# Capítulo III: Modelagem pelo Modelo de Transportes e Resolução

## 3.1 O Modelo de Transportes

De modo geral, o Modelo de Transportes busca encontrar um plano de transporte a menor custo para uma *commodity,* de várias origens para vários destinos. Os dados para este modelo são:

- Capacidade de produção em cada origem;
- Demanda em cada destino;
- Custo unitário de aquisição da *commodity* para cada destino, tendo em conta cada uma das possíveis origens.

Neste estudo, a *commodity* foi definida em lata e garrafa de cerveja e, como todas as plantas cervejeiras (*sources* atuais e potenciais) possuem estrutura para produzir ambos os formatos, considera-se que cada *source* pode suprir a demanda de um ou mais destinos.

O objetivo do modelo é determinar a quantidade a ser transportada de cada origem até cada destino, de tal forma que o custo total de transporte seja minimizado.

Assume-se que o custo de transporte é proporcional ao número de unidades transportadas ou, como é o caso da exportação de cerveja, considera-se o carregamento de um caminhão ou container 20' como unidade de transporte.

Sejam:

$m$ = quantidade de *sources*

$n$ = quantidade de destinos (importadores)

$i$ = *source*

$j$ = destino (importador)

$ai$ = oferta da source i

$dj$ = demanda no destino j

$cij$ = custo unitário de transporte entre i e j

$xij$ = quantidade transportada de i para j

Temos o seguinte modelo linear representando o problema de transportes:

Min $z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} c_{ij}\ x_{ij}$

Sujeito a:

(1) $\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \ \leq\ a_i$ $\quad i = 1, 2, ..., m$

(2) $\sum_{i=1}^{m} xij \ \geq\ b_j$ $\quad j = 1, 2, ..., n$

(3) $x_{ij} \ \geq 0$ $\quad \forall\ i, j$

O primeiro grupo de restrições estipula que a soma dos embarques de uma *source* não pode exceder sua oferta e, da mesma maneira, o segundo grupo de restrições determina que a soma dos embarques para um destino deve atender à sua demanda.

No Modelo de Transportes, a oferta total deve ser ao menos igual, ou maior que a demanda total. Quando a oferta total é igual à demanda total, o resultado é um modelo de transportes balanceado. Neste caso, todas as restrições se traduzem em equações.

### 3.2 Pressupostos para Cálculo

- Formato: somente consideramos formato 6 *packs* para latas e garrafas;
- Conteúdo: lata 350ml e garrafa 330ml.
- Preços de Custo (Pc): os preços de custo das *sources* existentes são os atuais. Para as potenciais *sources,* foi considerado o seguinte:
  - ✓ Lata Brasil: R$ 8,13 / hl[3] (custo de acordo com Femsa)
  - ✓ Garrafa Brasil: R$ 10,00 / hl (custo de acordo com Femsa)
  - ✓ Lata Panamá: PAB 4,70 / hl[4] (estimativa informada pela planta)
  - ✓ Garrafa Panamá: PAB 6,10 / hl (estimativa informada pela planta)

[3] O valor em Reais foi convertido para Euro com base na cotação 1 EUR = 2,55 R$.
[4] PAB: sigla que identifica a moeda local do Panamá, o Balboa. O Balboa é ancorado ao dólar Norte-Americano (que tem curso legal no Panamá), com uma taxa de câmbio de 1:1 desde 1903. O valor em Balboa foi convertido para Euro com base na cotação 1 PAB = 1,53 EUR.

- Frete (Fr): os custos de frete para as rotas atualmente existentes são os utilizados em 2007. Para as potenciais *sources,* foram utilizados valores obtidos em cotações com agentes de frete internacional.
- Preço de Venda *Source* (TP): foram considerados os preços atuais de venda das *sources* para a Heineken. Para as potenciais *sources*, o preço de venda da *source*, ou Preço de Transferência (TP), foi calculado com base nas margens abaixo explicadas.
- Margem da *source* (MgS): para NL, AR e CL, a margem é a utilizada atualmente. Para o cálculo das margens das *sources* potenciais, foi utilizado o mesmo fator e as respectivas participações acionárias e impostos de renda locais.
- Participação Acionária Heineken (Part): as margens das *sources* são definidas com base nas participações acionárias do grupo Heineken nas plantas exportadoras.
- Imposto de Renda Local (IR): A alíquota de Imposto de Renda cobrada no país de origem, onde está localizada a *source*, atua como parâmetro na definição da margem embutida pela *local source*.
- Margem da Heineken (MgHNK): Para as rotas já existentes, foi calculada a diferença entre o preço de venda CIF e o TP (Preço de Transferência). A margem encontrada foi repetida para todas as rotas com mesmo destino.



