



## **MODELOS PARA A INTEGRAÇÃO DE DECISÕES ESTRATÉGICAS E TÁTICAS NA DISTRIBUIÇÃO DE MEDICAMENTOS**

**Aura María Jalal Osorio**

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da UFSCar – Sorocaba  
Rodovia João Leme dos Santos (SP-264), Km 110, Bairro do Itinga – Sorocaba – SP.  
auramariajalal@hotmail.com

**Eli Angela Vitor Toso**

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da UFSCar – Sorocaba  
Rodovia João Leme dos Santos (SP-264), Km 110, Bairro do Itinga – Sorocaba – SP.  
eli@ufscar.br

### **RESUMO**

Este trabalho apresenta uma ferramenta de apoio à decisão no planejamento de redes de distribuição de medicamentos. Consiste em um modelo de programação linear inteira mista, que integra decisões estratégicas, relacionadas à localização de centros de distribuição (CDs), e decisões táticas relacionadas com transporte como fluxo de produtos, número de viagens, escolha de modais de transporte (aéreo ou rodoviário) e tipos de carga (completa ou fracionada). Consideram-se particularidades da logística farmacêutica como conservação de produtos em cadeia fria e medidas de segurança no transporte de carga. O modelo foi inspirado em um estudo de caso de uma multinacional do setor farmacêutico com operações no Brasil, e foi validado através de uma instância ilustrativa, construída a partir da simplificação dos dados reais da empresa e do setor farmacêutico. Resultados com instâncias de tamanho real são apresentados, mostrando que o modelo representa adequadamente as decisões do problema.

**PALAVRAS CHAVE.** Distribuição de Medicamentos; Planejamento de Redes Logísticas; Modelos de Otimização.

**Área Principal:** Logística e Transportes.

### **ABSTRACT**

This paper presents a decision support tool in the planning of medication distribution networks. It consists in a mixed integer linear programming model, which integrates strategic decisions related to the location of distribution centers, and tactical decisions related to transportation such as product flow, number of trips, selection of transport modes (air or road) and types of cargo (full truckload or less than truckload shipping). Particularities of pharmaceutical logistics are considered, such as the conservation of cold chain products and safety measures in cargo transportation. The model was inspired by a case study of a multinational pharmaceutical company with operations in Brazil and it was validated through an illustrative instance, built from the simplification of the real data of the company and the pharmaceutical sector. Results with a real instance show that the model adequately represents the decisions of the problem.

**KEYWORDS.** Medicines distribution; Logistics network planning; Optimization models.

**Main area:** Logistics and transportation.



## 1. Introdução

Na indústria farmacêutica, fusões e aquisições de empresas globais são processos muito comuns, que decorrem do reposicionamento estratégico e competitivo das empresas e suas marcas. Estes processos influenciam toda a topologia da cadeia de suprimentos, particularmente as redes de distribuição, composta basicamente por plantas, centros de distribuição (CDs) e clientes, dispersos geograficamente. Em geral, como a localização das plantas industriais é bem estabelecida, o planejamento da rede logística envolve decisões estratégicas de localização de CDs, e decisões táticas associadas ao transporte e armazenagem dos produtos.

As decisões de localização e de transporte pertencem a diferentes níveis de decisão porque tem horizontes de planejamento diferente. A localização é uma decisão estratégica definida para o longo prazo, enquanto que as decisões sobre transporte e estoque pertencem ao nível tático, e são definidas para períodos de tempo menores e com maior frequência de planejamento [Gebennini et al. 2009]. A literatura clássica aborda decisões de níveis diferentes em forma hierárquica, primeiro são tomadas as decisões estratégicas, a seguir as decisões táticas que são limitadas pelas decisões estratégicas e, finalmente, as decisões operacionais, restritas pelas decisões táticas e estratégicas [Miranda e Garrido 2009]. Esta abordagem pode resultar em decisões subótimas. Assim, considerar simultaneamente decisões de diferentes níveis, com uma estratégia adequada de integração, pode resultar em soluções que melhorem o desempenho logístico como um todo.

