

## EVRP - Electric Vehicle Routing Problem

Tabela 1. Definições de conjuntos

|                     |  |
|---------------------|--|
| $N$                 | Conjunto de todos os pontos (clientes e pontos de recarga)           |
| $R \subset N$       | Conjunto de pontos de recarga  |
| $P_i$               | Conjunto de pedidos do cliente $i \in N$                             |
| $K$                 | Conjunto de veículos   |
| $N' = N \cup \{0\}$ | Conjunto de pontos, incluindo o depósito 0 (centro de distribuição). |

Tabela 2. Definições de parâmetros

|          |  |
|----------|--|
| $d_{ij}$ | Distância entre os pontos $i$ e $j$  |
| $Q_k$    | Capacidade da bateria do veículo $k$ (em kWh)                              |
| $v$      | Velocidade média do Veículo  |
| $c_k$    | Quantidade de energia que o veículo $k$ consome por quilômetro (em kWh/km) |
| $r_i$    | Potência de recarga no posto de recarga $i$ (em kW)                        |
| $q_p$    | Demanda do pedido $p \in P_i$ do cliente $i$                               |
| $d_p$    | Leadtime do pedido $p \in P_i$ do cliente $i$                              |
| $s_p$    | Tempo de serviço necessário para atender o pedido $p \in P_i$              |
| $t_0$    | Tempo de partida no centro de distribuição 0                               |

Tabela 3. Definições de variáveis

|            |                 |  |
|------------|-----------------|--|
| $x_{ij}^k$ | Binária         | Variável binária que indica se o veículo $k$ viaja do ponto $i$ para o ponto $j$ |
| $y_i^k$    | Reais positivos | Quantidade de bateria restante no veículo $k$ ao sair do ponto $i$               |
| $t_p^k$    | Reais positivos | Tempo de chegada do veículo $k$ para atender o pedido $p \in P_i$                |
| $u_i^k$    | Reais positivos | Quantidade de carga adicionada ao veículo $k$ no ponto de recarga $i (i \in R)$  |
| $z_i^k$    | Binária         | Variável binária que indica se o veículo $k$ recarrega no ponto $i (i \in R)$    |

Função objetivo:

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{i \in N'} \sum_{j \in N'} d_{ij} \cdot x_{ij}^k$$

**Minimizar a distância total percorrida pelos veículos**

Sujeito a:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N'} x_{ij}^k \geq 1$$

$$\forall p \in P_i, \forall i \in N \bigwedge i \notin R$$

**Atendimento de todos os pedidos de um cliente:** Cada pedido  $p \in P_i$  deve ser atendido exatamente uma vez

$$y_i^k \leq \frac{Q_k}{c_k}$$

$$\forall i \in N', \forall k \in K$$

**Capacidade de bateria e consumo de energia:** A carga da bateria deve ser suficiente para percorrer a distância entre dois pontos, e a recarga ocorre apenas nos pontos de recarga

$$y_i^k + u_i^k \cdot z_i^k \leq \frac{Q_k}{c_k}$$

$$\forall i \in R, \forall k \in K$$

Nos pontos de recarga  $R \subset N$

$$z_i^k = 0$$

$$\forall i \notin R, \forall k \in K$$

**Recarga apenas em pontos de recarga:** A recarga só pode ocorrer nos pontos de recarga  $\forall i \in R$

$$y_i^k - y_j^k \geq d_{ij} \cdot x_{ij}^k$$

$$\forall i, j \in N', \forall k \in K$$

**Autonomia garantida:** A bateria do veículo nunca pode ser completamente descarregada ao se mover de um ponto  $i$  para  $j$

$$t_p^k + s_p \leq d_p$$

$$\forall p \in P_i, \forall i \in N, \\ \forall k \in K$$

**Leadtime dos pedidos:** O tempo de chegada do veículo  $k$  para atender o pedido  $p \in P_i$  deve respeitar o leadtime associado ao pedido

$$\sum_{j \in N'} x_{ij}^k = \sum_{j \in N'} x_{ji}^k$$

$$\forall i \in N', \forall k \in K$$

**Conservação de fluxo:** O fluxo de veículos entre os nós deve ser mantido

$$t_j^k \geq t_i^k + s_p + \frac{d_{ij}}{v} + \left( u_i^k \cdot \frac{r_i}{c_k} \cdot z_i^k \right)$$

$$\forall i \in R, \forall j \in N', \\ \forall p \in P_i, \forall k \in K$$

**Tempo de serviço por pedido:**  
O tempo de chegada do veículo para atender o pedido  $p \in P_i$  deve incluir o tempo de serviço

$$\sum_{j \in N'} x_{0j}^k = 1$$

$$\sum_{i \in N'} x_{i0}^k = 1$$

$$\forall k \in K$$

**Partida e retorno ao centro de distribuição:** Cada veículo deve partir do depósito 0 e retornar a ele