## 3.3 Modelagem

### 3.3.1 Manutenção da Política de *Mono-sourcing*

Conforme mencionado na Introdução desta dissertação, é política da Heineken manter apenas uma *source* para o suprimento de produtos regulares a cada importador na região da América Latina. A primeira modelagem e resolução apresentada mostram a solução encontrada para o problema, tendo em conta esta restrição. Considerando que existe apenas um caminho possível entre cada origem e cada destino e, ainda, que cada destino somente pode ser suprido por uma única origem, a modelagem a seguir é proposta.

### ➔ O Problema do Custo Mínimo com Restrição de *Mono-sourcing*

Sejam:

$N$ : conjunto de nós (*sources* e importadores)

$A$ : conjunto de arcos

$R$ : conjunto de origens (*sources*)

$S$ : conjunto de destinos (importadores)

$c_{rs}$ : custo do arco ($r$, $s$)

$x_{rs}$ : fluxo no arco ($r$, $s$)

$o_r$ : capacidade de $r \in R$ (potencial de exportação)

$d_s$ : demanda de $s \in S$

$y_{rs}$ : variável binária que indica se determinado arco é utilizado

$$y_{rs} := \begin{cases} 1 \text{ se } r \text{ supre } s \\ 0 \text{ se } r \text{ não supre } s \end{cases}$$

$M$ : um valor grande

Função objetivo: Minimizar os custos para o distribuidor (importador)

F ($x$) = Min $\sum_{r \in R} \sum_{s \in S} c_{rs} \ x_{rs}$

Sujeito a:

(1) $\sum_{s \in S} x_{rs} \leq o_r \quad \forall r \in R$

(2) $\sum_{r \in R} x_{rs} = d_s \quad \forall s \in S$

(3) $x_{rs} \in \mathrm{R}^+ \quad \forall (r, s) \in R \ x \ S$

(4) $x_{rs} \leq M * y_{rs} \quad \forall (r, s) \in R \ x \ S$

(5) $\sum_{r \in R} y_{rs} = 1 \quad \forall s \in S$

(6) $y_{rs} \in \{0, 1\} \quad \forall (r, s) \in R \ x \ S$

A restrição (1) garante que o volume transportado não poderá ultrapassar a capacidade de produção da *source* e a restrição (2) restringe o volume transportado à demanda do importador. Cada source poderá atender a mais de um importador. No entanto, cada importador deverá ser suprido por apenas uma *source* e, por isso, os volumes transportados deverão ser iguais à demanda.

A terceira restrição define que o fluxo transportado será sempre um número inteiro positivo e a restrição (4) define que, se a variável binária de indicação de utilização do arco for igual a 0 (zero), o fluxo entre *source* e importador também assumirá valor 0 e, portanto, este arco não será utilizado. Analogicamente, se esta variável binária assumir valor igual a 1 (um), o fato de M representar um valor muito grande garante que o fluxo do arco será tão grande quanto o necessário para satisfazer a demanda do importador.

A restrição (5) indica que o somatório das variáveis binárias encontradas para cada destino deverá ser igual a 1 (um), o que restringe o modelo a encontrar uma solução na qual haja apenas uma origem para cada destino, ou seja, uma solução na qual cada importador seja suprido por apenas uma *source*.

Por último, a sexta restrição define que a variável $y_{rs}$ é binária, podendo assumir, portanto, apenas os valores 0 ou 1.

### 3.3.2 Resolução pelo Solver do Excel para o Modelo *Mono-sourcing*

$o_r$ : Capacidade de Produção das *Sources* (atuais e potenciais), em hl / ano:

| | Capacidade de Produção |
|---|---|
| CL | 60.000 |
| AR | 50.000 |
| BR | 80.000 |
| PN | 10.000 |

$d_s$ : Demanda dos Importadores, em hl / ano:

| Demanda | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CO | PE | EC | UY | PY | BO | VE | MX |
| 55927,8 | 2662,2 | 7082,64 | 2160 | 5940 | 1296 | 6672,24 | 52041,96 |

$y_{rs}$ : Variável binária, que define se determinado arco está sendo utilizado:

| Indicador de utilização do arco | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CO | PE | EC | UY | PY | BO | VE | MX |
| CL | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| AR | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| BR | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| PN | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 |
| Totais | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

Conforme a restrição (6), a variável $y_{rs}$ foi definida como binária ("= bin"), para que só pudesse assumir os valores 0 ou 1. Quando assumir o valor 1, significa que o arco está sendo utilizado. Como explicado acima, a restrição (5) define que a soma dessas variáveis, para cada destino considerado, deverá ser igual a 1. Desta forma, aplica-se a restrição de *mono-sourcing,* pois somente poderá ser selecionada uma origem para cada destino.