Neste contexto, se propõe um modelo de programação matemática para apoiar as decisões no planejamento de redes de distribuição de medicamentos de forma a integrar as decisões de localização de CDs, com as decisões de transporte, mais especificamente as decisões de escolha de modal de transporte, tipo de frete e tipo de veículo, além de decisões acerca da manutenção de estoques para atendimento à demanda. Considerando especificidades do sector farmacêutico como conservação de produtos em cadeia fria e medidas de segurança no transporte de carga para mitigar o impacto de roubos ou perdas de carga.

Esta pesquisa é motivada pela escassez de trabalhos sobre modelos de localização neste setor. Há poucos estudos de caso na indústria farmacêutica, devido às dificuldades na coleta de dados ou à indisponibilidade dos mesmos, e ainda, no caso de existir dados disponíveis, não é permitida a sua divulgação [Melo et al. 2009]. Outra motivação para esta pesquisa é o fato de que a ineficiência na distribuição de medicamentos é refletida na qualidade e no custo dos produtos. O custo logístico tem uma participação importante no valor dos medicamentos, portanto, a proposta de métodos para melhorar o desempenho da rede de distribuição pode contribuir com a redução do custo do produto, e, conseqüentemente, ampliar o acesso aos medicamentos.

Esse artigo está organizado da seguinte maneira. A Seção 2 apresenta uma breve descrição da revisão da literatura relacionada. A sessão 3 apresenta a descrição do problema. A Seção 4 apresenta a formulação matemática que considera o problema integrado. A Seção 5 descreve as instâncias e os resultados computacionais. Finalmente, a Seção 6 apresenta as considerações finais.

## 2. Revisão de literatura

A revisão de literatura do problema de integração de decisões estratégicas e táticas para o planejamento de redes logísticas mostra que o planejamento da rede de distribuição tem sido abordado como um problema estático, o que é refletido no predomínio de modelos com único período de tempo onde as informações são altamente agregadas. Particularmente, os modelos clássicos de localização de instalações geralmente incorporam decisões de transporte de forma aproximada, considerando apenas custos de transporte, de forma linear e diretamente proporcional às distâncias envolvidas. Sendo que as decisões de transporte nos níveis tático-operacionais envolvem outras decisões como: escolha de modais, tipos de frete e lead times de entrega; e a integração destas decisões em um único período de tempo implica simplificações e agregação em informações de custos, demandas e tempos.



Shen e Qi [2007] e Shu et al. [2013] incorporam os custos de transporte implicitamente através de uma variável de alocação de demanda. Sadjady e Davoudpour [2012] e Tiwari et al. [2010] propõem modelos que envolvem decisões de localização, alocação de demanda e seleção de modais de transporte, sendo que a seleção do modal de transporte está associada a uma variável binária de alocação. Outros autores definem explicitamente uma variável de fluxo de produto entre instalações, por exemplo, Ghezavati e Makui [2009], Kaya e Urek [2016] e Zhang, Lee e Zhang [2016].

Como esta abordagem monopériodo está mais distante em representar a maior parte dos problemas práticos, alguns autores propõem um enfoque multiperíodo, onde as decisões são vinculadas a cada período de tempo, de acordo com as mudanças e variações de demanda. Geralmente, as decisões estratégicas são tomadas no início do horizonte de planejamento e decisões táticas são tomadas para cada período de tempo [Badri et al. 2013, Bashiri et al. 2012, Brahimí e Khan 2014, Mousavi et al. 2015]. Particularmente Fattahi et al [2016] e Salema et al. 2009] utilizam uma abordagem de duas escalas de tempo interconectadas para integrar as decisões.

Por outra parte, poucos trabalhos na literatura abordam modelos para o planejamento de redes logísticas da indústria farmacêutica. A maior parte dos trabalhos encontrados foca no planejamento da produção e da distribuição, sendo que apenas os trabalhos de Saif e Elhedhli [2016] e Mousazadeh et al. [2015] consideram decisões relacionadas com a configuração da estrutura física da rede. Saif e Elhedhli [2016] apresentam um modelo multiobjetivo para a configuração da cadeia de suprimentos fria em geral, que visa minimizar o custo total de abertura de CDs, estoque e transporte; e minimizar a emissão de gases efeito estufa gerada pelo consumo de energia e às fugas de gás refrigerante em armazéns e veículos. Dentre todos os trabalhos encontrados na literatura, o modelo proposto por Mousazadeh et al. [2015] é o mais próximo em relação ao problema de planejamento da rede de distribuição de medicamentos considerado neste trabalho. Isto porque o modelo integra a tomada de decisões de localização de CDs com decisões táticas de dimensionamento de estoque, fluxo e escolha de modais de transporte para uma rede farmacêutica. No entanto, Mousazadeh et al. [2015] consideram o transporte de cargas fracionadas para um único produto, não consideram a necessidade de armazenamento e transporte em cadeia fria, além de não abordarem questões relacionadas à segurança do transporte, como a utilização de escolta armada ou limites de seguro para o valor das cargas.

### **3. Descrição do problema.**

A rede de distribuição de medicamentos está composta de um conjunto de instalações dentro da cadeia de suprimentos que fazem a recepção, armazenagem e expedição de produtos, conectadas através de canais de comunicação e distribuição. Neste trabalho, são considerados três elos da cadeia: fábricas, CDs e clientes.

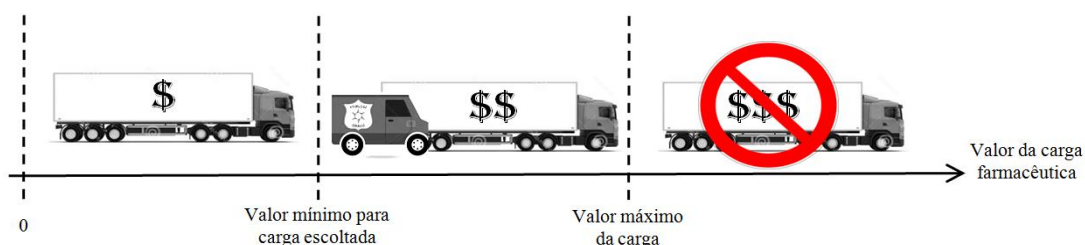
Considera-se a distribuição de múltiplos produtos, alguns dos quais por sua composição, devem ser conservados em cadeia fria. Os produtos com vendas regulares podem ser entregues com atraso, sem incorrer em perdas de venda ou podem ser estocados no cliente para atender demanda de períodos futuros; outros devem ser entregues no período da demanda senão a venda é perdida. Porém, a política de atendimento da empresa está voltada estrategicamente para manter um alto nível de serviço, atrasos na entrega ou venda perdida não são desejáveis.

Para a distribuição têm-se alternativas de transporte, diferenciadas por modal (aéreo ou rodoviário), tipos de carga (completa ou fracionada), veículos de diferentes capacidades e acondicionamento de carga (seca ou fria). O custo da carga fracionada depende do peso da mercadoria; enquanto que o custo de carga completa depende da capacidade em volume do veículo usado. O custo logístico de armazenamento depende das quantidades armazenadas e as condições de temperatura nas quais os medicamentos devem ser armazenados (temperatura ambiente ou cadeia fria).



Devido aos altos índices de roubo de cargas de medicamentos e de acidentes durante o transporte, existem restrições sobre valor (em unidades monetárias) da carga transportada. Há um valor de carga acima do qual os veículos precisam ser escoltados, incorrendo em custos de segurança por uso de escoltas. Além disso, há um valor máximo de carga a partir do qual a seguradora não cobre por eventualidades como acidentes, perdas ou roubos, portanto é indesejável o transporte de cargas com valor superior, como é mostrado na figura 1.

Figura 1. Limites monetários no transporte de carga.



A proposta deste trabalho é a integração de decisões de diferentes níveis de decisão, estratégico e tático, consideramos um horizonte de planejamento multiperíodo. Assim, a decisão de localização de CDs é tomada no início do horizonte de planejamento e permanece inalterável, enquanto que as decisões táticas variam de acordo com o período. As decisões táticas envolvem: o dimensionamento dos estoques a cada período nos CDs e nos clientes (para o caso de entrega antecipada); o atendimento da demanda de cada cliente a cada período, assim como os atrasos e perdas de vendas; o transporte entre os diferentes trechos, com a escolha de modais de transporte e tipos de carga, definindo o número de viagens necessárias em cada tipo.

