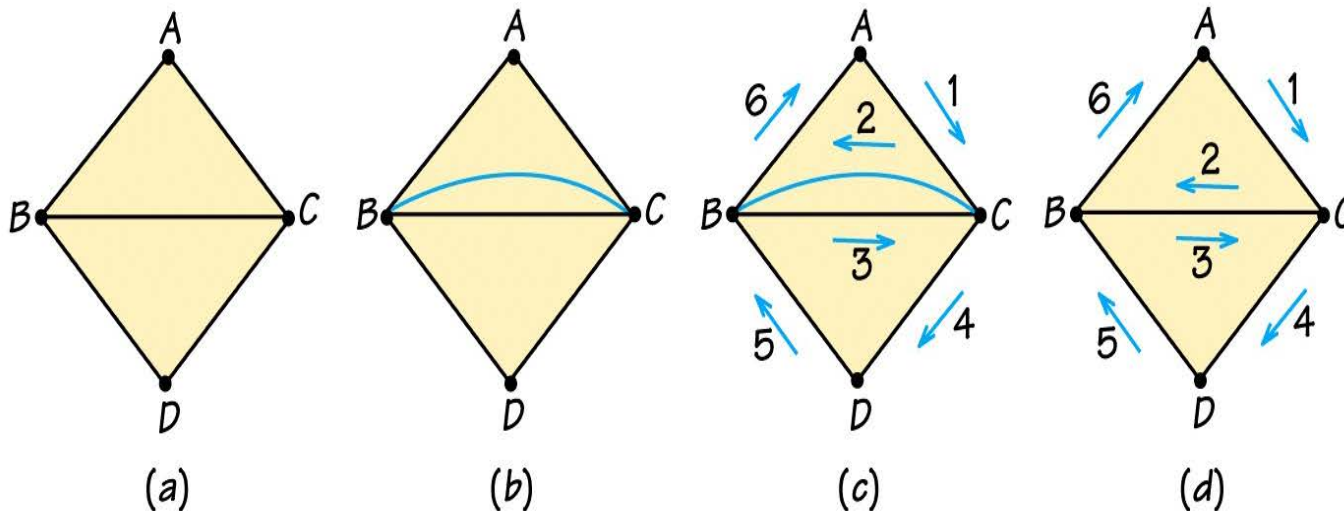
Problema do Carteiro Chinês



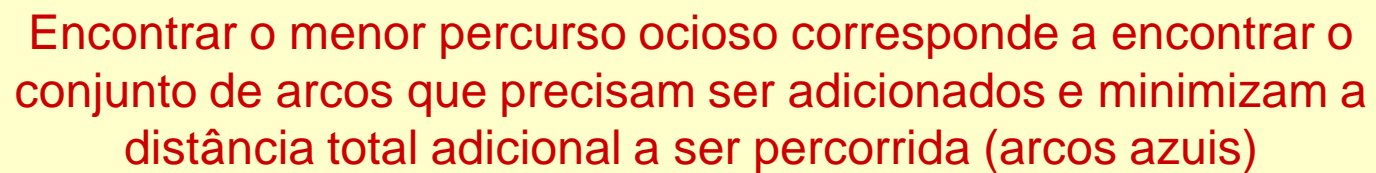
**Definir um trajeto contínuo (sem tirar o lápis do papel)
passando por todas as ruas, evitando repetir quarteirões**

Problema do Carteiro Chinês

- Como adicionar arcos a um grafo de tal modo a criar um circuito de Euler?
- Resposta: Problema do Carteiro Chinês
 - Minimizar o comprimento (extensão) de um circuito escolhendo cuidadosamente os arcos que serão percorridos mais de uma vez
- Corresponde a adicionar arcos a um grafo de tal modo que o número de arcos incidentes em cada vértice seja par!

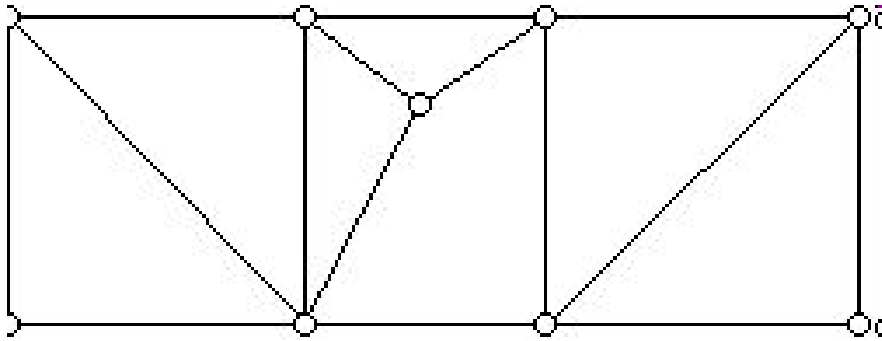


[illegible]

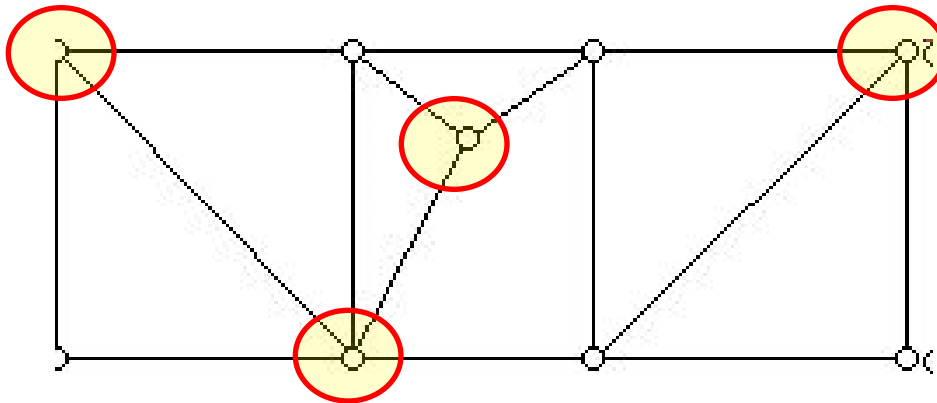


Exemplo

- Suponha a seguinte região a ser percorrida:

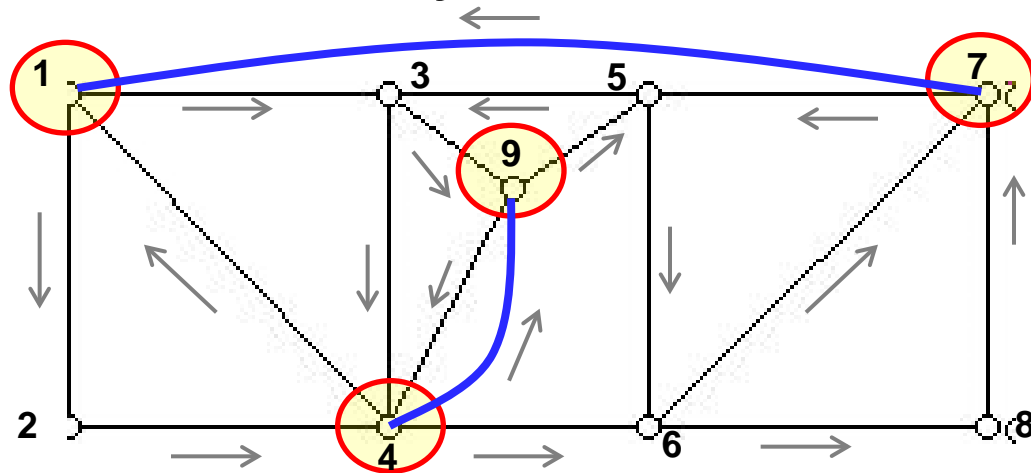


- Os nós indicados tem grau ímpar, o que requer arcos adicionais



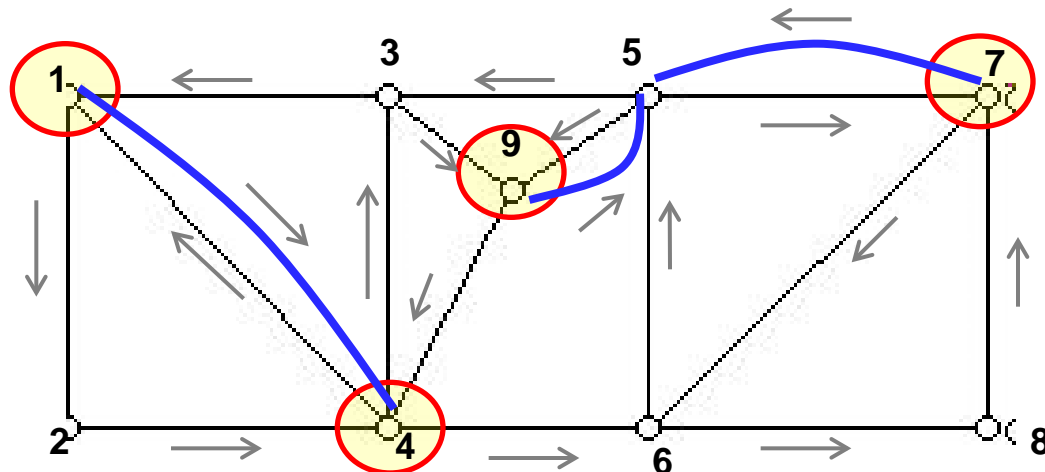
Possíveis soluções

- Uma possível solução consiste em adicionais os arcos abaixo em azul:



(1-2), (2-4), (4-1), (1-3), (3-4), (4-9),
(9-5), (5,3), (3-9), (9-4), (4-6), (6-8),
(8-7), (7-5), (5-6), (6-7), (7,1)

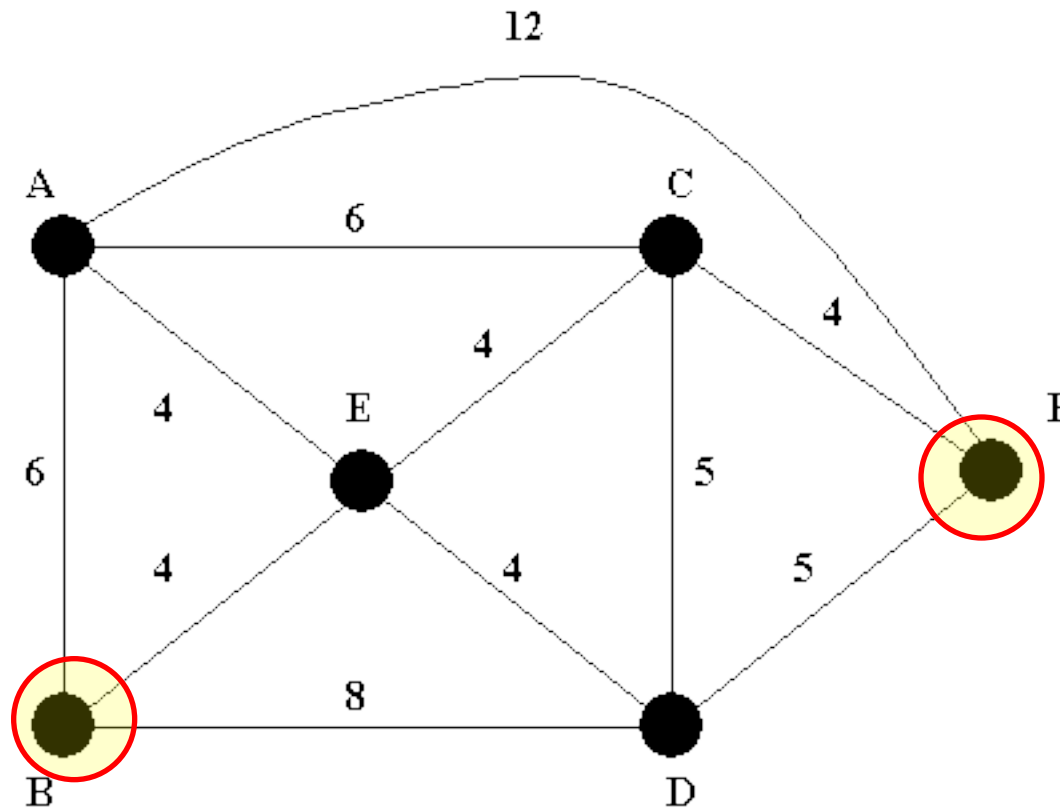
- Porém existe uma solução melhor, em que a distância adicional é menor



(1-2), (2-4), (4-1), (1-4), (4-3), (3-9),
(9-4), (4,6), (6-8), (8-7), (7-6), (6-5),
(5-7), (7-5), (5-9), (9-5), (5-3), (3-1)

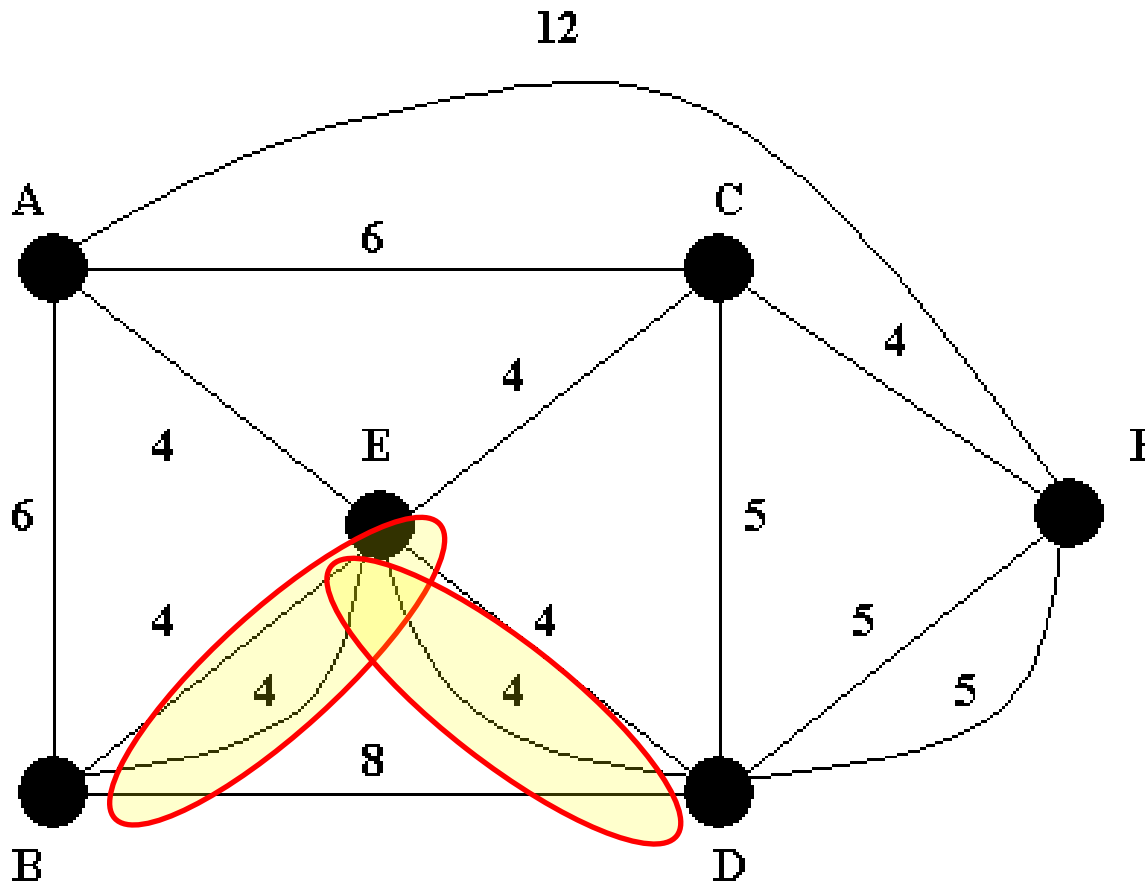
Outro exemplo

- Problema original

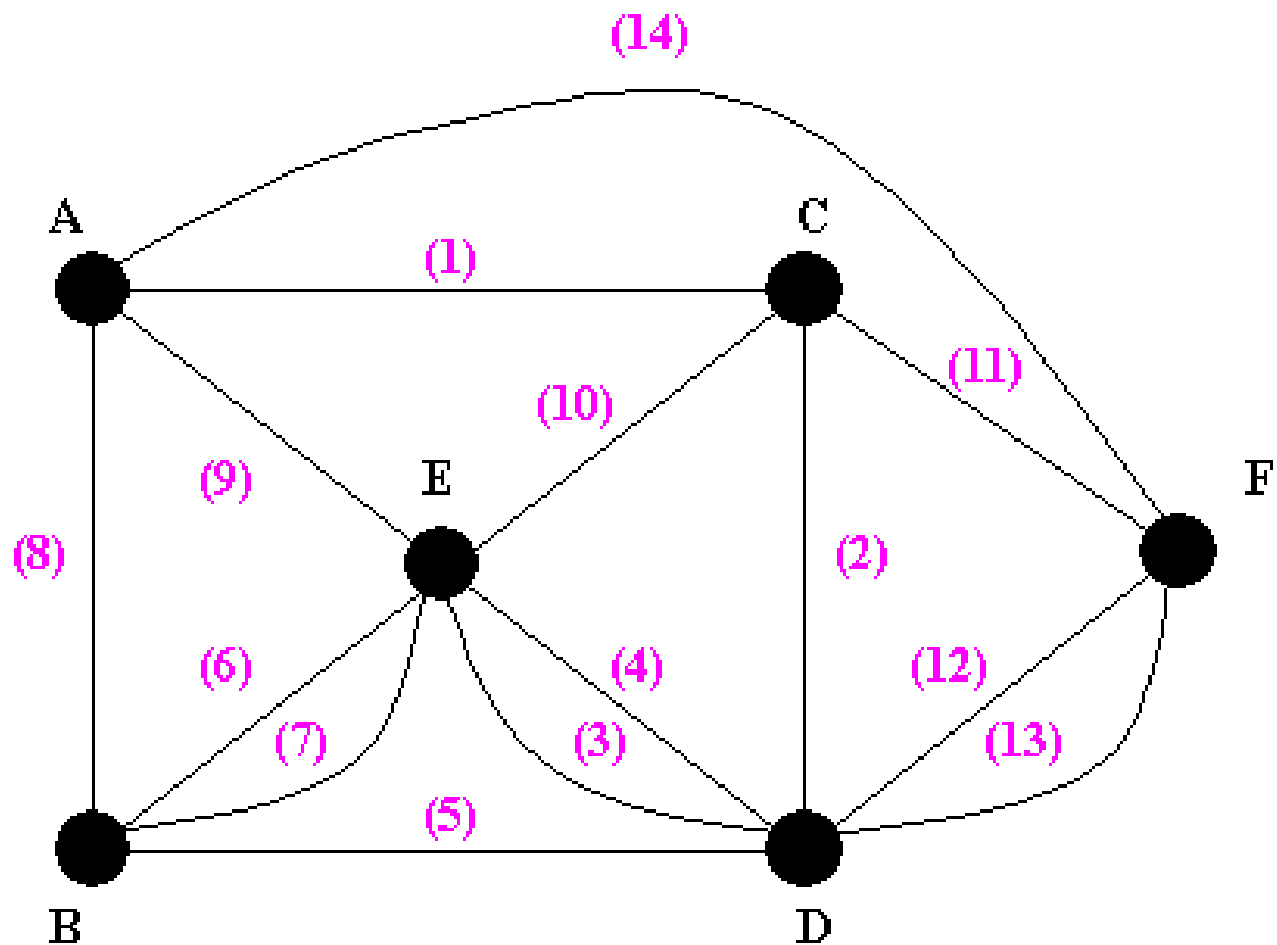


Solução

- Adicionando arcos

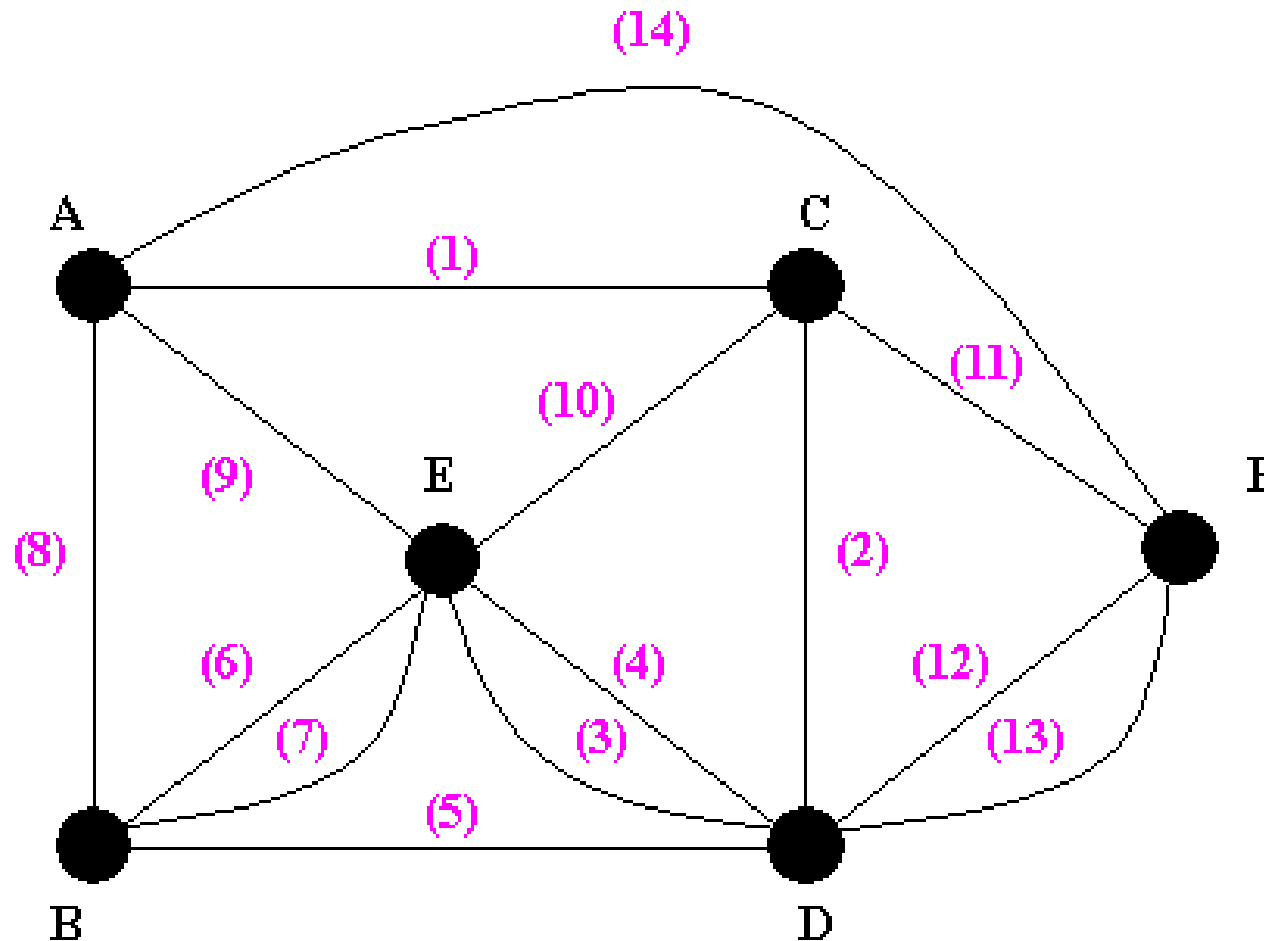


Sequência de percurso



Sequência de percurso

- Saindo e retornando ao ponto A (1-14)