$c_{rs}$ : Os custos dos arcos correspondem aos custos anteriormente explicados para aquisição de cada hl de cerveja por parte de cada importador, desde cada origem.

| **Custos dos Arcos (em EUR)** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CO | PE | EC | UY | PY | BO | VE | MX |
| CL | 74,34 | 75,82 | 80,61 | 104,14 | 93,29 | 107,50 | 71,69 | 82,99 |
| AR | 79,60 | 83,09 | 85,58 | 69,60 | 68,05 | 70,95 | 74,31 | 84,00 |
| BR | 88,36 | 94,42 | 99,20 | 86,95 | 81,12 | 94,68 | 67,35 | 84,62 |
| PN | 90,19 | 92,92 | 97,24 | 102,10 | 108,08 | 92,78 | 64,95 | 87,12 |

Conforme a restrição (3), o fluxo de cada arco multiplicado pela variável binária correspondente deverá ser menor ou igual à capacidade de produção da *source*. Desta forma, somente poderá ser selecionada para suprir determinado destino, uma *source* cuja capacidade de produção seja, no mínimo, igual à demanda daquele destino.

O quadro abaixo mostra o resultado obtido pelo Solver, com as origens e destinos que minimizam os custos para o distribuidor (importador). Note que os fluxos transportados são iguais às demandas de cada importador, já que foi selecionada apenas uma *source* para cada destino. Os volumes totais transportados por cada *source* também atendem à restrição de serem ao menos iguais ou inferiores à capacidade de produção (potencial de exportação) de cada planta.

| Volume Total a ser Transportado (em hl) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CO | PE | EC | UY | PY | BO | VE | MX | Total |
| CL | 55.927,80 | 2.662,20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 58.590,00 |
| AR | 0,00 | 0,00 | 7.082,64 | 2.160,00 | 5.940,00 | 1.296,00 | 0,00 | 0,00 | 16.478,64 |
| BR | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 52.041,96 | 52.041,96 |
| PN | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6.672,24 | 0,00 | 6.672,24 |
| Totais | 55.927,80 | 2.662,20 | 7.082,64 | 2.160,00 | 5.940,00 | 1.296,00 | 6.672,24 | 52.041,96 | |

Por último, o quadro abaixo indica os custos totais para os diversos importadores, tendo em conta a rede de distribuição proposta.

| Custos Totais (em EUR) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CO | PE | EC | UY | PY | BO | VE | MX | Total |
| CL | 4.157.672,65 | 201.848,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 4.359.520,66 |
| AR | 0,00 | 0,00 | 606.132,33 | 150.336,00 | 404.217,00 | 91.951,20 | 0,00 | 0,00 | 1.252.636,53 |
| BR | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 4.403.790,66 | 4.403.790,66 |
| PN | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 433.361,99 | 0,00 | 433.361,99 |
| | | | | | | Custo Total para os Importadores = | | | **10.449.309,83** |

Percebe-se que o fluxo proposto pelo Solver gera um custo anual total de EUR 10.449.309,83 o que não se traduziria diretamente em uma economia, já que os custos hoje incorridos, considerando o cenário atual, são inferiores.

### 3.3.3 Admitindo-se Solução com *Multi-sourcing*

O mesmo problema foi resolvido considerando-se a possibilidade de múltiplas *sources* para um mesmo destino. A idéia é analisar uma solução que não tenha como restrição a política de *mono-sourcing*, para então realizar uma comparação dos resultados obtidos e poder avaliar a melhor alternativa.

Neste caso, não é necessária a utilização de uma variável binária, já que não vamos restringir o suprimento dos países importadores à apenas uma origem.

$$F(x) = \text{Min} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} c_{rs} \, x_{rs}$$

Sujeito a:

(1) $\sum_{s \in S} x_{rs} \leq o_r \qquad \forall\, r \in R$

(2) $\sum_{r \in R} x_{rs} = d_s \qquad \forall\, s \in S$

(3) $x_{rs} \in \mathrm{R}^{+} \qquad \forall\, (r, s) \in R \times S$

O quadro abaixo demonstra a quantidade anual em hl a ser transportada de cada origem para cada destino, conforme solução encontrada pelo Solver do Excel:

| | | Destino | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | CO | PE | EC | UY | PY | BO | VE | MX | Total |
| Origem | CL | 51.785 | 2.465 | 5.750 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60.000 |
| | AR | 0 | 0 | 808 | 2.000 | 5.500 | 1.200 | 0 | 40.492 | 50.000 |
| | BR | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6.178 | 7.695 | 13.873 |
| | PN | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Totais | 51.785 | 2.465 | 6.558 | 2.000 | 5.500 | 1.200 | 6.178 | 48.187 | |
| | Demanda | 51.785 | 2.465 | 6.558 | 2.000 | 5.500 | 1.200 | 6.178 | 48.187 | |