#### 4. Formulação matemática

Para modelagem do problema foram feitas as seguintes considerações:

- A localização das plantas e clientes é fixa, enquanto que a localização dos CDs é uma decisão do modelo, definida para todo o horizonte de planejamento.
- A demanda dos clientes só pode ser satisfeita pelos CDs, ou seja, não existe fluxo entre planta e clientes.
- Os CDs recebem produtos só das plantas, ou seja, não existe fluxo entre CDs.
- Todos os locais candidatos à instalação de CDs possuem infraestrutura para armazenar produtos em cadeia fria e temperatura ambiente.
- A quantidade de produtos disponíveis nas fábricas é suficiente para atender a demanda dos clientes em todos os períodos.
- Não são consideradas limitações de capacidade de armazenagem/operação nos CDs.
- Alguns produtos podem ser entregues com atraso, sem incorrer em perdas de venda.
- As alternativas de transporte incluem os modais aéreo e rodoviário, com fretes fracionado e dedicado, sendo que o dedicado ainda envolve a escolha do veículo.
- A estrutura dos custos de transporte depende do tipo de alternativa escolhida.
- Cargas acima de determinado valor incorrem na obrigatoriedade de escolta.
- Existe um limite para o valor da carga, mesmo com o uso de escolta.

O problema de planejamento da rede de distribuição de medicamentos pode ser formulado como um modelo de programação linear inteira mista. Para formulação matemática deste problema considere a seguinte notação:



### Conjuntos

$T$	Períodos
$P$	Produtos
$I$	Fábricas
$J$	Potenciais locais para CDs
$K$	Clientes
$L$	Alternativas de transporte
$L_v$	Alternativas (veículos) para transporte dedicado
$P_l$	Produtos que podem ser transportados pela alternativa $l$
$P_a$	Produtos que admitem atraso ou antecipação na entrega

### Parâmetros

$d_{kpt}$	Demanda do produto $p$ do cliente $k$ no período $t$
$f_j$	Custo fixo de abertura do CD $j$
$h_{jp}^w$	Custo de estoque de uma unidade do produto $p$ no CD $j$
$h_{kp}^c$	Custo de estoque de uma unidade do produto $p$ no cliente $k$
$h_{kp}^b$	Penalidade pelo atraso de uma unidade do produto $p$ do cliente $k$
$h_{kp}^s$	Penalidade pela venda perdida de uma unidade do produto $p$ do cliente $k$
$c_{ijl}$	Custo de transporte da planta $i$ para o CD $j$ na alternativa $l$
$c_{jkl}^w$	Custo de transporte do CD $j$ para o cliente $k$ na alternativa $l$
$q_v$	Capacidade do veículo $v$
$\omega_p$	Peso do produto $p$
$v_p$	Volume do produto $p$
$\rho_p$	Preço do produto $p$
$\varepsilon_{ij}, \varepsilon_{jk}$	Custo de uma escolta da planta $i$ para o CD $j$ e do CD $j$ para o cliente $k$ .
$\sigma$	Valor limite para transporte sem escolta
$\gamma_l$	Valor limite para transporte de carga com a alternativa $l$
$N$	Número máximo de CDs na rede
$M$	Número suficientemente grande

### Variáveis de decisão

$Y_j$	Indica se o CD $j$ é aberto $Y_j = 1$ ou não $Y_j = 0$
$X_{ijplt}$	Quantidade de produto $p$ transportado de $i$ para $j$ com o transporte $l$ no período $t$
$X_{jkplt}^w$	Quantidade de produto $p$ transportado de $j$ para $k$ com o transporte $l$ no período $t$
$Z_{ijlt}$	Número de viagens de $i$ para $j$ com o transporte $l \in L_v$ no período $t$
$Z_{jklt}^w$	Número de viagens de $j$ para $k$ com o transporte $l \in L_v$ no período $t$
$E_{ijlt}$	Indica se é necessário escolta de $i$ para $j$ com o transporte $l \in L_v$ no período $t$
$E_{jklt}^w$	Indica se é necessário escolta de $j$ para $k$ com o transporte $l \in L_v$ no período $t$
$I_{kpt}^+$	Quantidade de produto em estoque do produto $p$ no cliente $k$ no período $t$
$I_{kpt}^-$	Atraso do produto $p$ do cliente $k$ no período $t$
$U_{kpt}$	Venda perdida do produto $p$ do cliente $k$ no período $t$
$S_{jpt}$	Quantidade em estoque do produto $p$ no CD $j$ no período $t$
$G_{ijlt}$	Custo de escolta no percurso $i$ para $j$ com a alternativa $l \in L_v$ no período $t$
$G_{jklt}^w$	Custo de escolta no percurso $j$ para $k$ com a alternativa $l \in L_v$ no período $t$



O Modelo Integrado de Localização e Distribuição (MILD) pode ser representado matematicamente como segue.

$$\min \phi = CID + CEP + CND + CTF + CTD + CVE \quad (1)$$

Onde,

$$CID = \sum_{j \in J} f_j Y_j \quad (1.a)$$

$$CEP = \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} h_{jp}^w S_{jpt} + \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} h_{kp}^c I_{kpt}^+ \quad (1.b)$$

$$CND = \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} h_{kp}^b I_{kpt}^- + \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} h_{kp}^s U_{kpt} \quad (1.c)$$

$$CTF = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{l \in L \setminus L_v} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} c_{ijl} \omega_p X_{ijplt} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L \setminus L_v} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} c_{jkl}^w \omega_p X_{jkplt}^w \quad (1.d)$$

$$CTD = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{l \in L_v} \sum_{t \in T} c_{ijl} Z_{ijlt} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L_v} \sum_{t \in T} c_{jkl}^w Z_{jklt}^w \quad (1.e)$$

$$CVE = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{l \in L_v} \sum_{t \in T} G_{ijlt} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L_v} \sum_{t \in T} G_{jklt}^w \quad (1.f)$$

O termo (1.a) corresponde aos custos fixos para abertura dos CDs. A expressão (1.b) representa o custo total de armazenagem de produtos em todos os CDs e os custos de armazenagem nos clientes, no caso de entrega antecipada. As penalidades por atrasos e por vendas perdidas são contabilizadas no termo (1.c). As expressões (1.d) e (1.e) correspondem aos custos de transporte, sendo que o primeiro termo representa os custos das alternativas de frete fracionado, que dependem do tipo de modal, do tipo de produto e das distâncias envolvidas. Já a expressão (1.e), representa os custos de transporte utilizando o frete dedicado, que depende do tipo de veículo utilizado, das distâncias envolvidas e do número de vezes que cada veículo é usado em cada trecho. Finalmente, o termo (1.f) representa os custos de escolta no transporte das plantas até os CDs e dos CDs até as plantas.

Sujeito às restrições:

$$\sum_{i \in I} \sum_{l \in L} X_{jkplt}^w + I_{kp(t-1)}^+ - I_{kp(t-1)}^- \quad \forall p \in P_a, k \in K, t \in T \quad (2)$$

$$= d_{kpt} + I_{kpt}^+ - I_{kpt}^-$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{l \in L} X_{jkplt}^w + U_{kpt} = d_{kpt} \quad \forall p \in P \setminus P_a, k \in K, t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{l \in L} X_{ijplt} + S_{jp(t-1)} \quad \forall j \in J, p \in P, t \in T \quad (4)$$

$$= \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} X_{jkplt}^w + S_{jpt}$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} X_{ijplt} \leq M Y_j \quad \forall j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} Y_j \leq N \quad (6)$$

$$\sum_{p \in P_l} v_p X_{ijplt} \leq q_v Z_{ijlt} \quad \forall i \in I, j \in J, l \in L_v, t \in T \quad (7)$$

$$\sum_{p \in P_l} v_p X_{jkplt}^w \leq q_v Z_{jklt}^w \quad \forall j \in J, k \in K, l \in L_v, t \in T \quad (8)$$





$$\sum_{p \in P_l} \rho_p X_{ijplt} \leq \gamma_l Z_{ijlt} \quad \forall i \in I, j \in J, l \in L_v, t \in T \quad (9)$$

$$\sum_{p \in P_l} \rho_p X_{jkplt}^w \leq \gamma_l Z_{jklt}^w \quad \forall j \in J, k \in K, l \in L_v, t \in T \quad (10)$$

$$\sum_{p \in P_l} \rho_p X_{ijplt} - \sigma Z_{ijlt} \leq M E_{ijlt} \quad \forall i \in I, j \in J, l \in L_v, t \in T \quad (11)$$