Waste Collection Routes

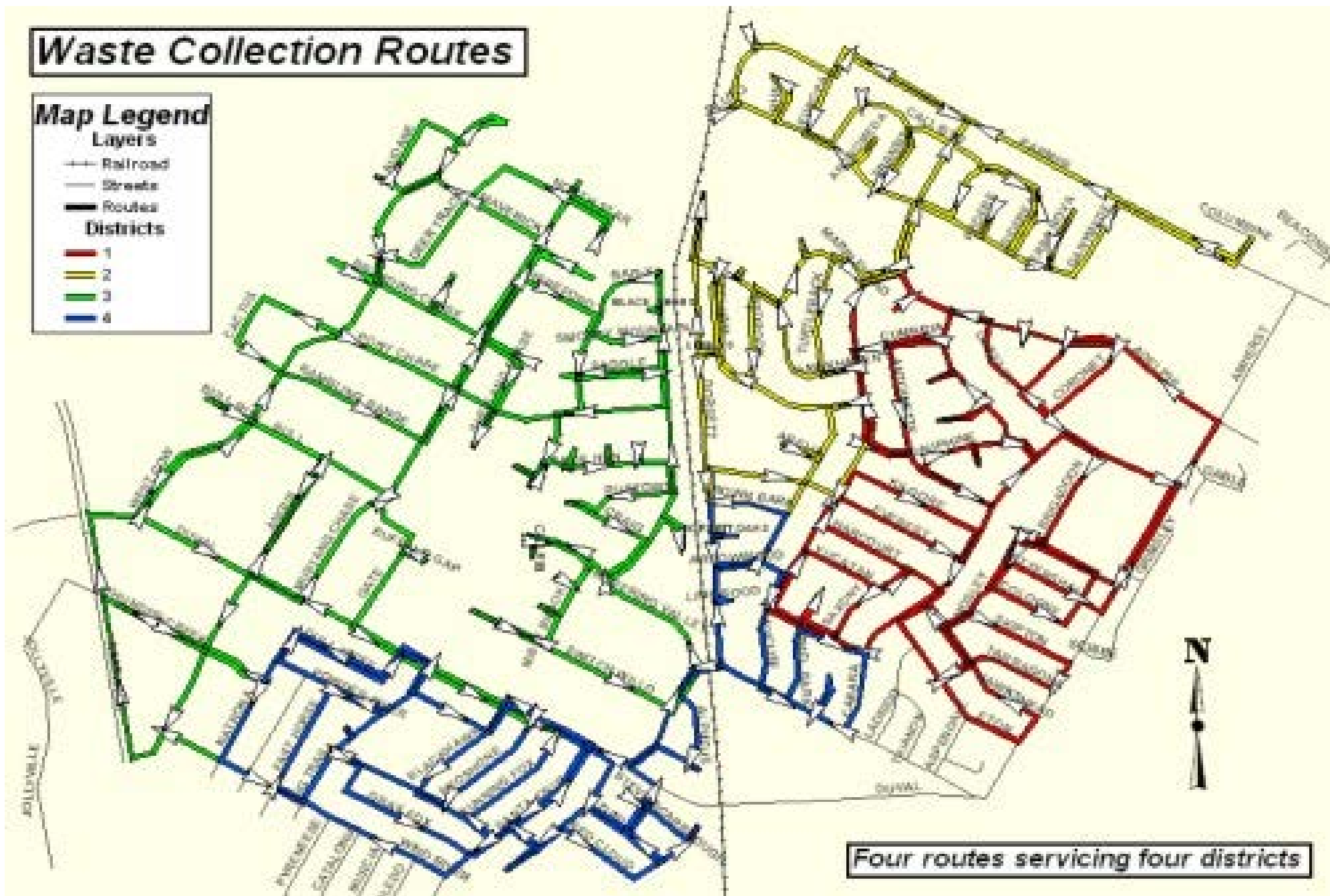
Map Legend

Layers

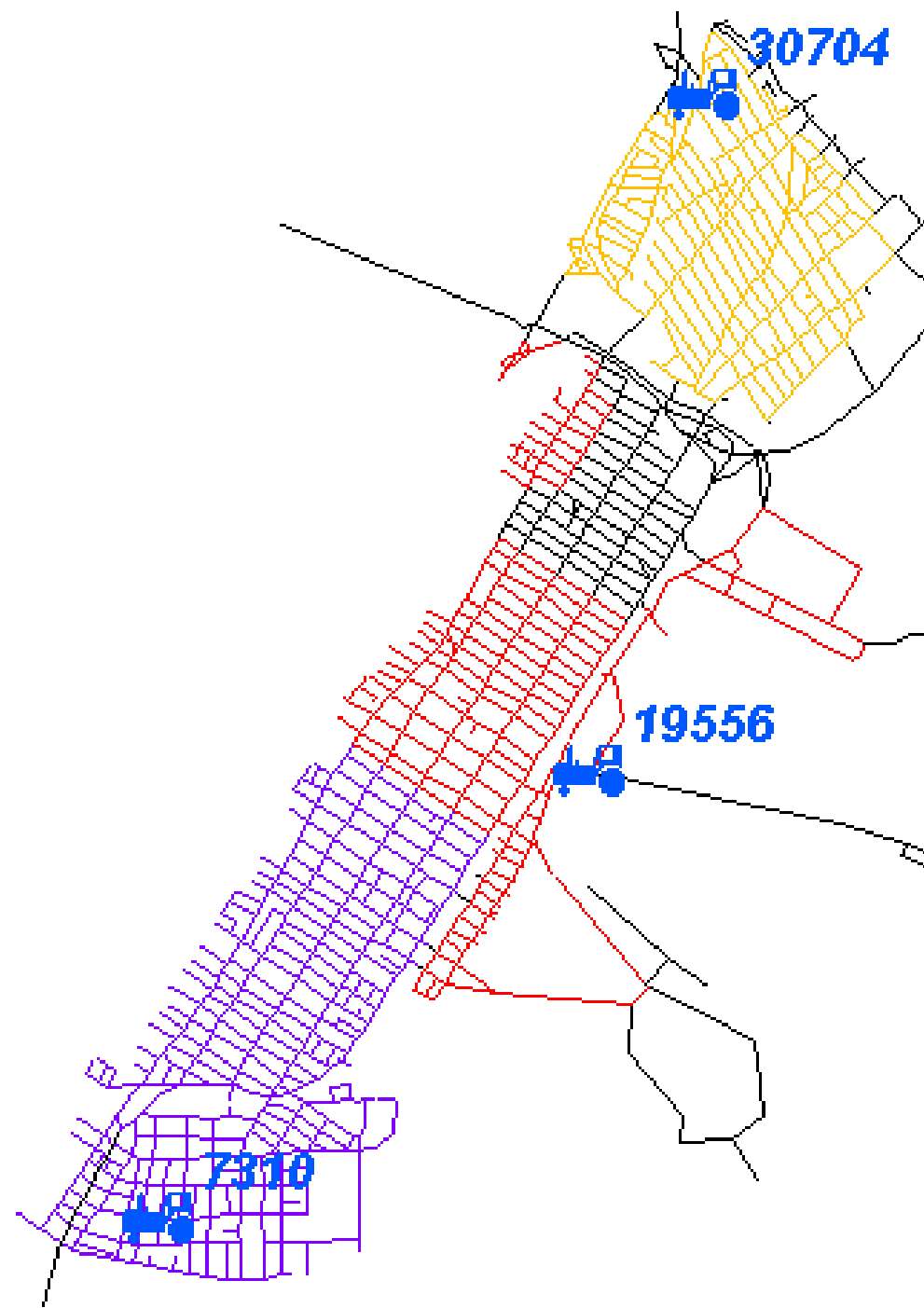
- +— Railroad
- Streets
- Routes

Districts

- 1 (Red)
- 2 (Yellow)
- 3 (Green)
- 4 (Blue)



Four routes servicing four districts



**Carteiro
Chinês**

Situações Práticas

- **Carteiro Chinês**
 - Leitura de água/luz
 - Coleta de lixo residencial
 - Entrega domiciliar de gás
 - Venda de “pamonha”
 -
- **Caixeiro Viajante**
 - Entregas de refrigerantes em bares e restaurantes
 - Entregas da Perdigão/Sadia em supermercados, mercearias
 - Entregas de jornais e revistas em bancas
 -

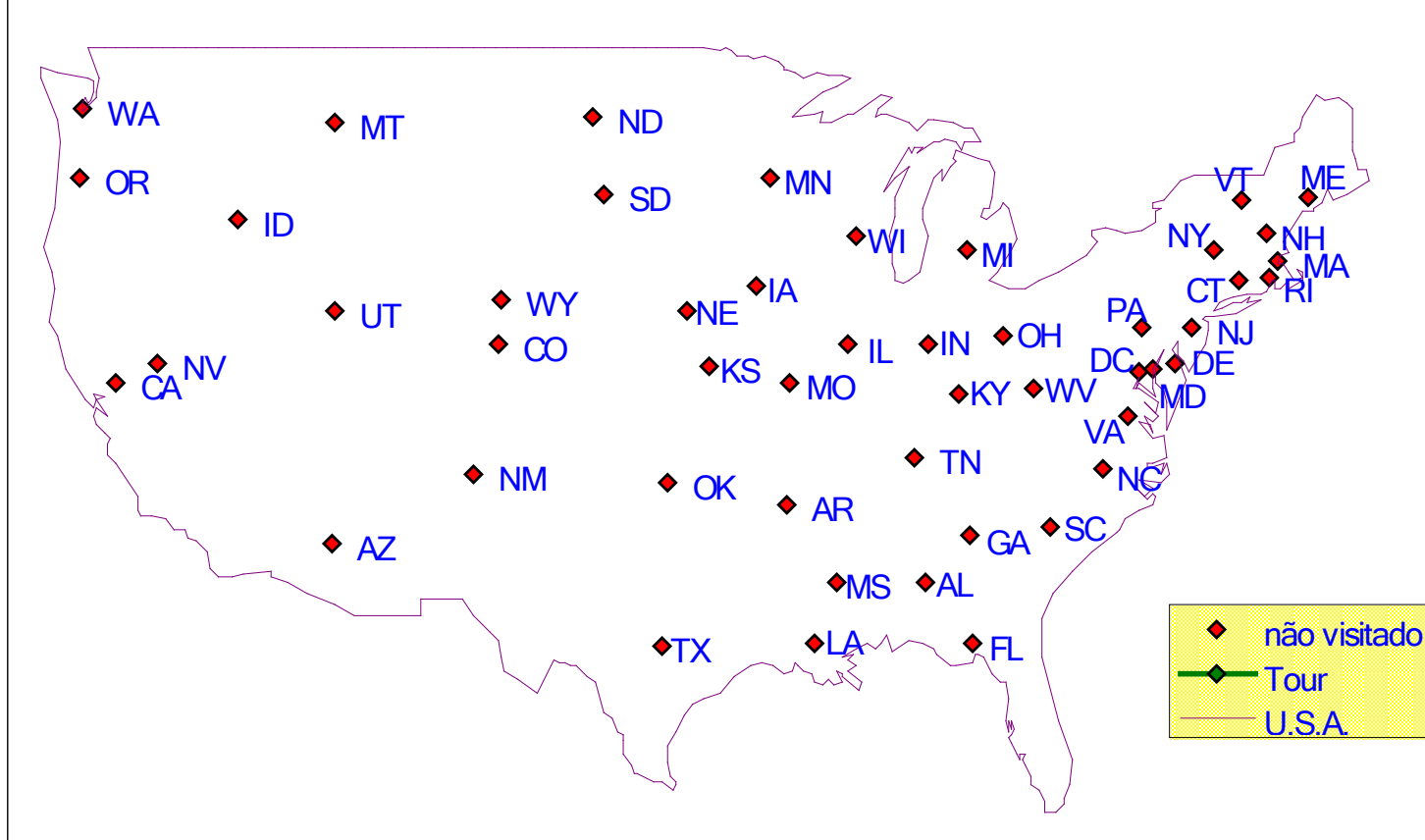
E a entrega de jornais em domicilio para assinantes?

Algoritmos distintos para resolver cada categoria de problema !!!!!

Desafio: Resolver o problema do caixeiro viajante



49 cidades não visitadas



Dá para resolver usando o Solver?

- Como obter a solução ótima para o problema do caixeiro viajante com 6 pontos?

De/Para: Distancias

	0	1	2	3	4	5
0	0	13,5	11,5	7,4	7,7	4,5
1	15,7	0	5,2	12,1	23,1	20,0
2	10,1	7,2	0	7,8	14,4	12,1
3	7,8	11,2	7,1	0	7,2	4,9
4	9,3	21,0	15,7	9,0	0	6,4
5	4,7	16,4	12,2	5,5	4,0	0

Proponha uma boa solução possível

- $0 \rightarrow 3$ 0 1 2 3 4 5
- $3 \rightarrow 2$ 0 1 2 3 4 5
- $2 \rightarrow 1$ 0 1 2 3 4 5
- $1 \rightarrow 5$ 0 1 2 3 4 5
- $5 \rightarrow 4$ 0 1 2 3 4 5
- $4 \rightarrow 0$ 0 1 2 3 4 5

De/Para: Distancias

	0	1	2	3	4	5
0	0	13,5	11,5	7,4	7,7	4,5
1	15,7	0	5,2	12,1	23,1	20,0
2	10,1	7,2	0	7,8	14,4	12,1
3	7,8	11,2	7,1	0	7,2	4,9
4	9,3	21,0	15,7	9,0	0	6,4
5	4,7	16,4	12,2	5,5	4,0	0

- Distância total = $7,4 + 7,1 + 7,2 + 20,0 + 4,0 + 9,3 = 55$

Como representar matematicamente?

- **Variáveis de decisão:**

$X_{ij} = 1$ se o nó j é visitado imediatamente após o nó i
0 caso contrário

- No nosso caso:

$0 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 0$

$X_{03} = 1 \quad X_{32} = 1 \quad X_{21} = 1 \quad X_{15} = 1 \quad X_{54} = 1 \quad X_{40} = 1$

- E as demais variáveis? $X_{01} \quad X_{02} \quad X_{04} \dots X_{12} \quad X_{13} \quad X_{14} \dots X_{50} \dots$
 - Todas nulas!!!

Função objetivo

- Minimizar

$$13,5X_{01} + 11,5X_{02} + 7,4X_{03} + 7,7X_{04} + 4,5X_{05} + \\ 15,5X_{10} + 5,2X_{12} + 12,1X_{13} + 23,1X_{14} + 20,0X_{15} + \\ 10,1X_{20} + 7,2X_{21} + 7,8X_{23} + 14,4X_{24} + 12,1X_{25} + \\ \\ 4,7X_{50} + 16,4X_{51} + 12,2X_{52} + 5,5X_{53} + 4,0X_{54}$$

De/Para: Distancias

	0	1	2	3	4	5
0	0	13,5	11,5	7,4	7,7	4,5
1	15,7	0	5,2	12,1	23,1	20,0
2	10,1	7,2	0	7,8	14,4	12,1
3	7,8	11,2	7,1	0	7,2	4,9
4	9,3	21,0	15,7	9,0	0	6,4
5	4,7	16,4	12,2	5,5	4,0	0

FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO TSP

- CAIXEIRO VIAJANTE

$$[\min] \quad \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n c_{ij} x_{ij}$$

s.a

$$\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n x_{ki} = 1, i = 1, \dots, n$$

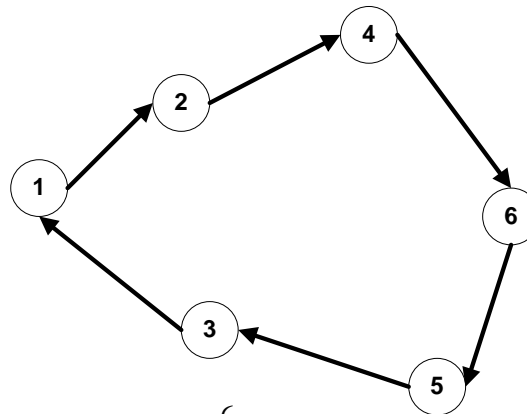
$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n x_{ij} = 1, i = 1, \dots, n$$

$$X = (x_{ij}) \in S$$

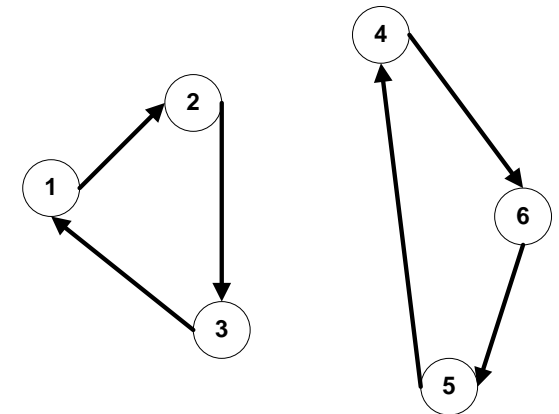
$$x_{ij} \in \{0,1\}$$

Restrições para eliminação de sub-tour

SIM



NÃO



$$S = \left\{ (x_{ij}) : \sum_{i \in Q} \sum_{j \notin Q} x_{ij} \geq 1 \right\} \text{ para todo } Q \subset N, Q \neq N$$

$$S = \left\{ (x_{ij}) : \sum_{i \in R} \sum_{j \in R} x_{ij} \leq |R| - 1 \right\} \text{ para todo } R \subset \{2, 3, \dots, n\}, R \neq \emptyset$$

Exemplo prático: Solver

- Obter a solução ótima para o problema do caixeiro viajante com 6 pontos

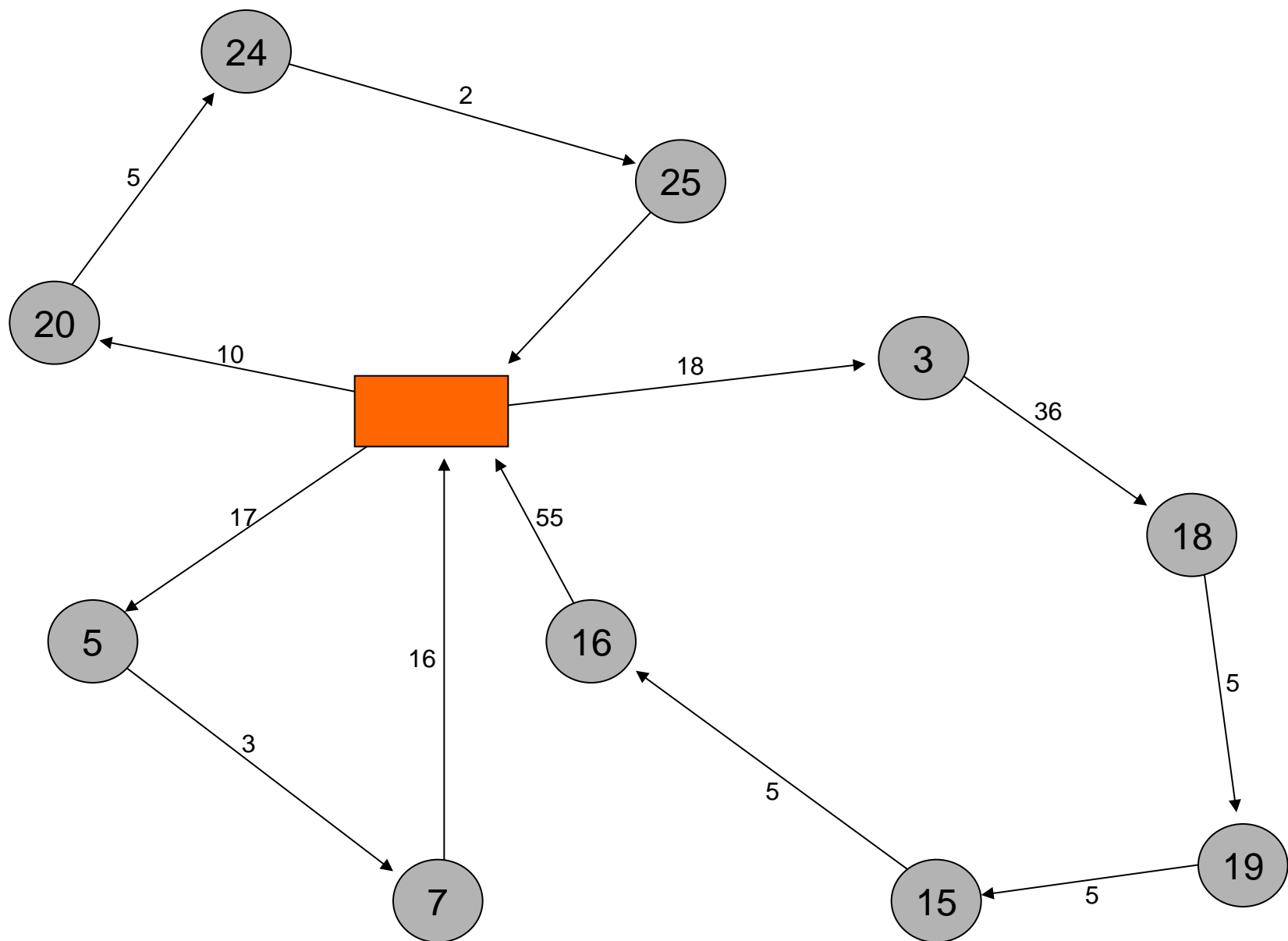
De/Para: Distancias

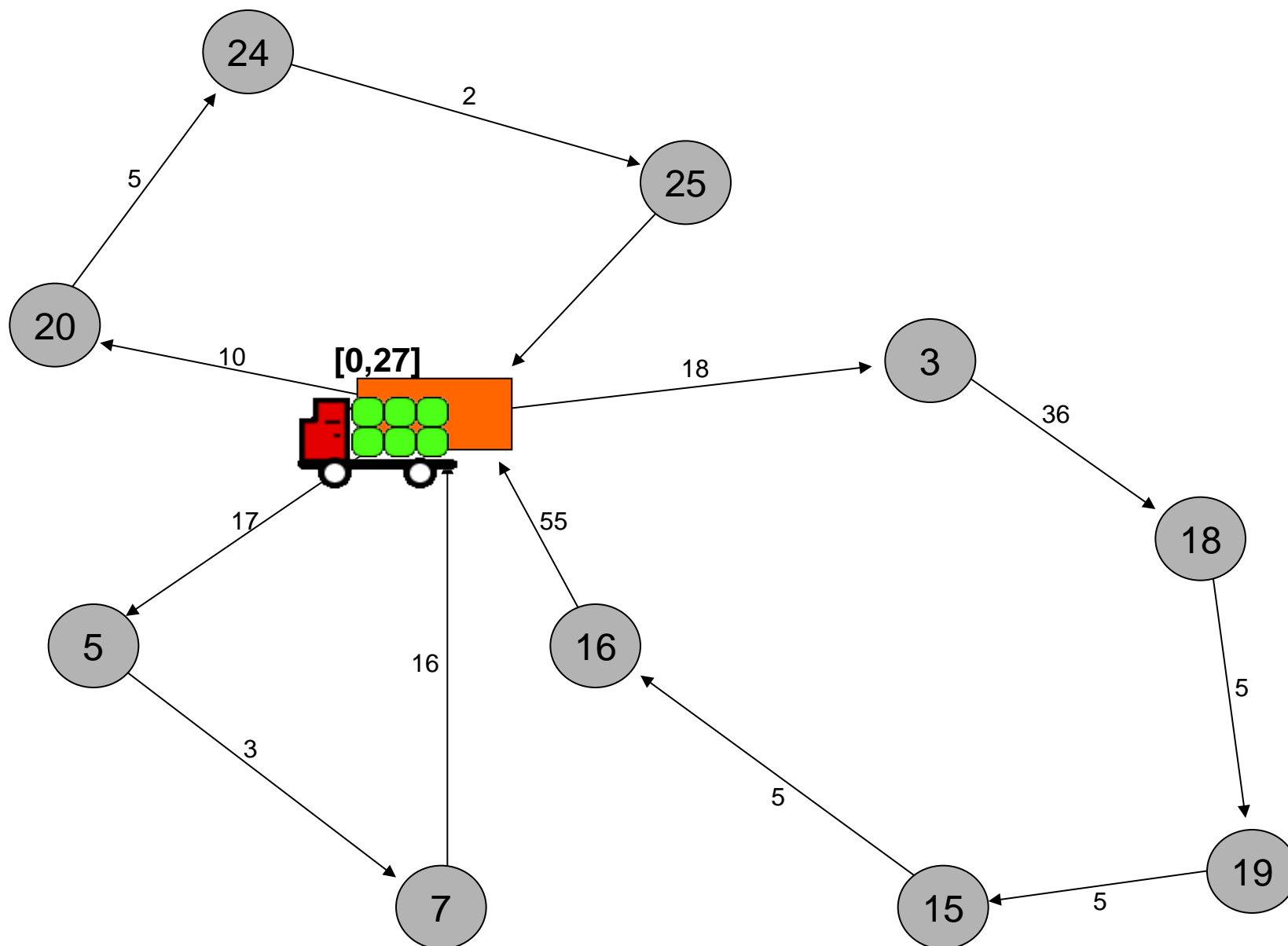
	0	1	2	3	4	5
0	0	13,5	11,5	7,4	7,7	4,5
1	15,7	0	5,2	12,1	23,1	20,0
2	10,1	7,2	0	7,8	14,4	12,1
3	7,8	11,2	7,1	0	7,2	4,9
4	9,3	21,0	15,7	9,0	0	6,4
5	4,7	16,4	12,2	5,5	4,0	0

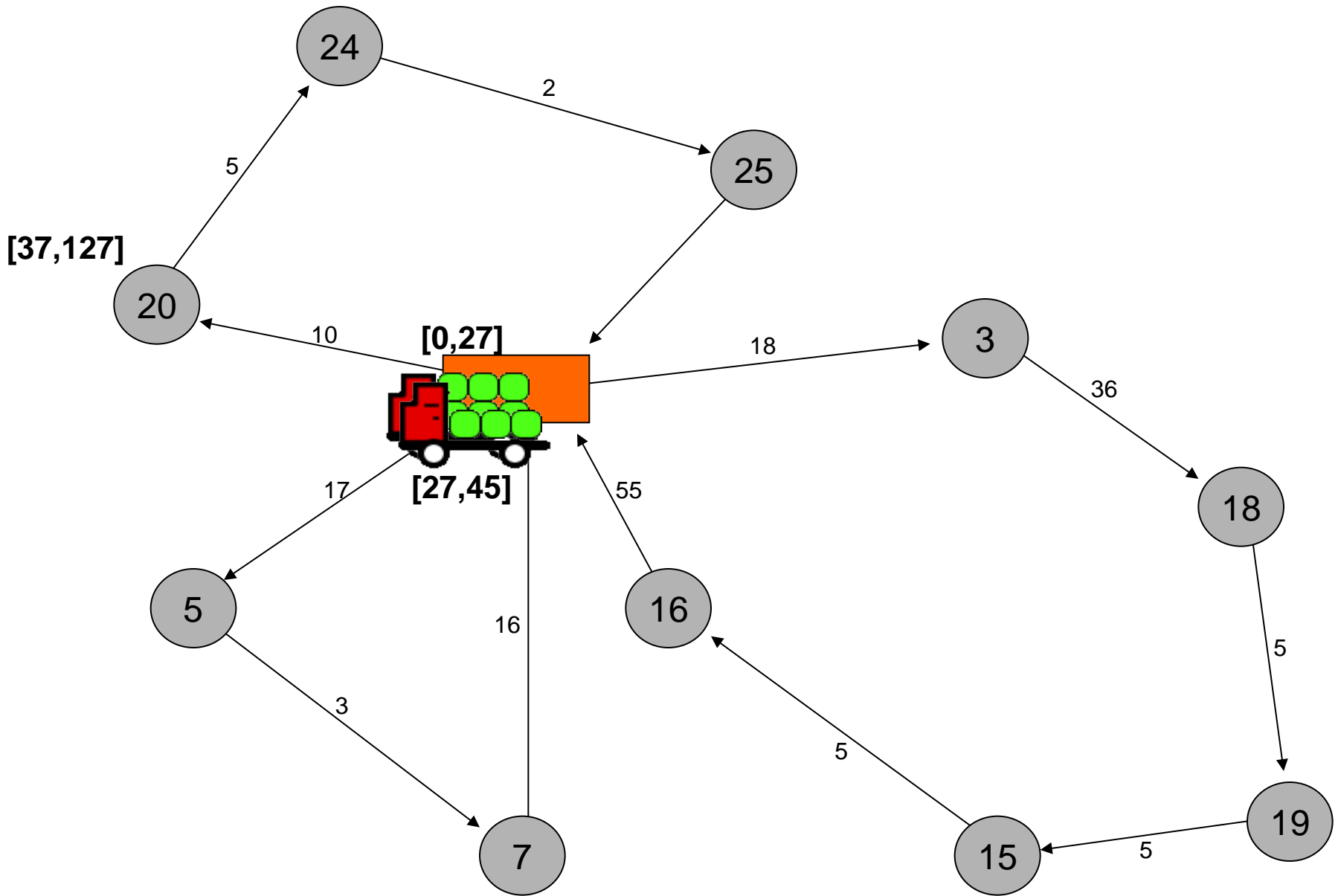
- Comparar com as soluções obtidas pelo método do vizinho mais próximo e o algoritmo de economias

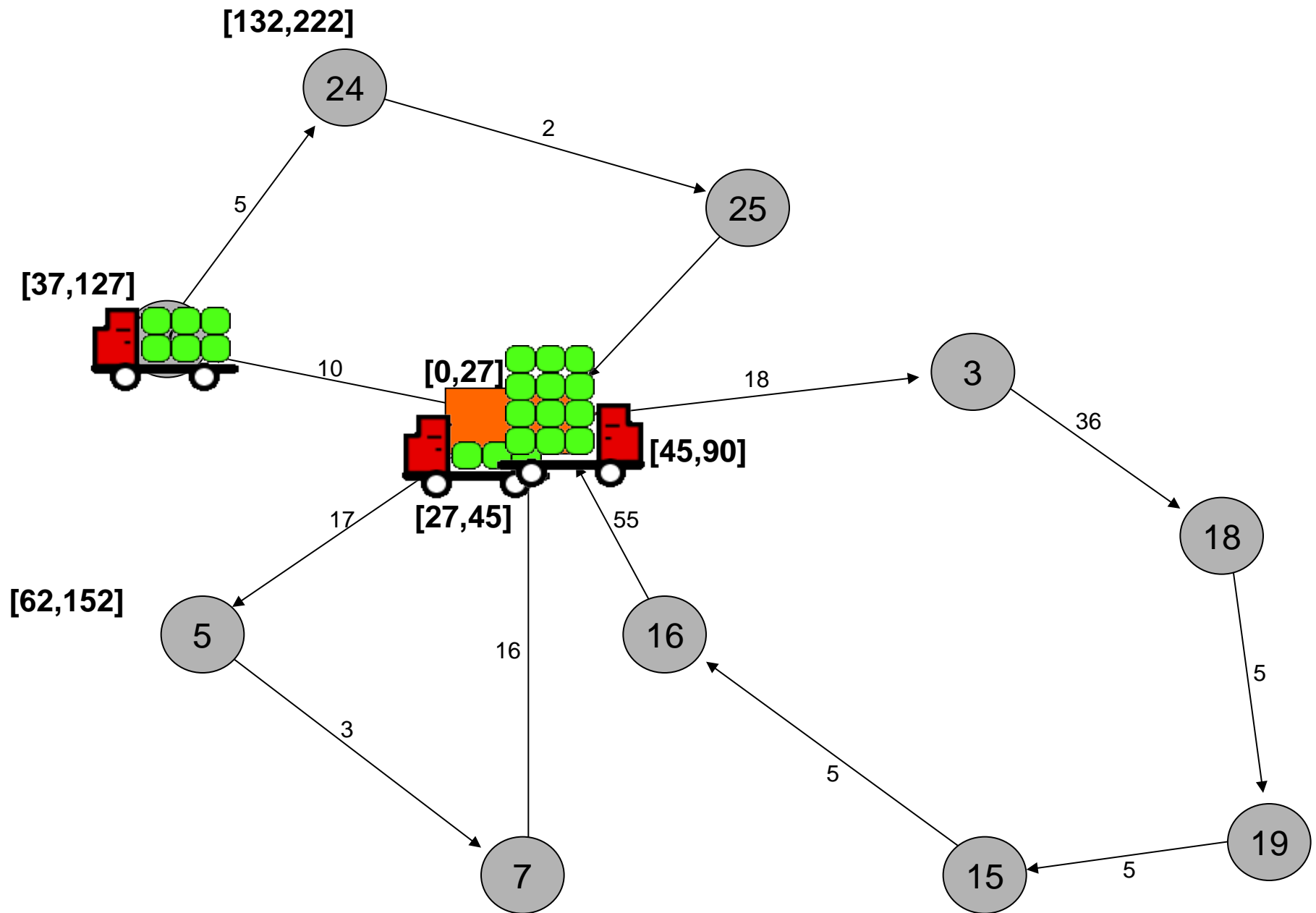
Problema de Roteirização de Veículos

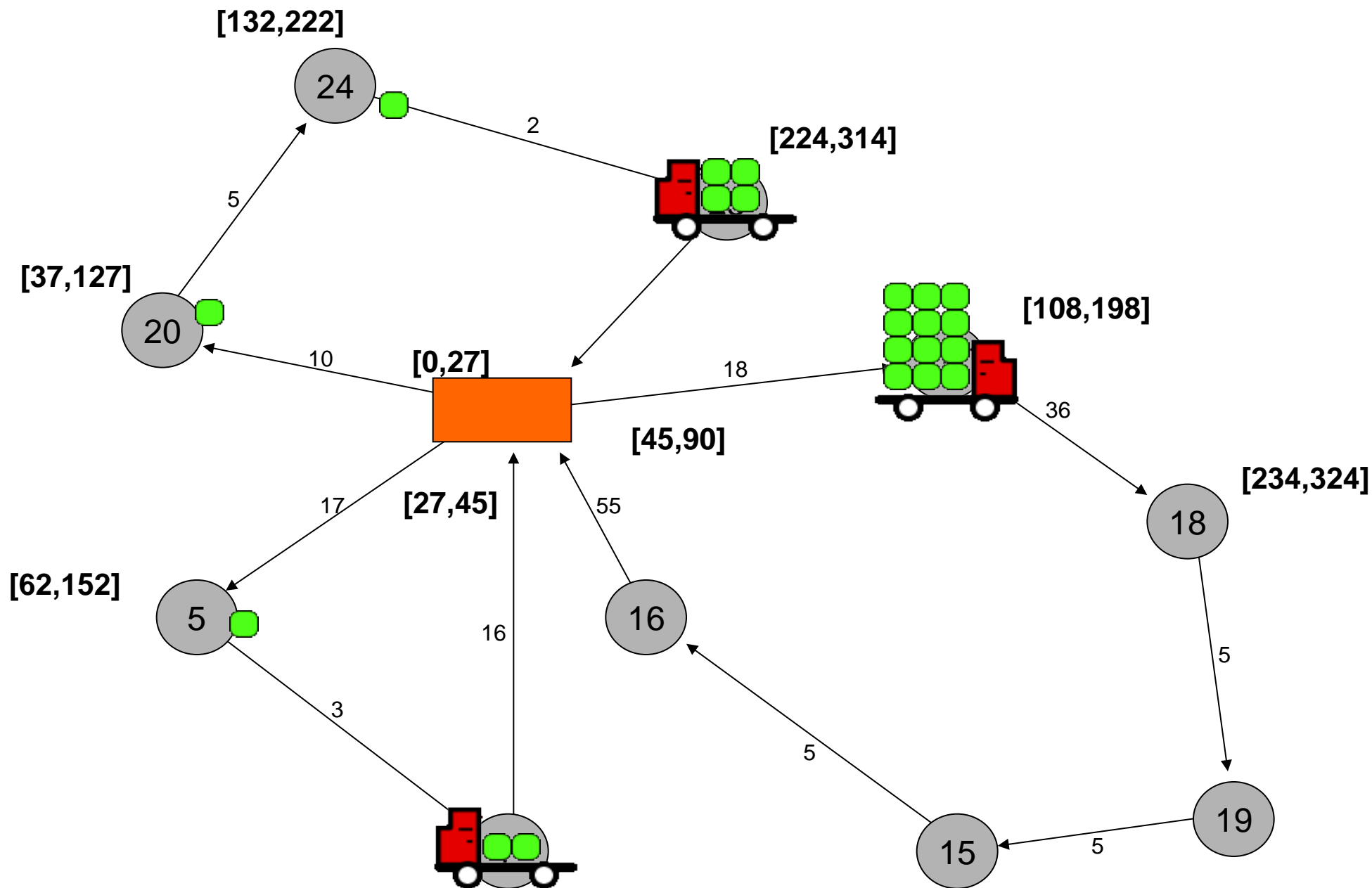
- **Generalização do Problema do Caixeiro Viajante**
 - Múltiplos caixeiros
 - Capacidade
 - Duração da viagem
 - Horários de visita
 - Heterogeneidade da frota

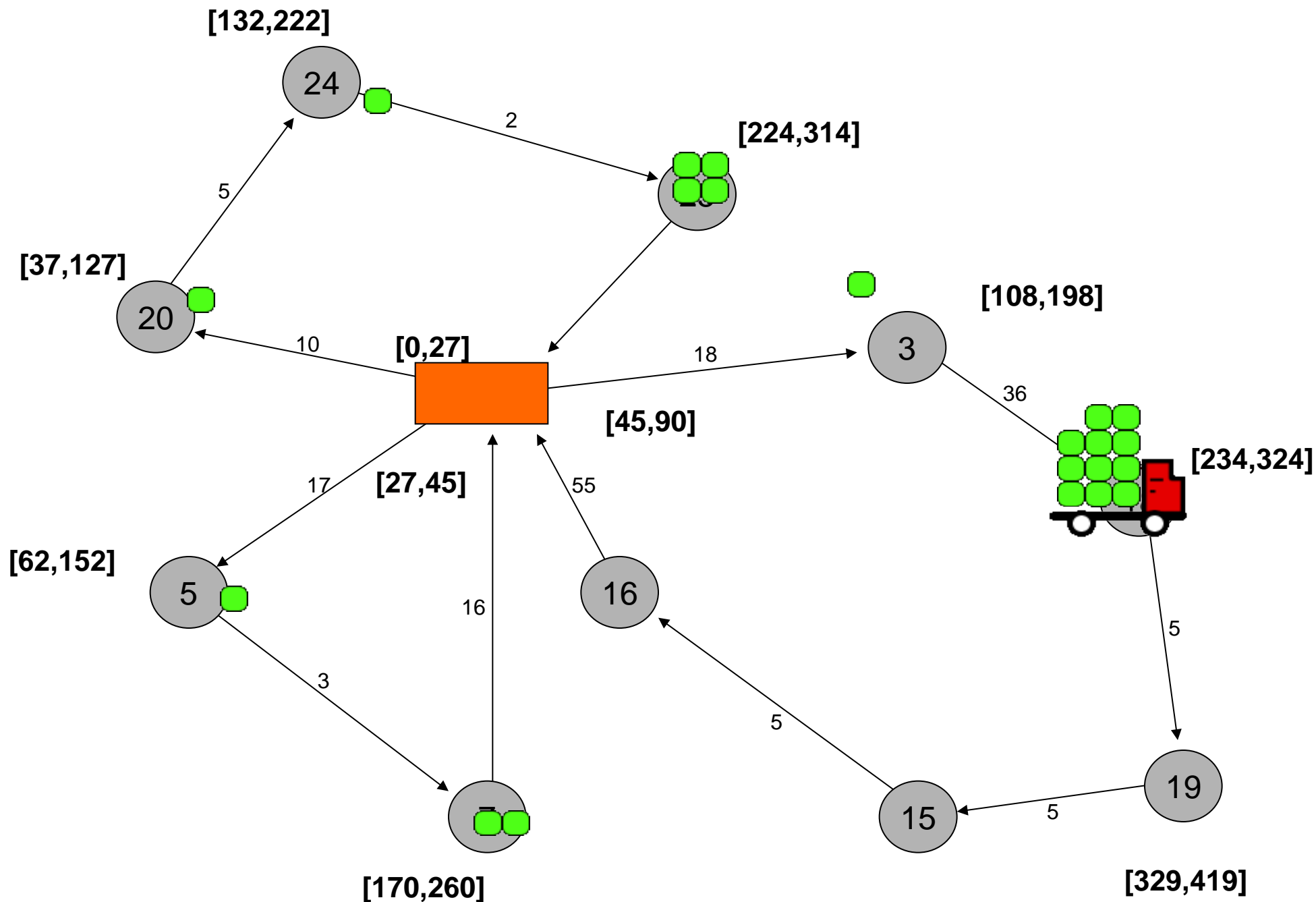


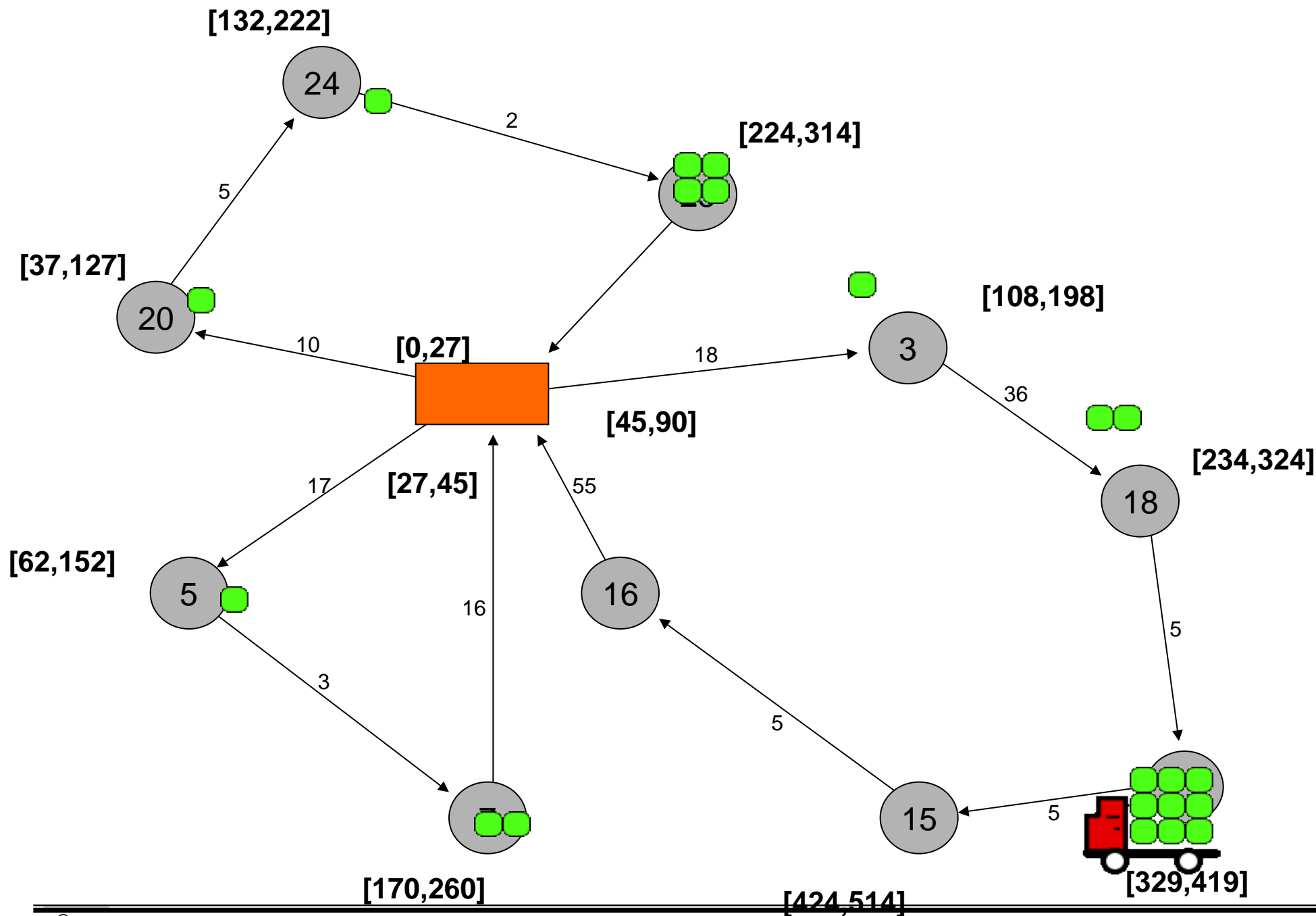


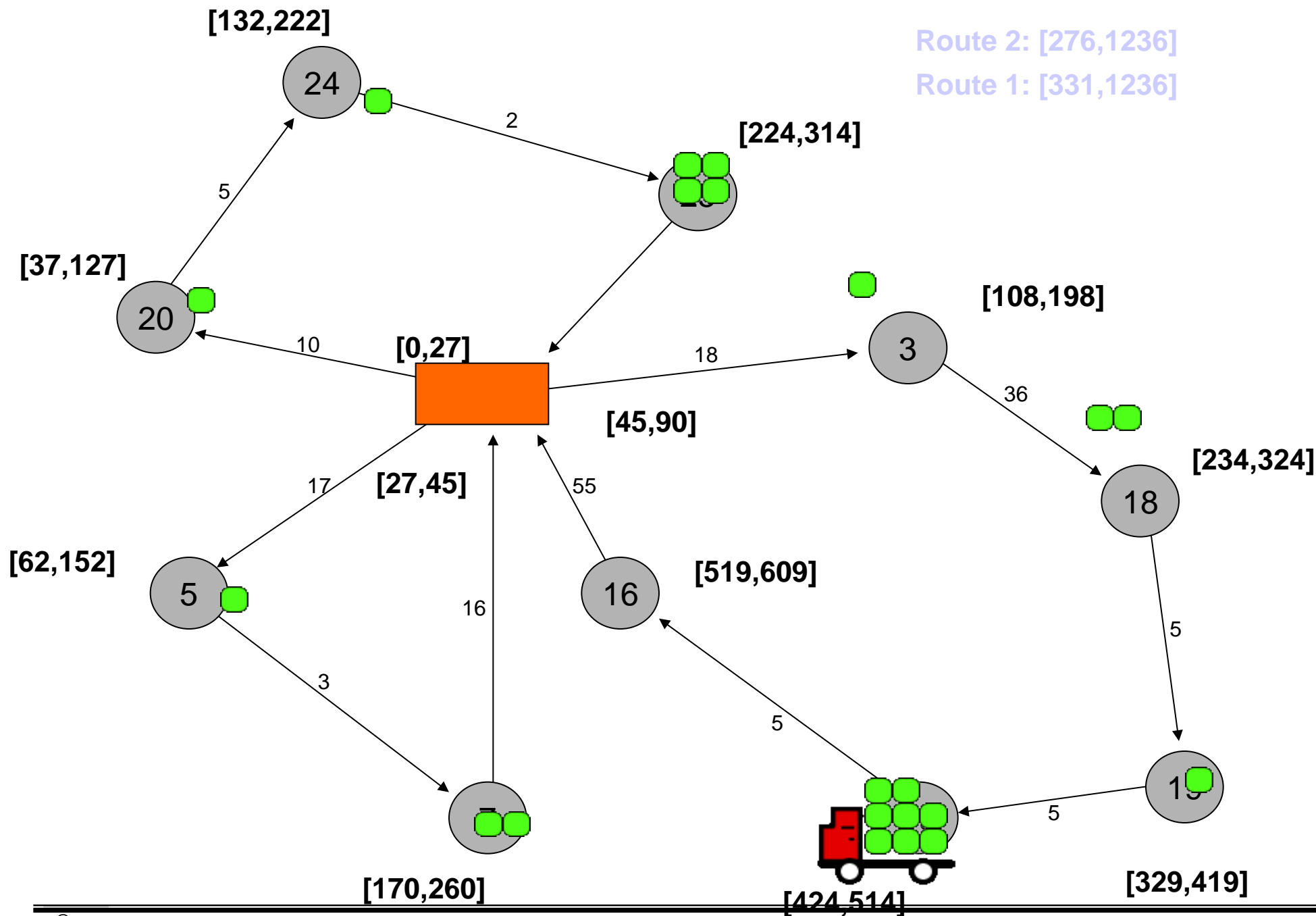


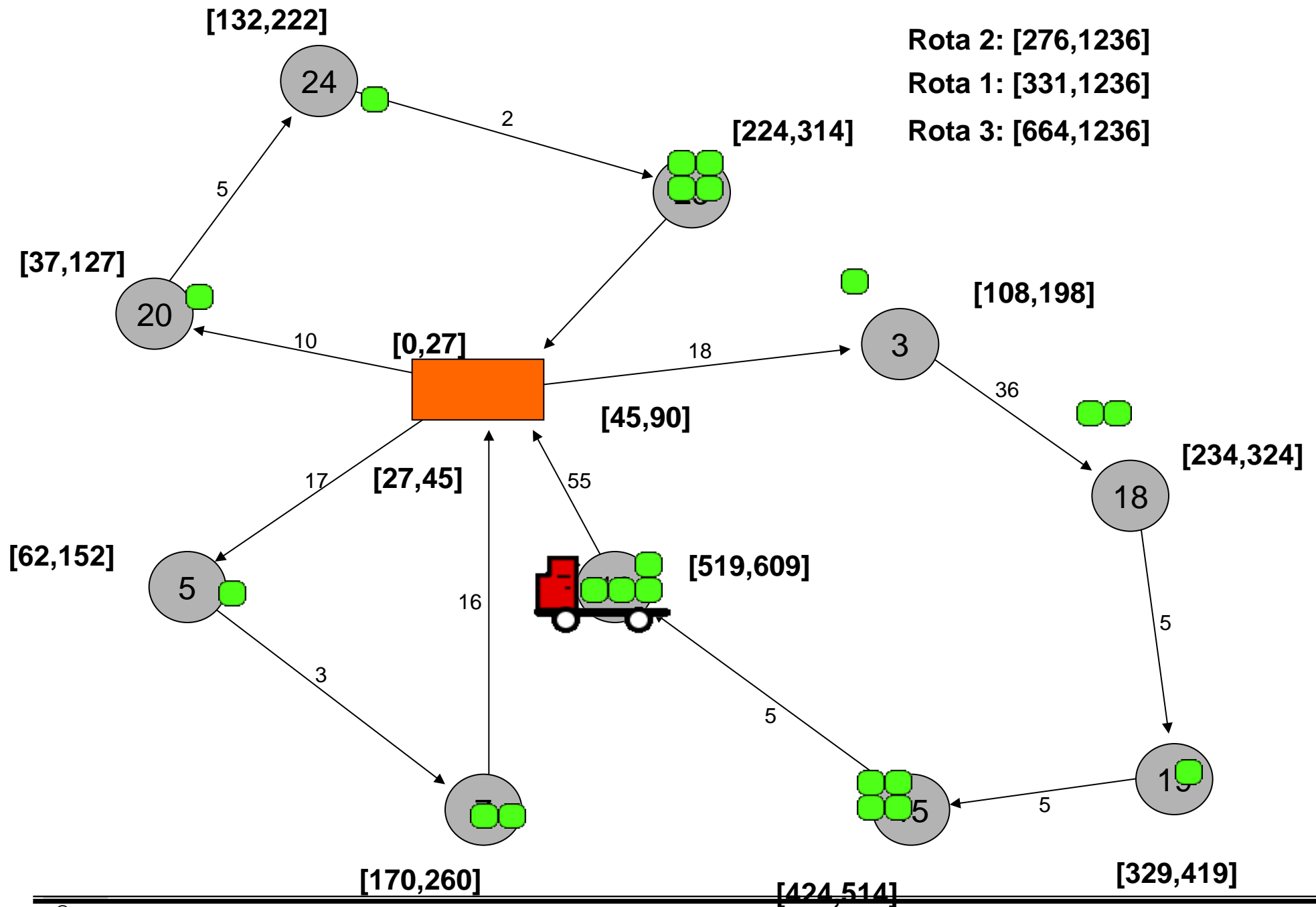












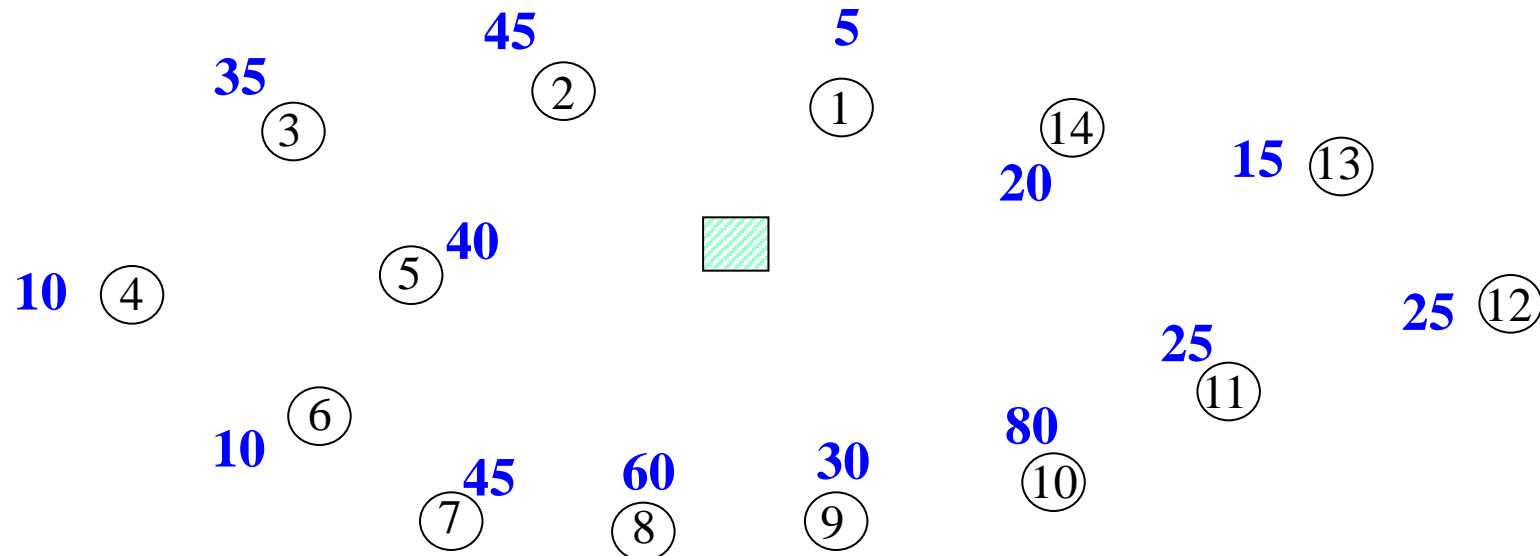
The graph displays a complex network structure with 65 nodes and numerous edges. The nodes are numbered 1 through 65. The edges are colored in blue, red, green, and yellow, suggesting different categories or weights. The graph shows a central hub node (29) connected to many other nodes, with various clusters and paths forming around it.

Inputs:

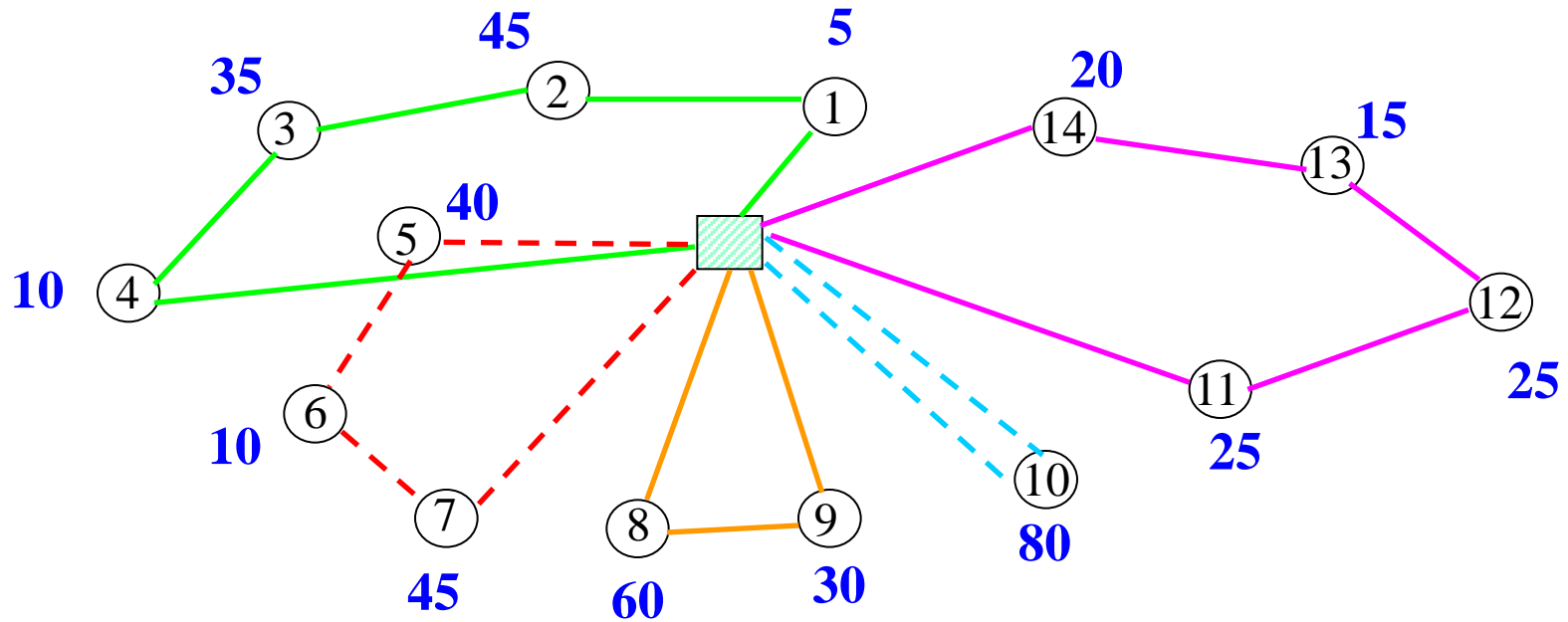
- n = número de pontos a serem atendidos
- K = número de veículos disponíveis
- c_{ij} = custo de ir do ponto i para j
- d_i = demanda no ponto i
- Q_k = capacidade do veículo k

$$n=14, K=5, Q_k=100$$

$$\sum_{i=1}^{14} d_i = 445 \Rightarrow 445 \div 100 = 4,45veic \Rightarrow 5veic$$



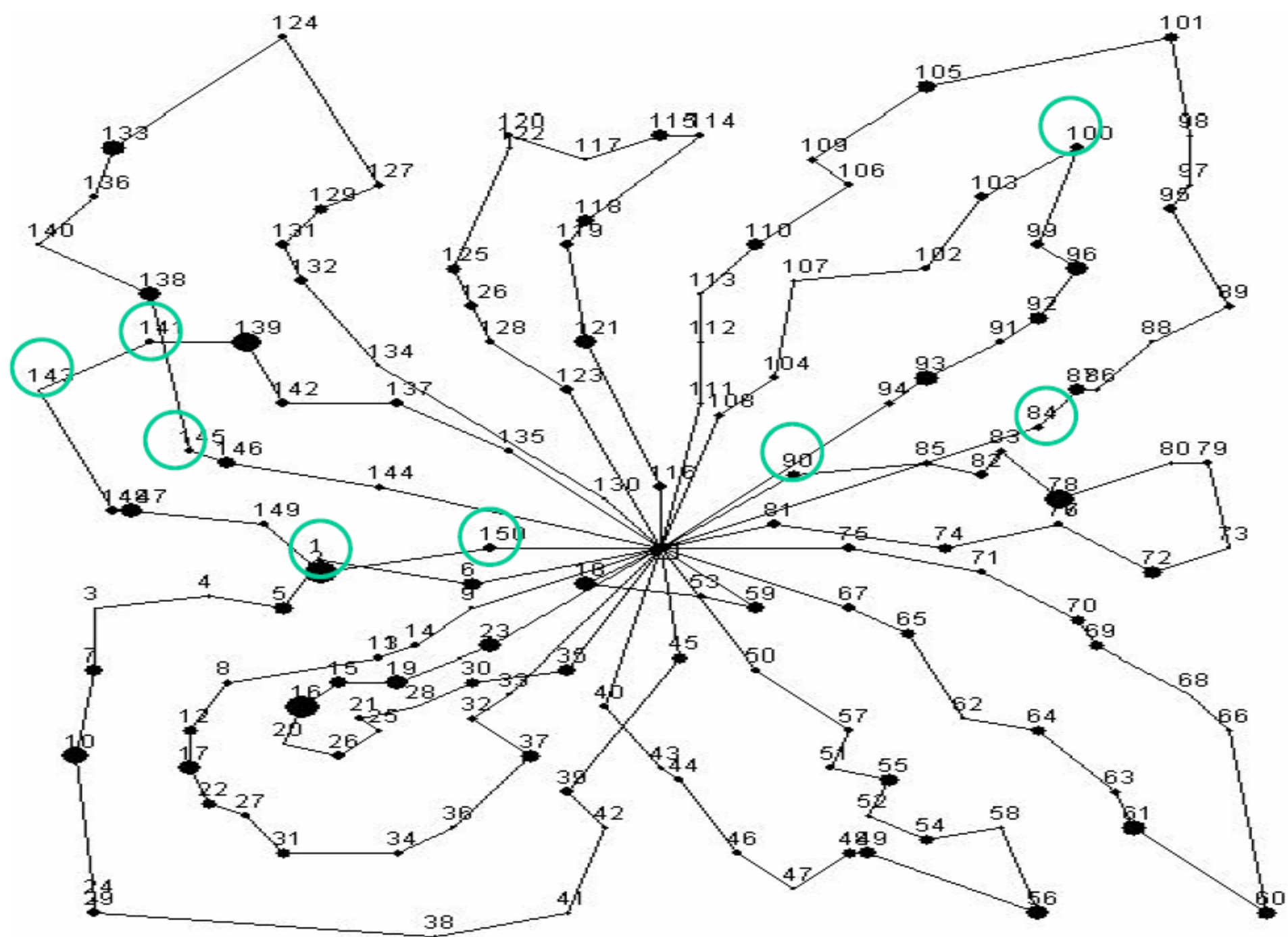
Uma solução



Cada ponto é visitado uma única vez (por um único veículo)

A capacidade do veículo não é violada

O roteiro do veículo k começa no depósito, passa pelos clientes e retorna ao depósito.



FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

min

$$\sum_{v=1}^{NV} \sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^{N+1} C_d^v d_{ij} x_{ij}^v + \sum_{v=1}^{NV} \sum_{j=1}^{N+1} (T_i + s_i + t_{i,N+1}) C_h^v x_{i,N+1}^v + \sum_{v=1}^{NV} \sum_{j=1}^N C_f^v x_{oj}^v$$

s.a

$$\sum_{v=1}^{NV} \sum_{j=1}^{N+1} x_{ij}^v = 1$$

$$a_i \leq T_i \leq b_i$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^N q_j x_{ij}^v \leq K^v$$

$$T_i + s_i + t_{ij} - T_j \leq (1 - x_{ij}^v) M$$

$$x_{ij}^v \in \{0,1\}$$

PROBLEMAS NP-DIFÍCEIS

- NP-hard (“*non polinomial*”)
- esforço computacional cresce exponencialmente com o tamanho do problema
- impossível resolver instâncias reais através de métodos exatos (não obtém solução ótima)
- muitos problemas NP-difíceis são problemas combinatórios de Programação Inteira (PI) (roteirização, programação, localização)

Complexidade da Solução

N	Roteiros
1	1
2	2
3	6
4	24
5	120
6	720
7	5.040
8	40.320
9	362.880
10	3.628.800
11	39.916.800
12	479.001.600
13	6.227.020.800
14	87.178.291.200
15	1.307.674.368.000
16	20.922.789.888.000
17	355.687.428.096.000
18	6.402.373.705.728.000
19	121.645.100.408.832.000
20	2.432.902.008.176.640.000

HEURÍSTICA

- procedimento para a resolução de problemas, através de uma abordagem intuitiva, na qual a estrutura de problema possa ser interpretada e explorada de forma inteligente, para a obtenção de uma solução adequada
- não garante a determinação da solução ótima
 - às vezes nem a variação em relação ao ótimo
- muito específica - desenhada para cada problema

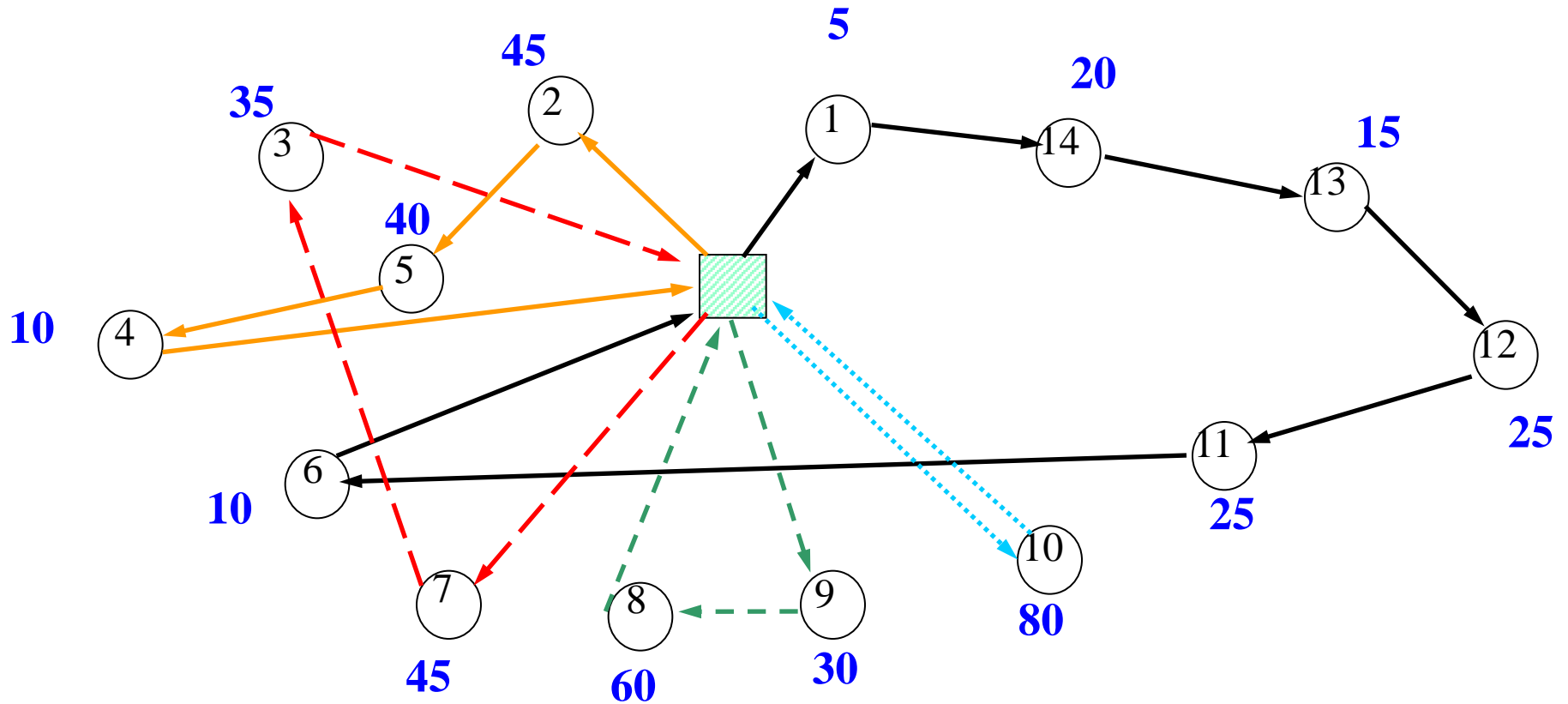
HEURÍSTICA DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO

- *Passo 1:* Selecionar um veículo disponível. Caso não haja mais veículos, parar
- *Passo 2:* Selecionar o ponto (parada) não roteirizado mais próximo do depósito.
- *Passo 3:* Se a capacidade do veículo não for ultrapassada, incluir o ponto selecionado no roteiro.
- *Passo 4:* Selecionar o ponto não atendido que esteja mais próximo do último ponto inserido no roteiro, verificando a capacidade do veículo.

Caso não seja possível encontrar nenhum ponto que possa ser inserido no veículo corrente, voltar para o Passo 1.

Parar, caso todos os pontos já tenham sido atendidos.

Vizinho mais próximo

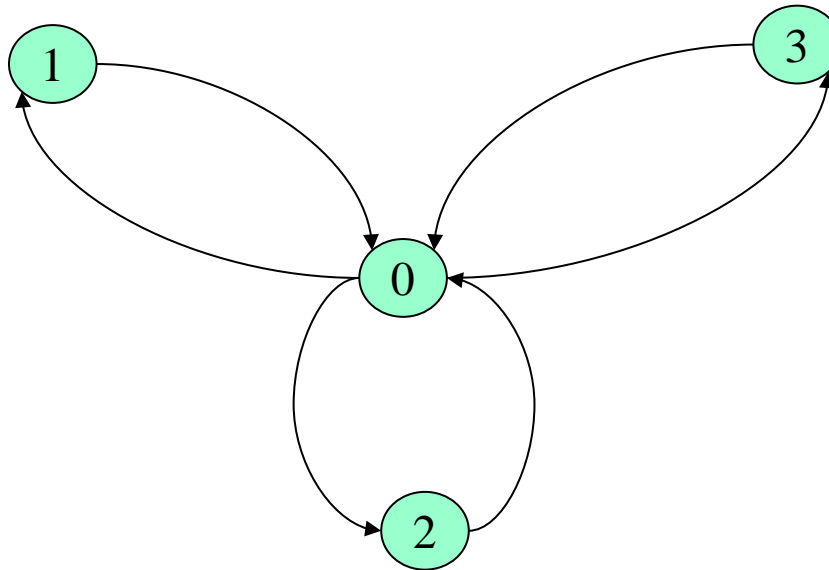


Sequência de montagem do vizinho mais próximo

- Rota 1: 1-14-13-12-11-6
- Rota 2: 2-5-4
- Rota 3: 9-8
- Rota 4: 10
- Rota 5: 7-3

Heurística de Clarke e Wright

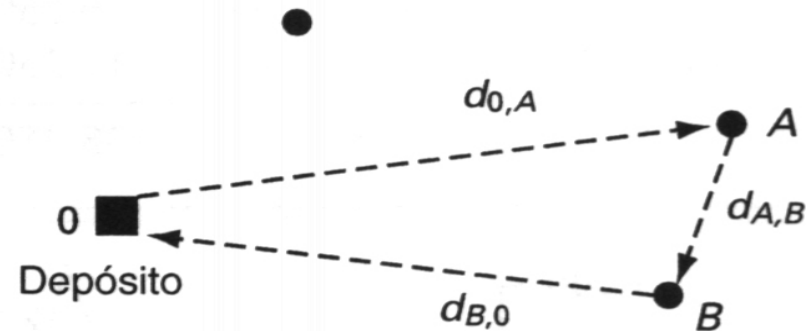
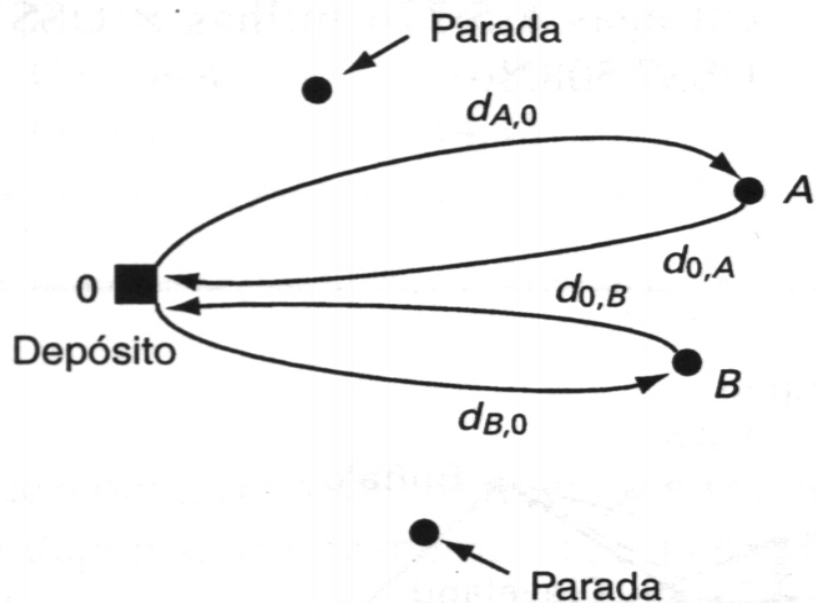
Começar com uma solução inicial onde cada ponto é atendido individualmente do depósito



Clarke G. and J. W. Wright (1964) “Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points,”
Operations Research, vol. 12, pp. 568-581.

Cálculo de economias

- Calcular a economia de distância ao unir dois pontos quaisquer A e B

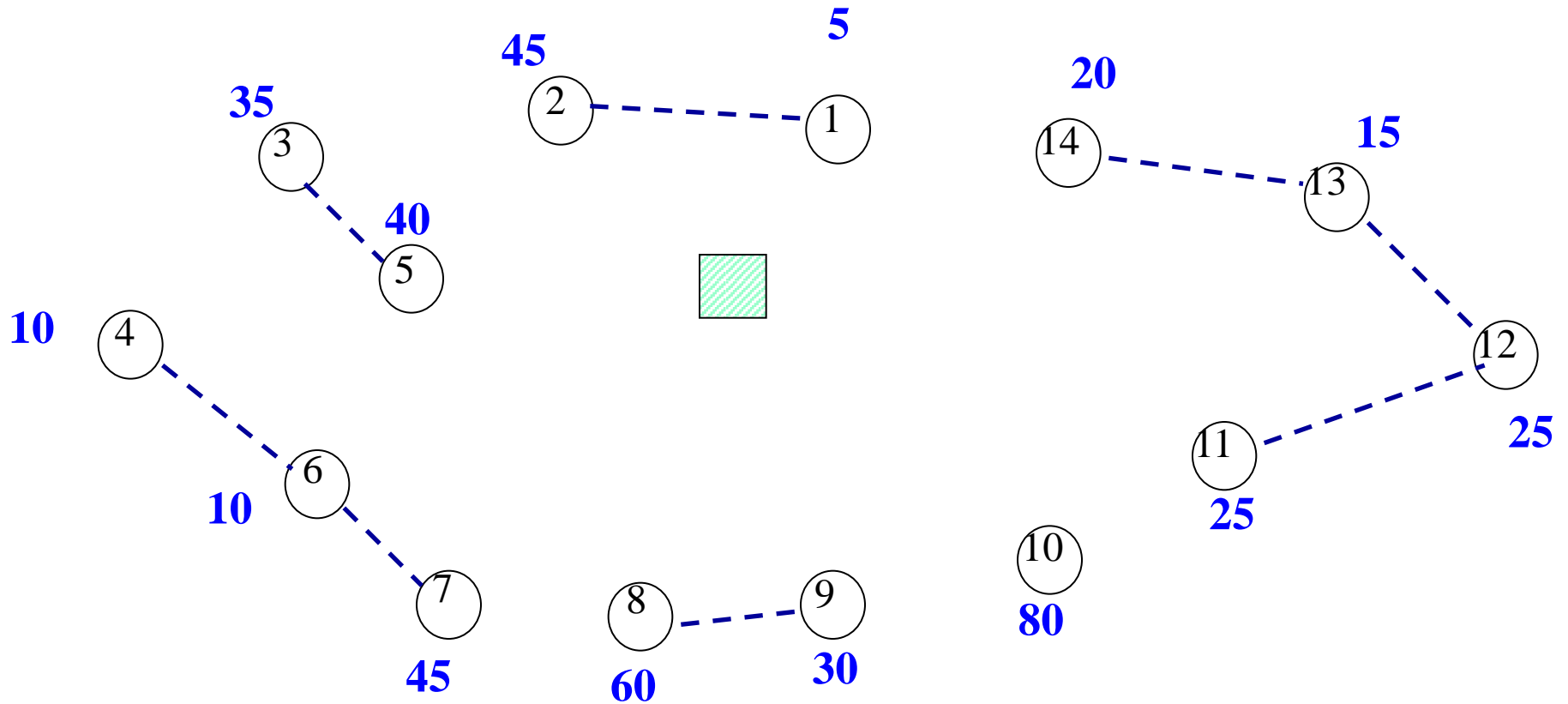


$$s_{A,B} = \text{antes} - \text{depois} = (2d_{0,A} + 2d_{B,0}) - (d_{0,A} + d_{A,B} + d_{B,0}) = d_{0,A} + d_{B,0} - d_{A,B}$$

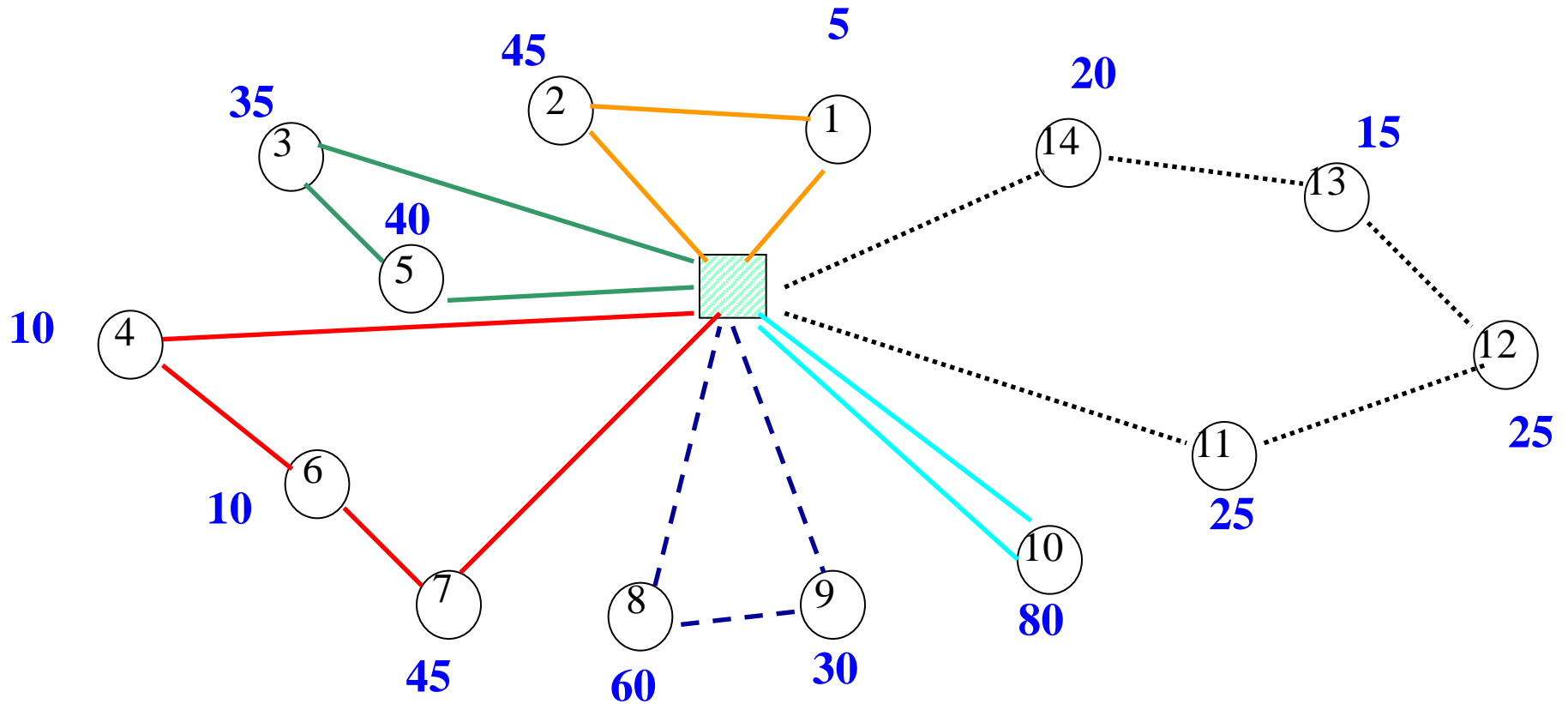
Procedimento

1. Escolher um veículo
2. Calcular as economias s_{ij} para todos os pares de pontos
3. Escolher o par (i, j) com a maior economia
4. Unir os pontos i e j formando um sub-roteiro se:
 - Tanto i quanto j devem estar ligados diretamente ao depósito
 - Tanto i quanto j não façam parte do mesmo roteiro
 - A capacidade do veículo não pode ser violada pela união de i e j , considerando todos os pontos já ligados ao ponto i e ao ponto j
5. Se todas as economias positivas tiverem sido examinadas, parar.