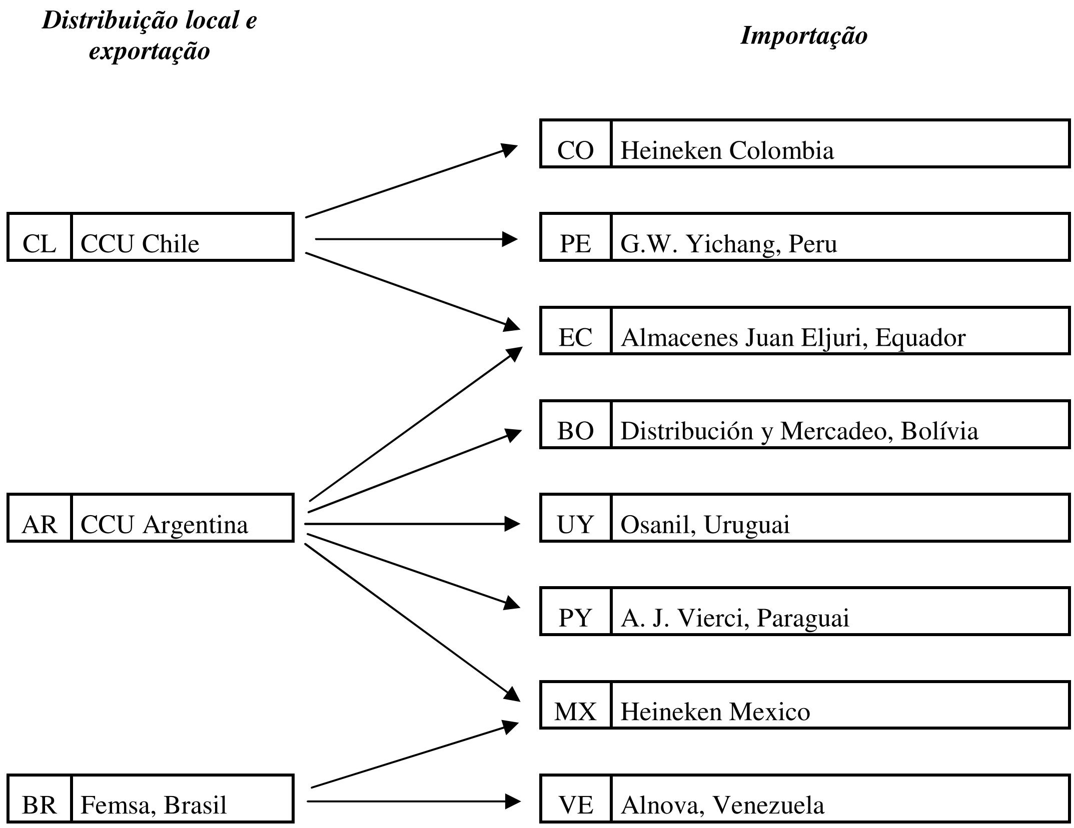
No quadro abaixo podemos ver os custos anuais em EUR / hl incorridos por cada importador para a aquisição de cerveja desde cada origem:

| | | Destino | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | CO | PE | EC | UY | PY | BO | VE | MX | Capac. Prod. |
| Origem | CL | 74,34 | 75,82 | 80,61 | 104,14 | 93,29 | 107,50 | 71,69 | 82,99 | 60.000 |
| | AR | 79,60 | 83,09 | 85,58 | 69,60 | 68,05 | 70,95 | 74,31 | 84,00 | 50.000 |
| | BR | 88,36 | 94,42 | 99,20 | 86,95 | 81,12 | 94,68 | 67,35 | 84,62 | 80.000 |
| | PN | 90,19 | 92,92 | 97,24 | 102,10 | 108,08 | 92,78 | 64,95 | 87,12 | 10.000 |
| | Totais | 3.849.696,90 | 186.896,30 | 532.656,14 | 139.200,00 | 374.275,00 | 85.140,00 | 416.088,30 | 4.052.478,90 | 9.636.431,54 |

Observa-se que, neste caso, o fluxo proposto pelo Solver gera um custo anual total de EUR 9.636.431,54.

Considerando que a solução encontrada não pressupõe qualquer investimento imediato em ampliação de planta, a economia anual direta gerada pelo novo fluxo seria de EUR 757.416,46.

Neste caso, a nova rede de distribuição se configuraria da seguinte maneira:




Comparativamente com o grafo exposto na seção 2.1 do segundo Capítulo (pág. 12), onde foi indicada a rede de distribuição atual, a nova rede proposta pode ser explicitada da seguinte maneira: