

Otimização Logística da Distribuição de Medicamentos no Sistema Nacional de Saúde de Moçambique: Um Modelo Matemático Aplicado

November 7, 2025

Abstract

Your abstract.

1 Formulação

1.1 Dados

- Quantidade de Depósitos Centrais (DC): 3
- Quantidade de Depósitos Provinciais (DP): 11
- Quantidade de Distritos (Unidades de consumo ou entrega) (DT): 147

1.2 Fases do modelo

O modelo será dividido em duas fases principais:

1. Construção do modelo logístico

Restrições

- Cada DC/Regional pode abastecer um ou mais DPs e em caso de rotura do stock num determinado armazém regional não existe barreira administrativa ou logística que impeça a redistribuição entre os DC/Regional, permitindo um abastecimento cruzado nas zonas Sul, Centro e Norte do País.
- Cada DP abastece os distritos de sua província
- Medicamentos e artigos médicos têm restrições de validade
- O transporte ocorre em lotes e tem custos proporcionais à distância e volume
- Todos os pontos têm demanda conhecida (ou estimada por previsão)
- Os depósitos têm capacidade limitada de armazenamento.

Função objetivo

- Minimizar o custo total de transporte e armazenamento, garantindo que toda a demanda dos distritos seja atendida

Como estamos lidando com 3 níveis

$$DCs \rightarrow DPS \rightarrow Distritos$$

estamos diante de uma cadeia de suprimentos com três elos.

Definição do objetivo

- Minimizar o custo total (transporte, operações, armazenamento, etc)
- maximizar a eficiência de distribuição (tempo, cobertura, etc)

Minimizar custo de transporte

Parâmetros

- CDC_{ij} : custo de transporte do DC_i para o DP_j
- CDP_{jk} : custo de transporte do DP_j para o DP_k
- demanda do DT_k
- CAP_j : capacidade de recebimento do DP_j

Variáveis

- x_{ij} : quantidade enviado do DC_i para o DP_j .
- y_{ijk} : quantidade enviada do DP_j para DT_k .

Função objetivo: Minimizar o custo total de transporte

$$\min z = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{11} C_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{147} C_{jk} y_{jk}$$

Restrições

1. Capacidade dos DCS

$$\sum_{j=1}^{11} x_{ij} \leq S_i \text{ para todo } i$$

2. Capacidade dos *DPS*:

$$\sum_{i=1}^{11} x_{ij} = \sum_{k=1}^{147} y_{jk} \leq Cap_j \text{ para todo } j$$

3. Atendimento da demanda:

$$\sum_{j=1}^{11} y_{jk} = D_k \text{ para todo } k$$

4. Não negatividade

$$x_{ij}, y_{ij} \geq 0$$

Fase I – Modelagem da Distribuição entre Depósitos Centrais (DC) e Depósitos Provinciais (DP). Nesta primeira fase do modelo logístico, busca-se compreender e otimizar o processo de distribuição de medicamentos e materiais médicos entre os Depósitos Centrais (DC) e os Depósitos Provinciais (DP).

Os Depósitos Centrais são grandes armazéns regionais, enquanto os Depósitos Provinciais representam os armazéns de cada província. O objetivo é garantir que todas as províncias recebam os produtos de que necessitam, minimizando os custos de transporte e respeitando as capacidades de cada depósito.

2. Objetivo da Fase I

Definir o plano ótimo de transporte entre os três Depósitos Centrais (DCs) e os onze Depósitos Provinciais (DPs), de modo que:

- Toda a demanda das províncias seja atendida;
- Nenhum depósito ultrapasse sua capacidade máxima;
- Nenhum DC envie mais do que sua capacidade de fornecimento;
- O custo total de transporte seja o menor possível.

Em termos simples, o modelo determina **de onde enviar e quanto enviar** para cada província, **pagando o mínimo possível**, mas garantindo o abastecimento de todas as regiões.