Heurística de Economias



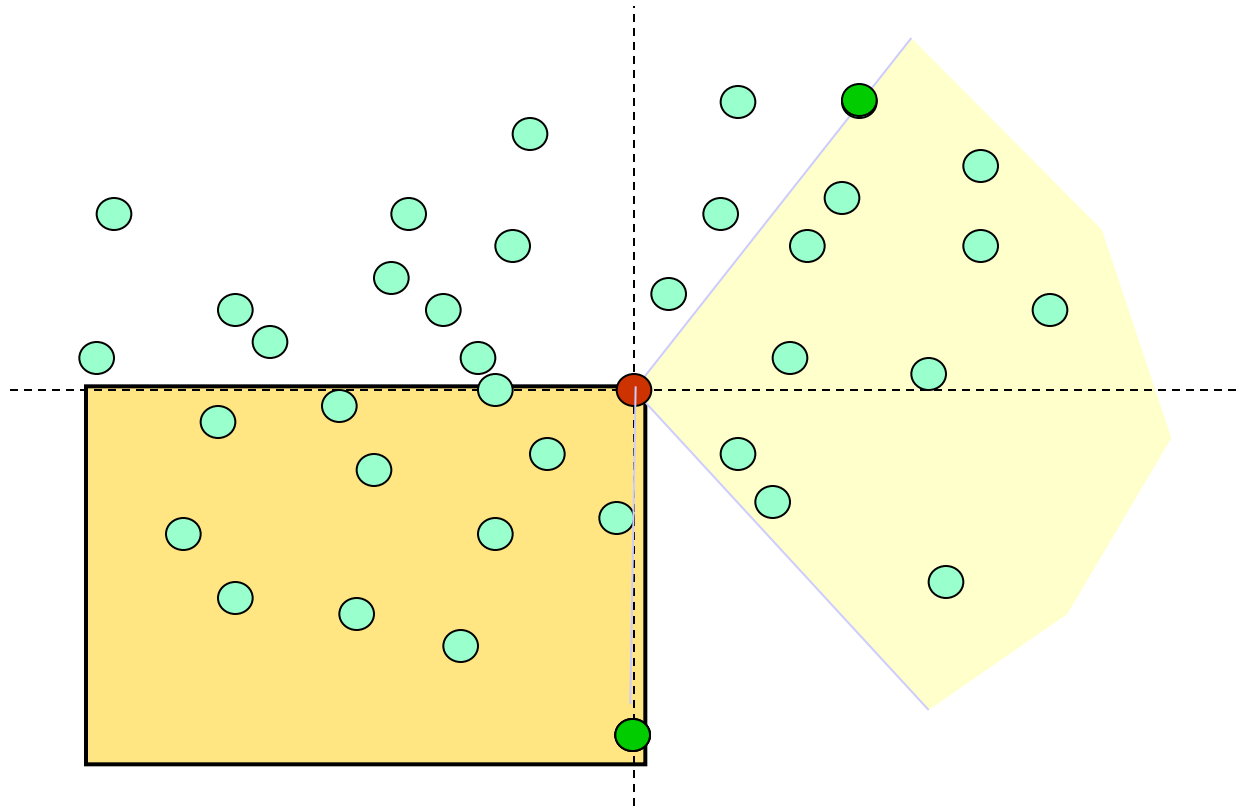
Heurística de Economias



Método da Varredura Angular

- Também conhecido como algoritmo de Gillet e Miller
- Procedimento:
 - Selecionar um veículo
 - Escolher um ponto como referência e considerar a reta definida por esse ponto e o depósito (reta essa que define um eixo)
 - Para cada ponto não atendido, calcular as coordenadas polares em relação à esse eixo:
 - Ângulo polar em relação à reta
 - Raio (distância) em relação ao depósito
 - Ordenar todos os pontos não atendidos em ordem crescente de ângulo polar
 - Varrer a lista ordenada de pontos, inserindo-os no veículo selecionado até que a capacidade tenha sido atingida ou não seja possível inserir pontos
 - Resolver o problema de caixeiro viajante resultante
 - Repetir todo o procedimento acima, iniciando do ponto não atendido com menor ângulo polar até que todos os pontos tenham sido atendidos por algum veículo.

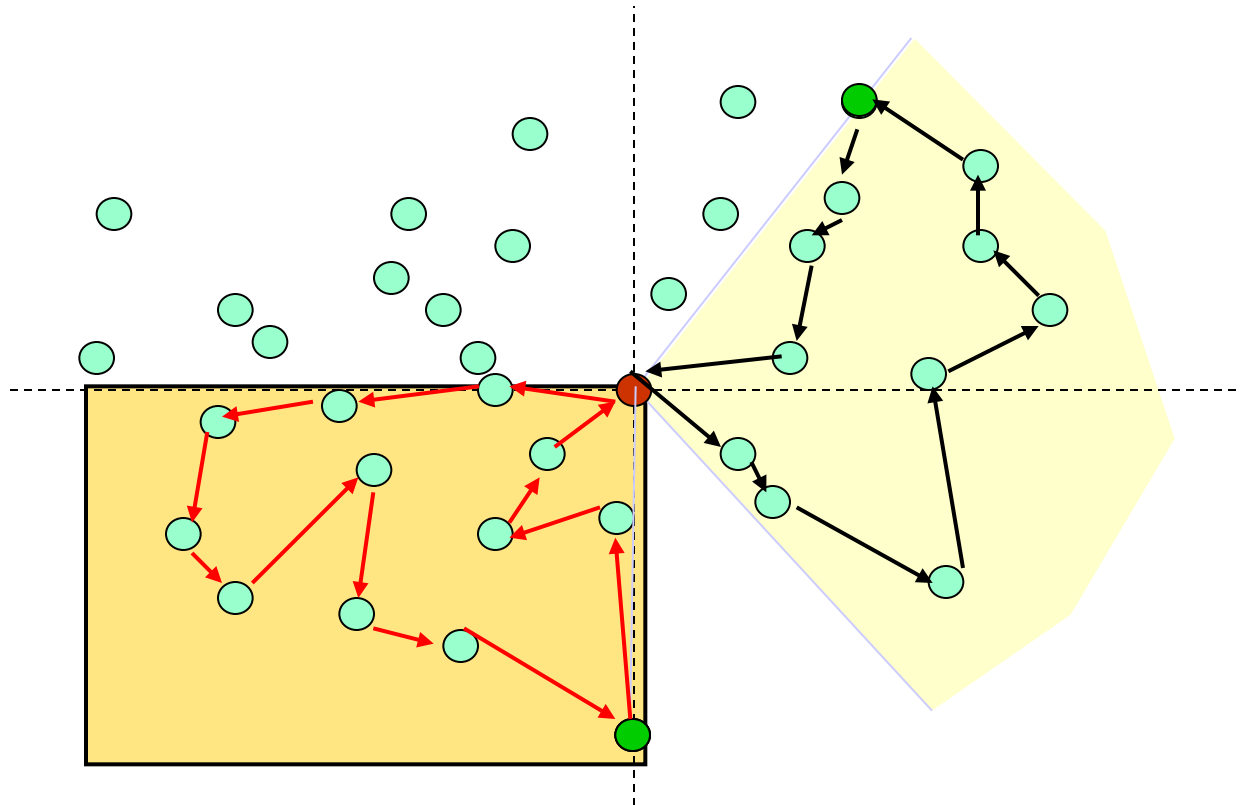
Heurística de Varredura (Sweep) - Fase I



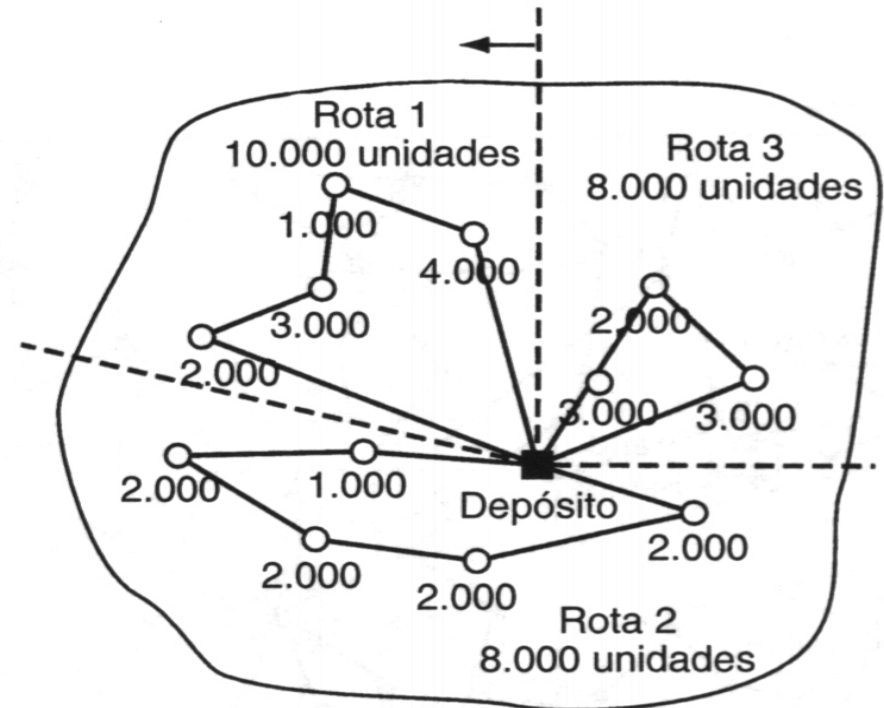
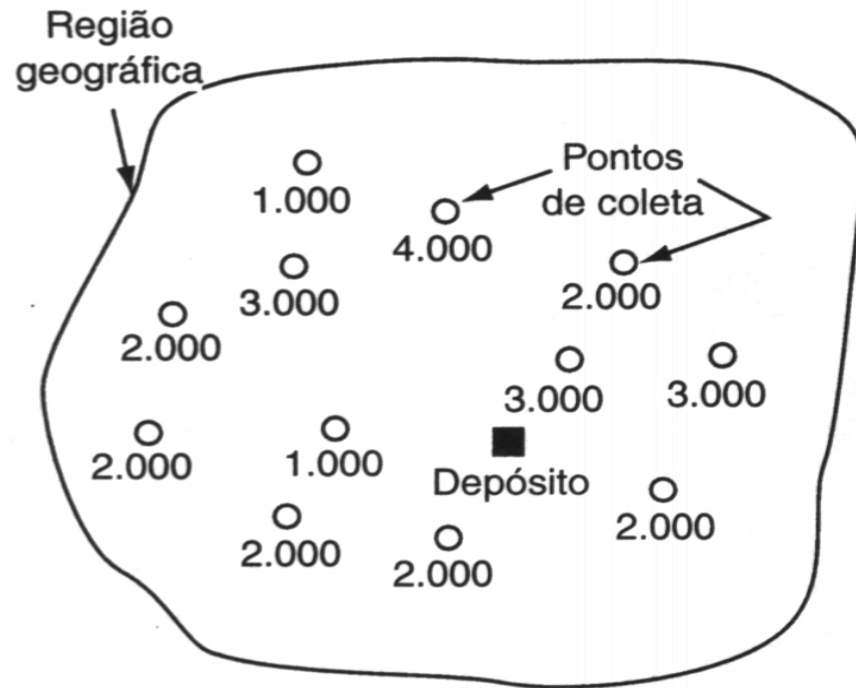
Gillett B. and L. Miller (1974) “A Heuristic Algorithm for the Vehicle Routing Problem,” *Operations Research*, vol. 22, pp. 340-349.

Heurística de Varredura (Sweep) - Fase II

Resolver o problema de Caixeiro Viajante para cada grupo



Método da Varredura



Pontos de entrega

Ponto	Demanda (t)	X	Y
0	0,0	9	15
1	6,0	9	27
2	3,0	7	25
3	4,0	12	24
4	4,0	11	21
5	1,0	2	13
6	2,0	4	9
7	1,0	7	10
8	2,0	9	5
9	5,0	13	8

28,0

Exemplo de aplicação

Frota de veículos

Veículo	Capacidade (t)	Frota	Custo Fixo (R\$/dia)	Custo Variável (R\$/km)
Pequeno	6,0	3	64,00	0,32
Grande	12,0	3	100,00	0,41

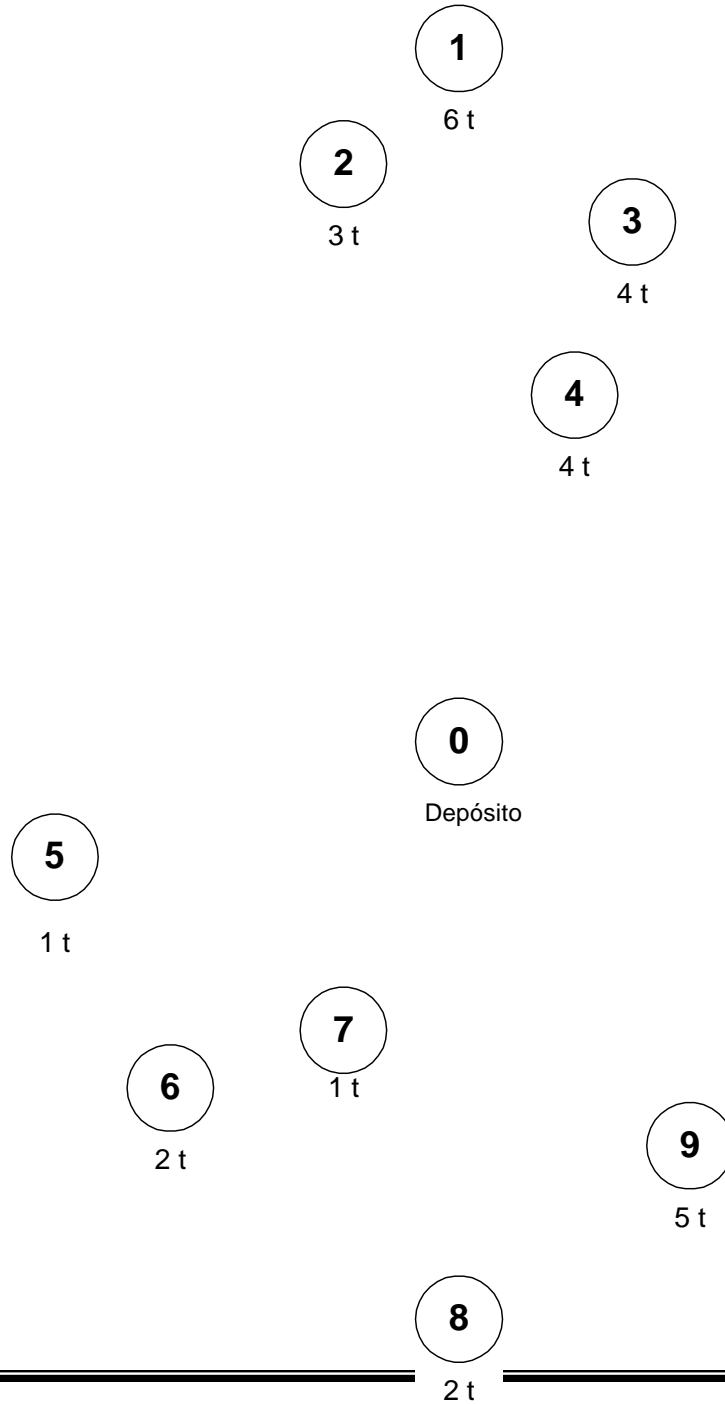


TABELA DE DISTÂNCIAS ENTRE PONTOS

Origem	Destino									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	12,0	10,2	9,5	6,3	7,3	7,8	5,4	10,0	8,1
1	12,0	-	2,8	4,2	6,3	15,7	18,7	17,1	22,0	19,4
2	10,2	2,8	-	5,1	5,7	13,0	16,3	15,0	20,1	18,0
3	9,5	4,2	5,1	-	3,2	14,9	17,0	14,9	19,2	16,0
4	6,3	6,3	5,7	3,2	-	12,0	13,9	11,7	16,1	13,2
5	7,3	15,7	13,0	14,9	12,0	-	4,5	5,8	10,6	12,1
6	7,8	18,7	16,3	17,0	13,9	4,5	-	3,2	6,4	9,1
7	5,4	17,1	15,0	14,9	11,7	5,8	3,2	-	5,4	6,3
8	10,0	22,0	20,1	19,2	16,1	10,6	6,4	5,4	-	5,0
9	8,1	19,4	18,0	16,0	13,2	12,1	9,1	6,3	5,0	-



6 t



3 t



4 t



4 t



Depósito



1 t



2 t



1 t



5 t



2 t



6 t



3 t



4 t



4 t



Depósito



1 t



2 t



1 t



5 t



2 t



6 t



3 t



4 t



4 t



Depósito



1 t



2 t



1 t

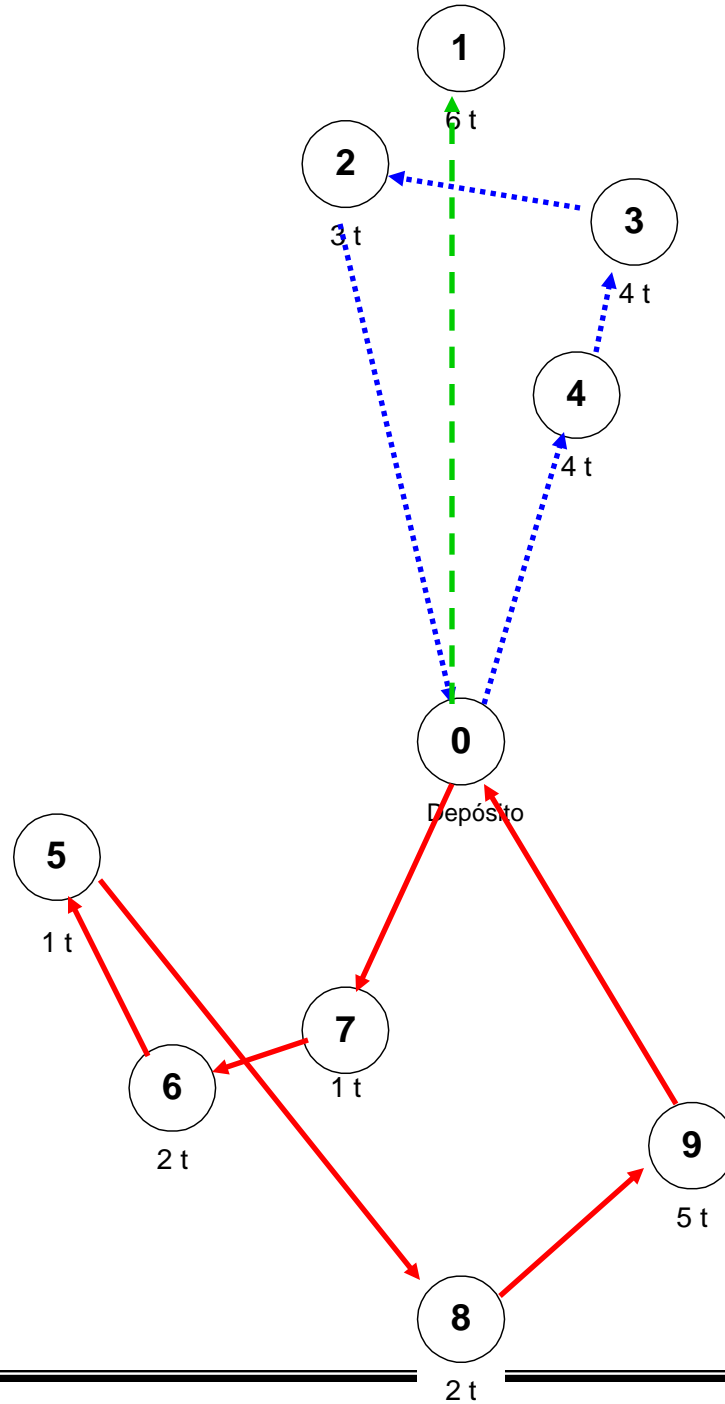


5 t



2 t

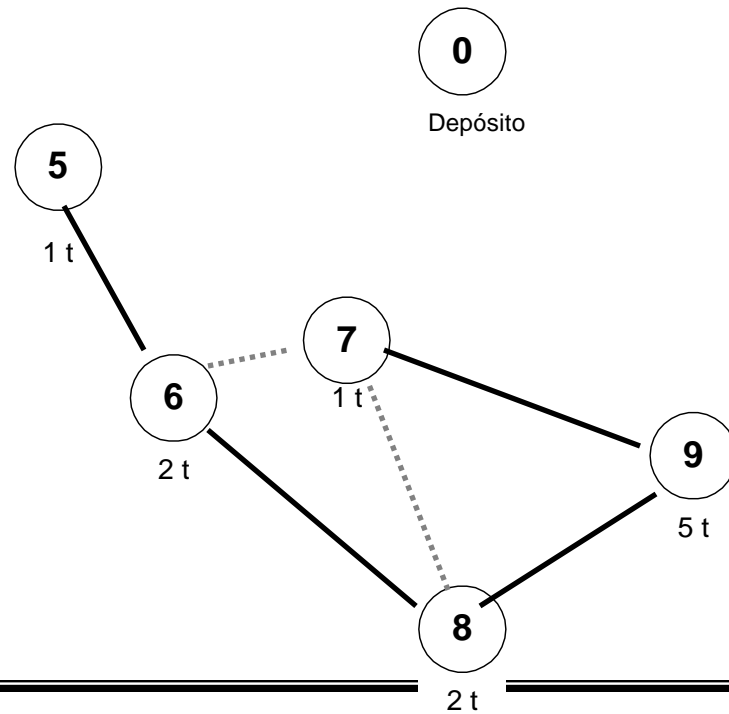
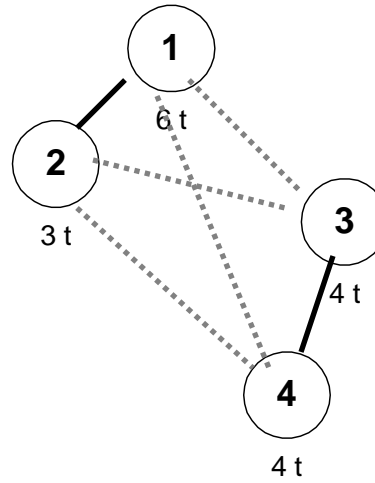
Vizinho mais próximo



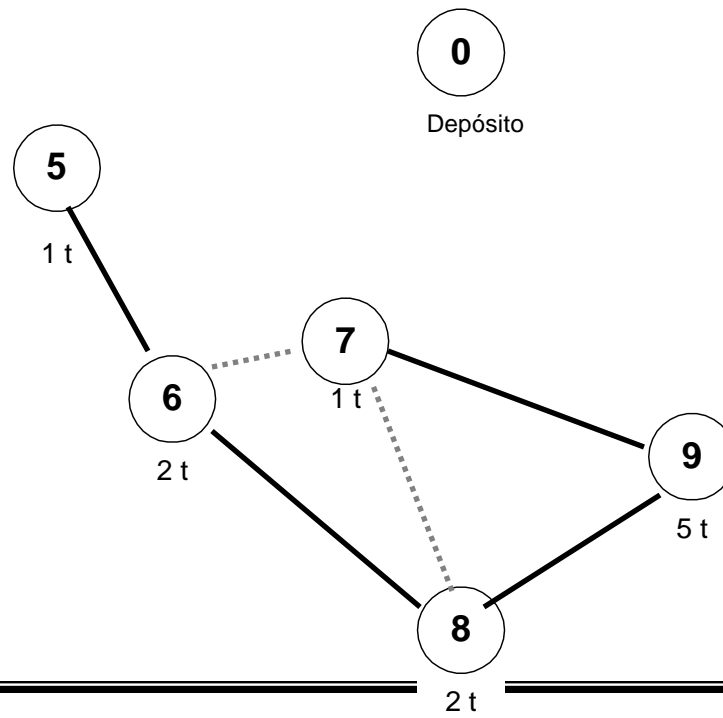
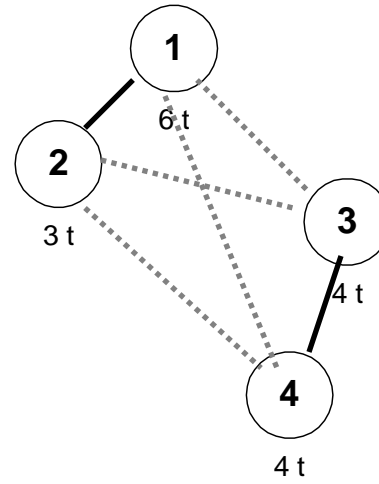
Economias (Clarke e Wright)

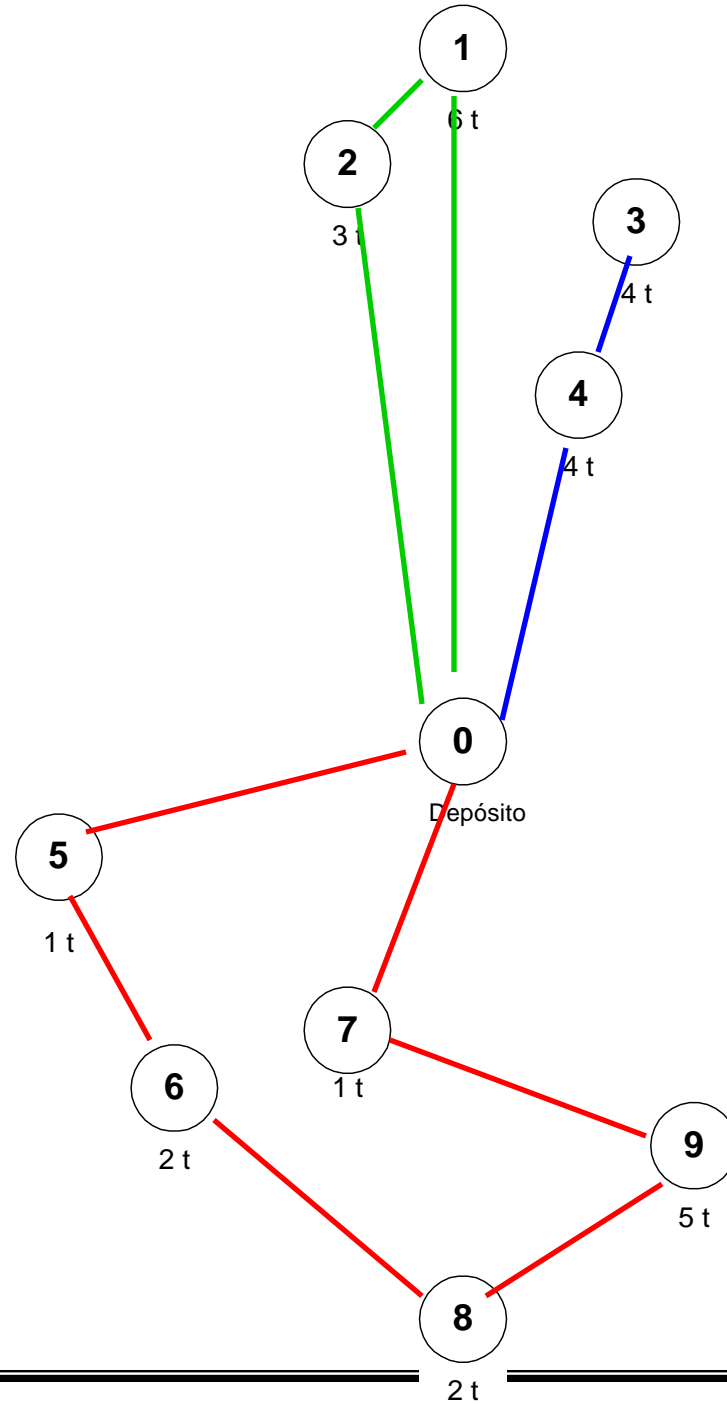
i	j	dij	d0i	dj0	economia
1	2	2,8	12,0	10,2	19,4
1	3	4,2	12,0	9,5	17,2
2	3	5,1	10,2	9,5	14,6
8	9	5,0	10,0	8,1	13,1
3	4	3,2	9,5	6,3	12,6
1	4	6,3	12,0	6,3	12,0
6	8	6,4	7,8	10,0	11,4
2	4	5,7	10,2	6,3	10,9
5	6	4,5	7,3	7,8	10,6
6	7	3,2	7,8	5,4	10,0
7	8	5,4	5,4	10,0	10,0
7	9	6,3	5,4	8,1	7,1
5	7	5,8	7,3	5,4	6,8
6	9	9,1	7,8	8,1	6,8
5	8	10,6	7,3	10,0	6,6
2	5	13,0	10,2	7,3	4,5
1	5	15,7	12,0	7,3	3,6
5	9	12,1	7,3	8,1	3,3
3	5	14,9	9,5	7,3	1,9

i	j	d_{ij}	d_{0i}	d_{j0}	economia
2	6	16,3	10,2	7,8	1,7
4	5	12,0	6,3	7,3	1,6
3	9	16,0	9,5	8,1	1,5
4	9	13,2	6,3	8,1	1,2
1	6	18,7	12,0	7,8	1,1
1	9	19,4	12,0	8,1	0,6
2	7	15,0	10,2	5,4	0,6
3	6	17,0	9,5	7,8	0,3
1	7	17,1	12,0	5,4	0,3
3	8	19,2	9,5	10,0	0,3
4	6	13,9	6,3	7,8	0,2
2	9	18,0	10,2	8,1	0,2
4	8	16,1	6,3	10,0	0,2
2	8	20,1	10,2	10,0	0,1
3	7	14,9	9,5	5,4	0,0



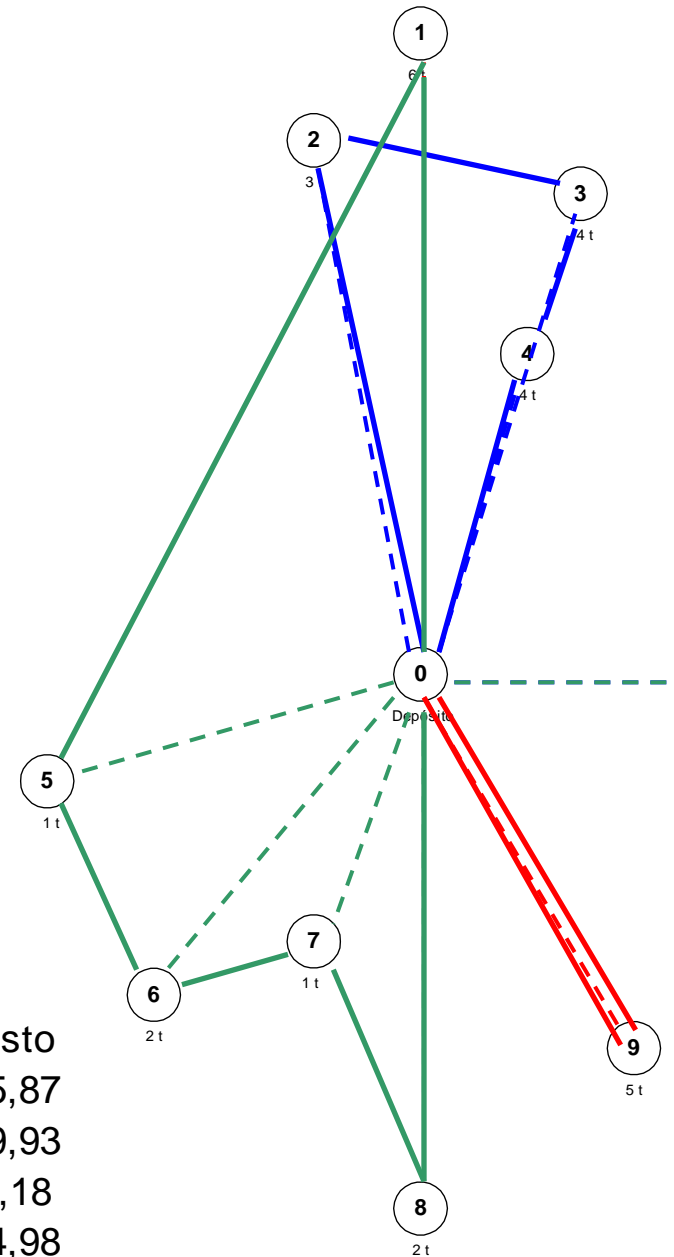
i	j	dij	d0i	dj0	economia
1	2	2.8	12.0	10.2	19.4
1	3	4.2	12.0	9.5	17.2
2	3	5.1	10.2	9.5	14.6
8	9	5.0	10.0	8.1	13.1
3	4	3.2	9.5	6.3	12.6
1	4	6.3	12.0	6.3	12.0
6	8	6.4	7.8	10.0	11.4
2	4	5.7	10.2	6.3	10.9
5	6	4.5	7.3	7.8	10.6
6	7	3.2	7.8	5.4	10.0
7	8	5.4	5.4	10.0	10.0
7	9	6.3	5.4	8.1	7.1
5	7	5.8	7.3	5.4	6.8
6	9	9.1	7.8	8.1	6.8
5	8	10.6	7.3	10.0	6.6
2	5	13.0	10.2	7.3	4.5
1	5	15.7	12.0	7.3	3.6
5	9	12.1	7.3	8.1	3.3
3	5	14.9	9.5	7.3	1.9
2	6	16.3	10.2	7.8	1.7
4	5	12.0	6.3	7.3	1.6
3	9	16.0	9.5	8.1	1.5
4	9	13.2	6.3	8.1	1.2
1	6	18.7	12.0	7.8	1.1
1	9	19.4	12.0	8.1	0.6
2	7	15.0	10.2	5.4	0.6
3	6	17.0	9.5	7.8	0.3
1	7	17.1	12.0	5.4	0.3
3	8	19.2	9.5	10.0	0.3
4	6	13.9	6.3	7.8	0.2
2	9	18.0	10.2	8.1	0.2
4	8	16.1	6.3	10.0	0.2
2	8	20.1	10.2	10.0	0.1
3	7	14.9	9.5	5.4	0.0
4	7	11.7	6.3	5.4	0.0





Varredura Angular

Ponto	Ângulo (°)	Ângulo Ajust
1	90	90
2	101	101
3	72	72
4	72	72
5	196	196
6	230	230
7	248	248
8	-90	270
9	-60	300



Varredura c/ Sequencia de Pontos (sentido anti-horário)

Pontos Selec	Roteiro	Carga (t)	Veiculo	Distancia	Custo
3-4-2-5	0-4-3-2-5-0	12,0	12t	38,7	115,87
1-6-7-8	0-1-6-7-8-0	11,0	12t	48,6	119,93
9	0-9-0	5,0	6t	16,2	69,18
					304,98

Método	Rota	Veículo	Sequência	Distância	Custo
Vizinho mais proximo	1	12t	10-7-6-5-8-9-0	36,8	115,088
	2	12t	10-4-3-2-0	24,8	110,168
	3	6t	10-1-0	24	71,68
	tot			85,6	296,936
Economias	1	12t	0-2-1-0	25	110,25
	2	12t	0-4-3-0	19	107,79
	3	12t	0-7-9-8-6-5-0	34,9	114,309
	tot			78,9	332,349
Varredura	1	12t	0-4-3-2-5-0	38,7	115,867
	2	12t	0-1-6-7-8-0	48,6	119,926
	3	6t	10-9-0	16,2	69,184
	tot			103,5	304,977

Aspectos Práticos da Roteirização de Veículos

CARACTERÍSTICAS DOS ATENDIMENTOS

- **Horários de atendimento (janela de tempo)**
 - mais de uma por dia (8-10h e 14-16h),
 - rígida ou flexível (com penalização)
- **Tempo de atendimento**
 - fixo + variável (por quantidade)
 - taxas de carga/descarga
 - de acordo com o horário do dia
- **Solicitações/Demandas**
 - conhecidas antecipadamente
 - vão surgindo ao longo do dia
 - não conhecidas/conhecidas parcialmente

CARACTERÍSTICAS DOS ATENDIMENTOS

- **Tipo de operação**
 - só carga ou só descarga
 - carga e/ou descarga
- **Precedência**
 - “primeiro precisa coletar para depois entregar !”
- **Tipos de veículo que podem atender**
 - tamanho do veículo
 - tipo de equipamento (plataforma elevatória)
 - configuração (“sider)

CARACTERÍSTICAS DOS ATENDIMENTOS

- **Tipos de carga**
 - um
 - mais de um (carga refrigerada, térmica, seca)
- **Tratamento de clientes/atendimentos**
 - com prioridades para atendimento
 - clientes que não podem estar juntos na mesma rota
- **Clientes/atendimentos**
 - mudam todo dia ?
 - são fixos ?

CARACTERÍSTICAS DA OPERAÇÃO

- **Localização da frota**
 - uma base ou múltiplas bases de onde partem os veículos
- **Composição da frota**
 - homogênea ou heterogênea
- **Tamanho da frota**
 - fixo ou variável (tantos veículos quanto forem necessários)
- **Reaproveitamento de veículos**
 - (nova viagem caso retorne cedo)
- **Frota própria versus terceiros**
 - quais rotas atribuir a terceiros ?