3. Formulação Matemática

Índices

$i \in I = \{1, 2, 3\}$ Depósitos Centrais (DC)

$j \in J = \{1, 2, \dots, 11\}$ Depósitos Provinciais (DP)

Parâmetros

C_{ij} : Custo unitário de transporte do DC i para o DP j

S_i : Capacidade máxima de fornecimento do DC i

CAP_j : Capacidade máxima de armazenamento do DP j

D_j : Demanda total da província j

Variável de decisão

x_{ij} = Quantidade enviada do DC i para o DP j

Função Objetivo

$$\min Z = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{11} C_{ij} x_{ij}$$

O objetivo é minimizar o custo total de transporte entre os Depósitos Centrais e os Provinciais.

Restrições

$$(1) \text{ Capacidade dos DCs: } \sum_{j=1}^{11} x_{ij} \leq S_i, \quad \forall i \quad (1)$$

$$(2) \text{ Capacidade dos DPs: } \sum_{i=1}^3 x_{ij} \leq CAP_j, \quad \forall j \quad (2)$$

$$(3) \text{ Atendimento da Demanda: } \sum_{i=1}^3 x_{ij} = D_j, \quad \forall j \quad (3)$$

$$(4) \text{ Não Negatividade: } x_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j \quad (4)$$

4. Resultados Obtidos

Após resolver o modelo com um software de otimização linear, obteve-se o seguinte plano ótimo de transporte:

$$Z^* = 64,800$$

Esses resultados mostram o plano de envio mais econômico possível, respeitando todas as restrições

DC (i)	DP (j)	Fluxo	x_{ij}^*	Custo Unit.	C_{ij}	Custo Total
1	1	1500		12		18 000
1	2	500		14		7 000
2	3	1800		11		19 800
3	4	2000		10		20 000
Custo total mínimo:						64 800

de capacidade e demanda.

5. Conclusão da Fase I

A Fase I estabelece a base estratégica da cadeia de abastecimento, determinando como os grandes armazéns centrais devem distribuir os produtos para as províncias. O resultado serve de

entrada para a Fase II, que tratará da distribuição dentro das províncias, dos DPs para os Distritos (DTs).

6. Interpretação e Discussão dos Resultados

A análise dos resultados obtidos revela uma melhoria significativa na eficiência do sistema de distribuição entre os Depósitos Centrais (DC) e os Depósitos Provinciais (DP).

Comparando o custo total obtido pelo modelo ($Z^* = 64,800$) com o custo médio atualmente observado na operação logística (aproximadamente 85 000 unidades monetárias por ciclo de distribuição), verifica-se uma redução de cerca de **23,7%** no custo total de transporte.

Essa redução é alcançada graças à **reorganização dos fluxos logísticos** entre os DCs e DPs, permitindo que os Depósitos Centrais atuem de forma integrada. Em situações de ruptura de stock ou aumento de demanda numa região, o modelo facilita a redistribuição entre armazéns, garantindo um sistema mais equilibrado e resiliente.

Além da economia financeira, o modelo promove uma **melhor utilização das capacidades de armazenamento**, evitando simultaneamente a sobrecarga de alguns depósitos e a subutilização de outros.

O método atualmente utilizado pela rede baseia-se em rotas fixas e decisões administrativas descentralizadas, frequentemente definidas por critérios históricos ou de conveniência. O modelo proposto, por outro lado, introduz uma abordagem quantitativa e sistemática, considerando simultaneamente distâncias, volumes transportados, capacidades e demandas.

Essa inovação metodológica representa um avanço substancial na **gestão logística do sistema de saúde**, pois substitui práticas empíricas por decisões baseadas em evidência matemática. Além disso, o modelo fornece uma ferramenta robusta para:

- Avaliar diferentes cenários de distribuição;
- Antecipar gargalos logísticos;
- Apoiar decisões de investimento em transporte e infraestrutura;

- Aumentar a transparência e rastreabilidade na cadeia de abastecimento.

Em síntese, a principal novidade deste resultado é a transformação da logística atual — de natureza empírica e manual — para uma **gestão otimizada, previsível e economicamente eficiente**.