CARACTERÍSTICAS DA OPERAÇÃO

- **Duração das rotas**
 - tempo, distância
- **Paradas para refeição e descanso**
 - em locais fixos ?
- **Horas extras**
 - Limite ?
 - Vale a pena ?
- **Distribuição homogênea da carga de trabalho**
 - evitar ter motoristas trabalhando muito e outros pouco

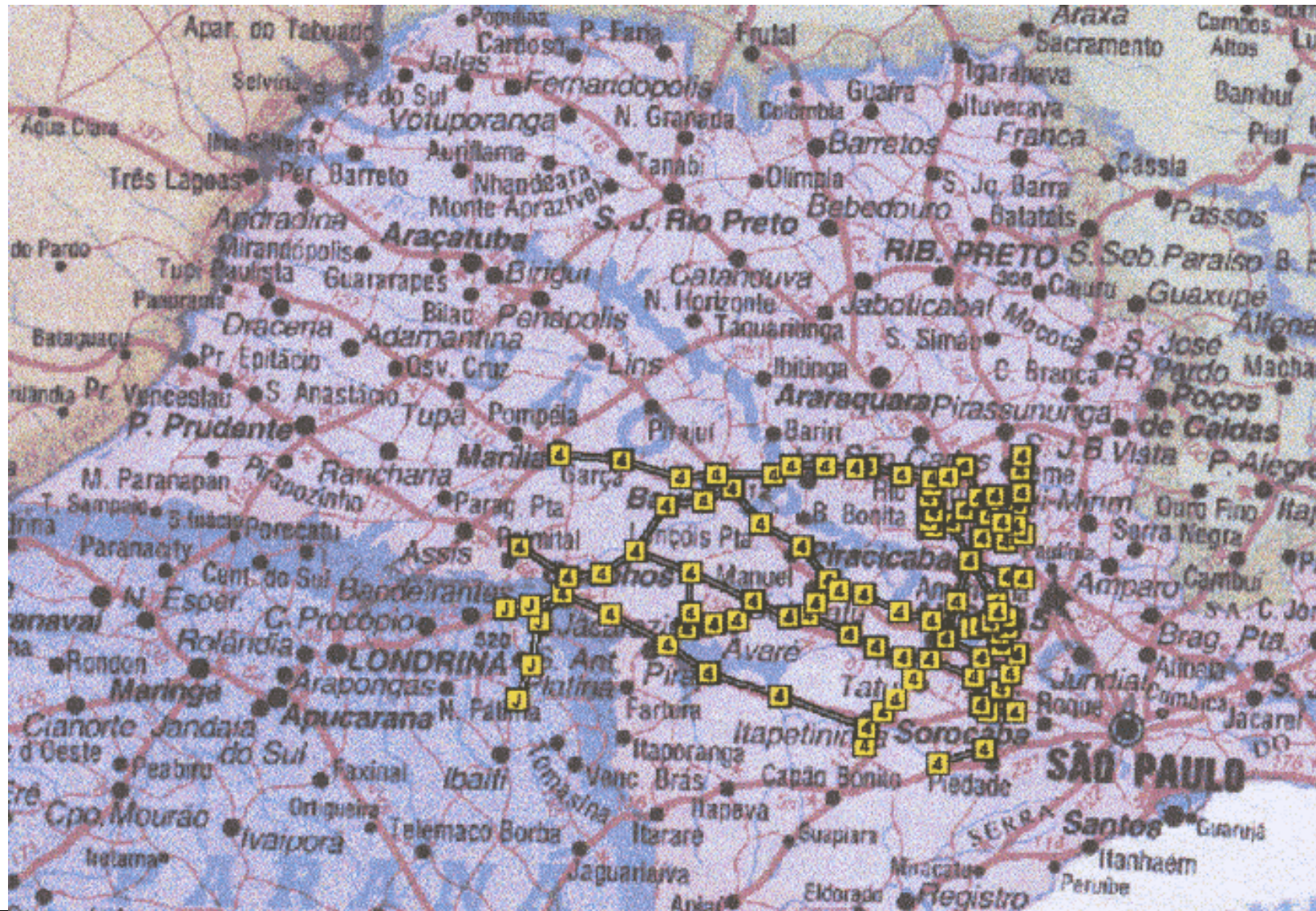
CARACTERÍSTICAS DA OPERAÇÃO

- **Rotas fixas ou variáveis ?** (mudam todos os dias)
- **Alteração de rotas**
 - (Mudanças dinâmicas caso receba novas solicitações)
- **Percurso predominante**
 - Áreas urbanas
 - Rodovias
- **Roteiros de atendimento vs roteiros de vendedores**

ASPECTOS PRÁTICOS QUE AFETAM A ROTEIRIZAÇÃO

- **Representação para cálculos de distâncias e tempos**
 - coordenadas - distâncias euclidianas
 - malha viária - mapas digitais
 - como obter ?
 - qualidade dos mapas
 - como atualizar ?
- **Cálculos de distâncias e tempos de viagem**
 - tempos de viagem - congestionamento- variação horária
 - caminhos: menor distância ou tempo ?

Representação de pontos no Roadshow

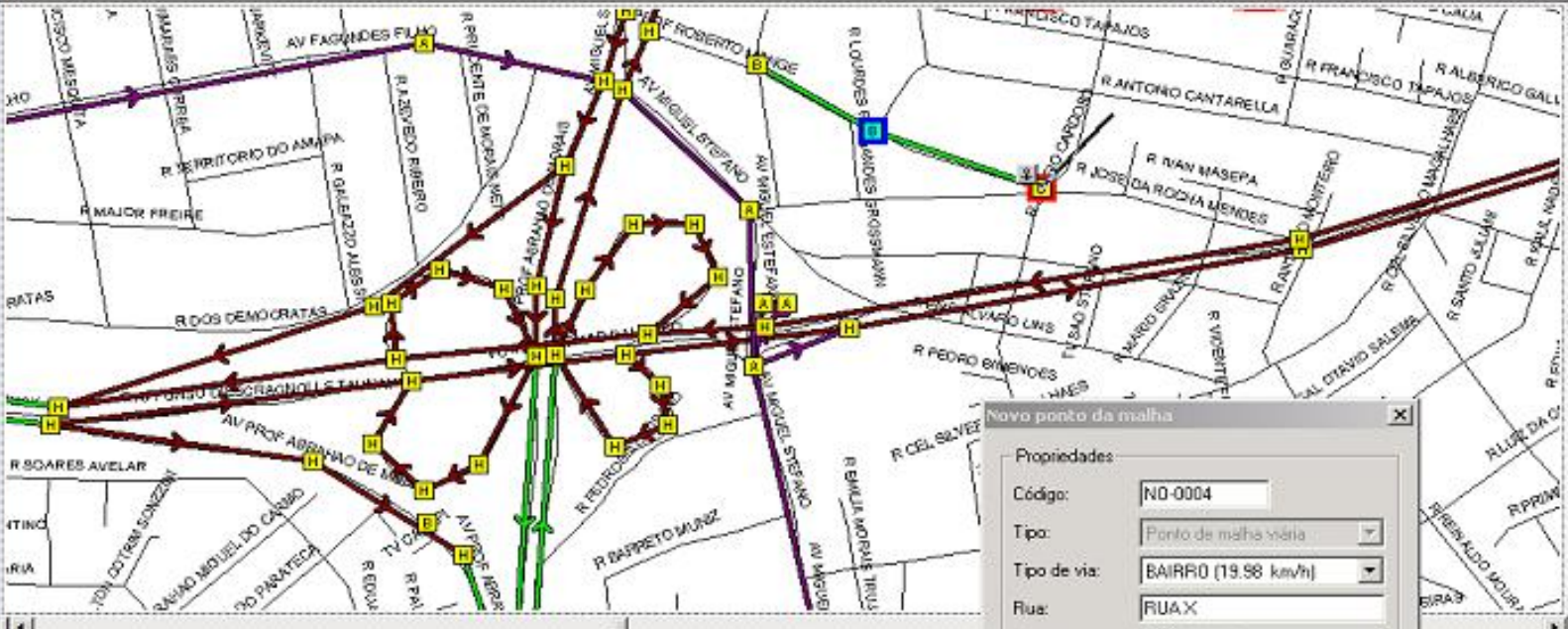


Cadastro Manual da Malha Viária

Roteirização Dinâmica/Roadshow 1.5 - [Malha - [MALHA VIARIA]]

Arquivo Editar Exibir Malha Mapa Ferramentas Janela Ajuda

23°37'36" S, 46°37'28" W 1.53 x 0.63 Km 100%



Novo ponto da malha

Propriedades:

Código: NO-0004

Tipo: Ponto de malha viária

Tipo de via: BAIRRO (19.98 km/h)

Rua: RUA X

Cidade: SÃO PAULO

Estado: SP

☒ Pontos de malha sequenciais

Nome da via: NO- Início

☒ Autoconectar com âncora

☒ Linha reta ☐ Mão única

☐ Utilizar fator sinuosidade

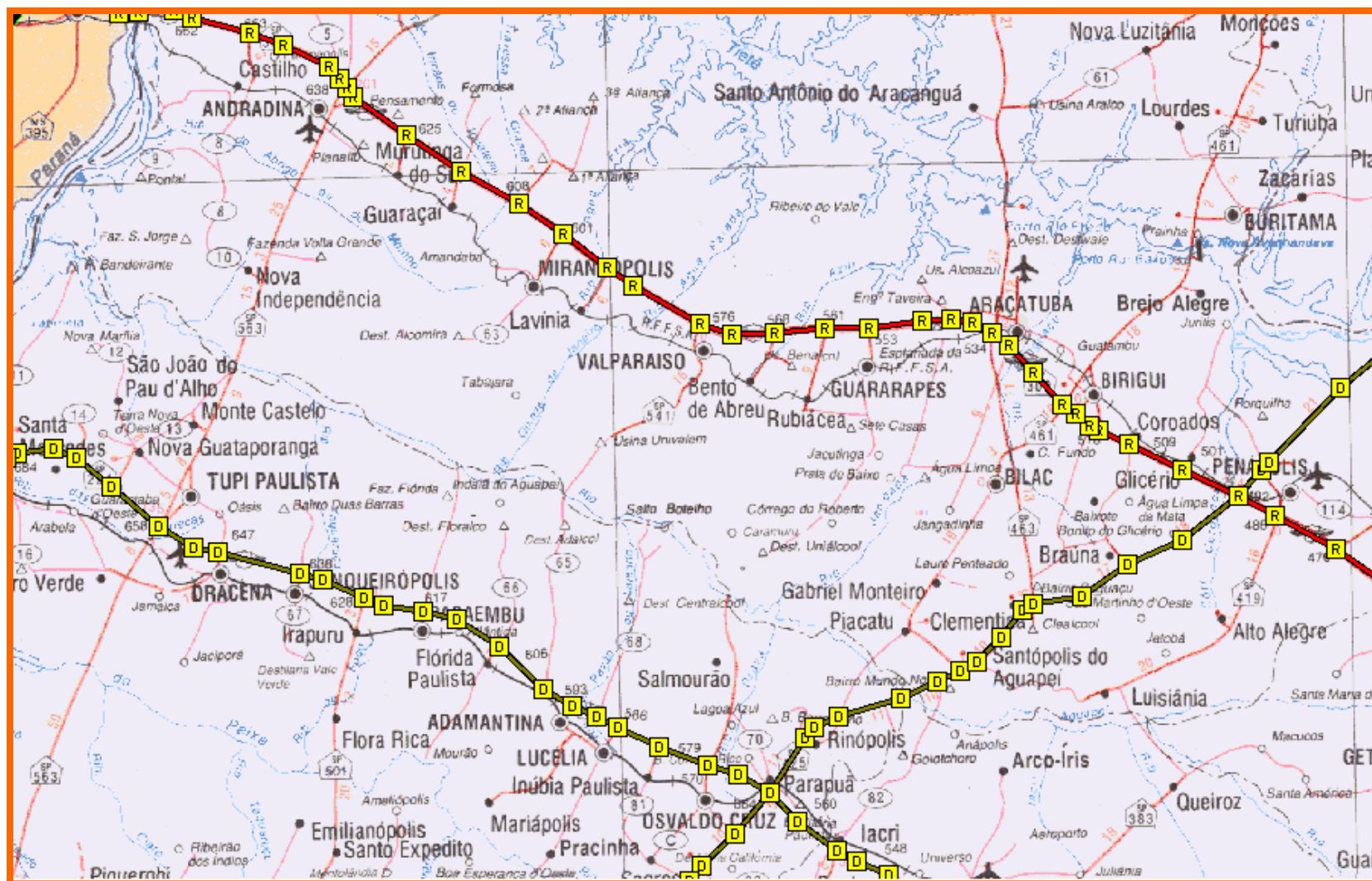
	Site Nickname	Location	Name	Street	City	State	ZIP	Road Type
1	NO-0003	23°37'39" S,		RUA X	SÃO PAULO	SP		BAIRRO
2	NO-0002	23°37'37" S,		RUA X	SÃO PAULO	SP		BAIRRO
3	NO-0001	23°37'35" S,		RUA X	SÃO PAULO	SP		BAIRRO
4	SAOVIC02	23°53'04" S,			SÃO VICENT	SP		RODOVIA
5	SAOVIC01	23°51'15" S,			SÃO VICENT	SP		RODOVIA
6	SP55-009	23°54'18" S,			CUBATÃO	SP		RODOVIA
7	SP55-008	23°52'29" S,			CUBATÃO	SP		RODOVIA
8	SP55-007	23°50'32" S,			CUBATÃO	SP		RODOVIA
9	SP55-006	23°50'01" S,			CUBATÃO	SP		RODOVIA

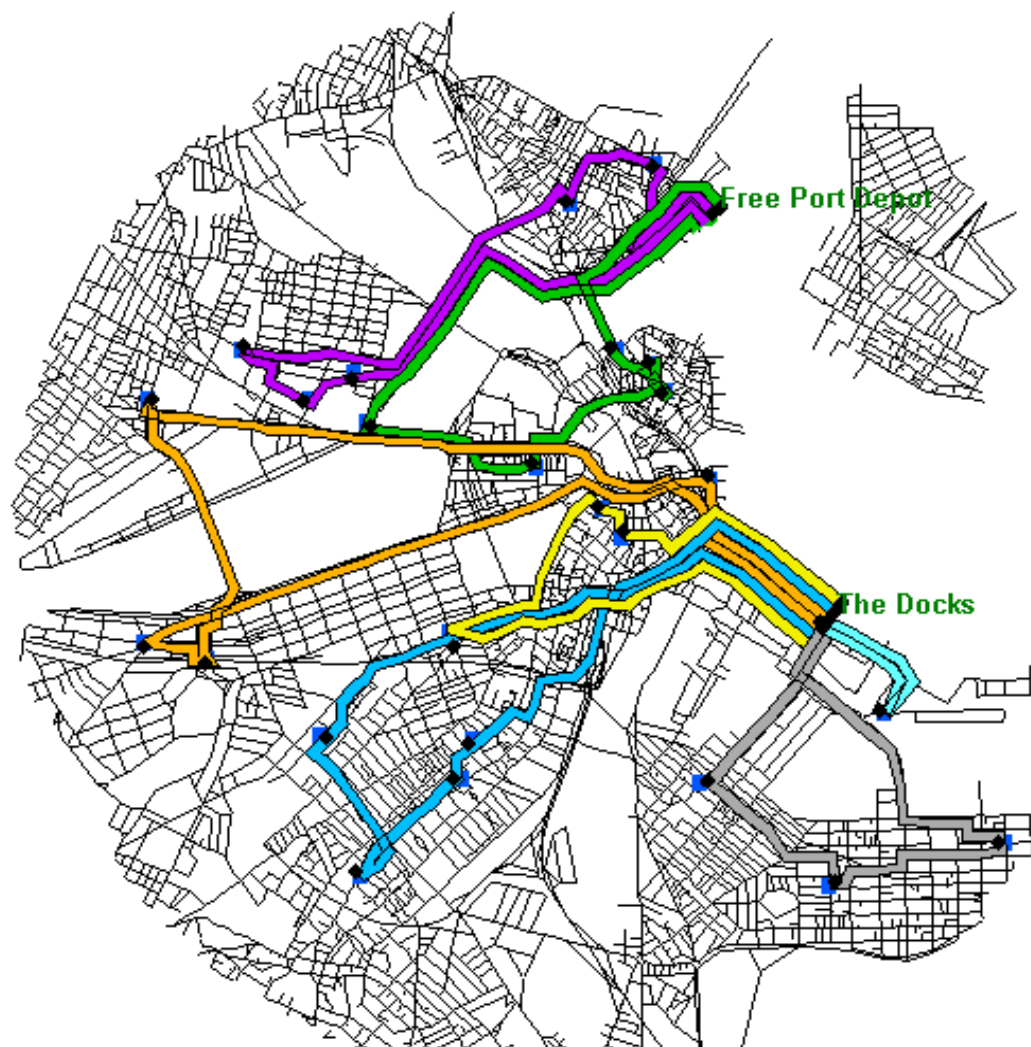
☒ Todo no mapa ☒ Malha ☐ Paradas ☐ Clientes ☐ Depósitos [NO-0002] to [NO-0004]

Para obter Ajuda, pressione F1

Iniciar International Maxion Microsoft PowerPoint... Roteirização Din... Arq ped INT modelo arq.forn.Roa... 09:00

Construção da malha viária



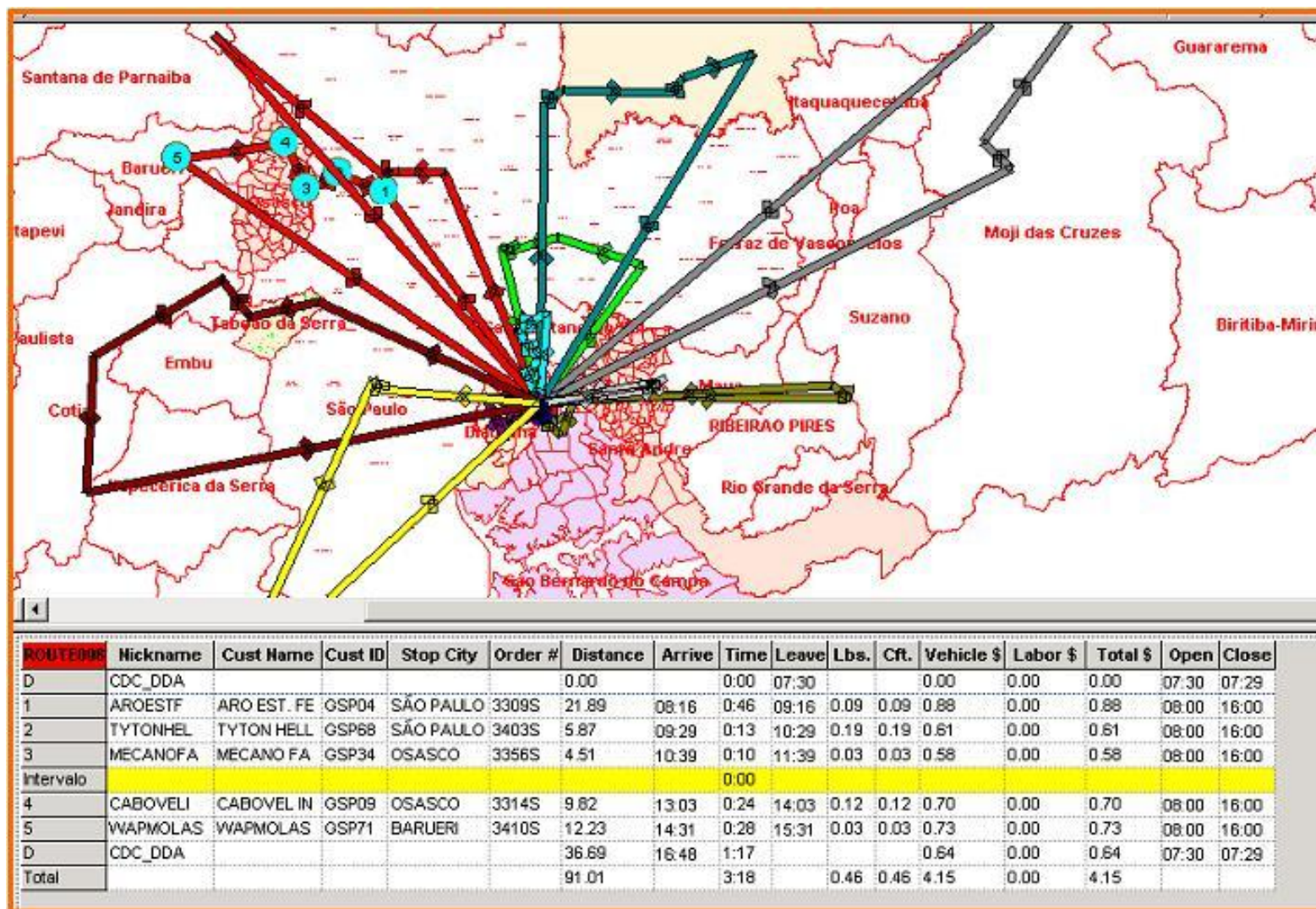


Map scale: 1 Inch = 0.61327 Miles (1:38,857)

[-71.027862, 42.381312]

Network: E:\TC_DEMO\TUTORIAL\BOST

Rotas no Roadshow



Roteiro detalhado com itinerário