$$\sum_{p \in P_l} \rho_p X_{jkplt}^w - \sigma Z_{jklt}^w \leq M E_{jklt}^w \quad \forall j \in J, k \in K, l \in L_v, t \in T \quad (12)$$

$$E_{ijlt} \leq Z_{ijlt} \quad i \in I, j \in J, p \in P, l \in L_v, t \in T \quad (13)$$

$$E_{jklt} \leq Z_{jklt} \quad j \in J, k \in K, p \in P, l \in L_v, t \in T \quad (14)$$

$$G_{ijlt} \geq \varepsilon_{ij} Z_{ijlt} - (1 - E_{ijlt}) M \quad i \in I, j \in J, l \in L_v, t \in T \quad (15)$$

$$G_{jklt} \geq \varepsilon_{jk} Z_{jklt} - (1 - E_{jklt}) M \quad j \in J, k \in K, l \in L_v, t \in T \quad (16)$$

$$\sum_{p \in P_l} \rho_p X_{ijplt} \leq \gamma_l \quad \forall i \in I, j \in J, l \in L \setminus L_v, t \in T \quad (17)$$

$$\sum_{p \in P_l} \rho_p X_{jkplt}^w \leq \gamma_l \quad \forall j \in J, k \in K, l \in L \setminus L_v, t \in T \quad (18)$$

$$Y_j, E_{ijlt}, E_{jklt}^w \in \{0, 1\} \quad i \in I, j \in J, k \in K, p \in P, l \in L_v, t \in T \quad (19)$$

$$Z_{ijlt}, Z_{jklt}^w \in Z^+ \quad i \in I, j \in J, k \in K, p \in P, l \in L_v, t \in T \quad (20)$$

$$X_{ijplt}, X_{jkplt}^w, I_{kpt}^+, I_{kpt}^-, U_{kpt}, S_{jpt}, G_{ijlt}, G_{jklt}^w \geq 0 \quad i \in I, j \in J, k \in K, p \in P, l \in L, t \in T \quad (21)$$

Para controlar o atendimento da demanda, é preciso formular restrições de balanceamento de estoque nos clientes, em cada período e para todos os produtos. As restrições (2) e (3) representam as restrições de atendimento da demanda. A restrição (2) se refere ao conjunto de produtos que admitem atrasos e estoques nos clientes ( $p \in P_a$ ). Enquanto que a restrição (3) se refere ao balanço de estoque dos produtos que não admitem atrasos ou antecipação nas entregas ( $p \in P \setminus P_a$ ). Neste caso, a variável  $U_{kpt}$  contabiliza a venda perdida, penalizada na função objetivo. A restrição (4) garante a conservação do fluxo de produtos nos CDs em todos os períodos. A restrição (5) impõe que qualquer fluxo de produtos, de todas as fábricas, só pode ocorrer para CDs que estejam abertos. A restrição (6) impõe um limite para o número de CDs na rede de distribuição já que ante às rigorosas exigências regulatórias na armazenagem e distribuição de medicamentos se opta por centralizar as operações em poucos CDs. As restrições (7) e (8) determinam o número mínimo de viagens necessárias para realizar o transporte com os veículos dedicados das plantas até CDs e dos CDs até os clientes, respeitando as capacidades em volume dos veículos. As restrições (9) e (10) asseguram que o valor total da carga não ultrapasse o valor máximo de carga transportada estabelecido. Note nas restrições (9) e (10) que, o valor total transportado em determinado período em cada trecho deve ser menor que o valor do seguro ( $\gamma_l$ ) vezes o número de viagens. Ou seja, admitimos que o valor total da carga possa ser distribuído entre os veículos, de forma que o valor médio do frete seja menor que o valor máximo assegurado. A restrição (11) determina a necessidade de escolta em todos os períodos para todos os percursos entre a fábrica e os CDs, e a restrição (12) entre os CDs e os clientes. As restrições (13) e (14) impedem que seja considerada a contratação de escolta quando não são realizadas viagens. Nas restrições (15) e (16), variáveis auxiliares são utilizadas para calcular os custos com escolta. Assim, sempre que é necessária a contratação de serviços de



escolta ( $E_{ijlt} = 1$ ), a variável auxiliar, que contabiliza os custos de escolta ( $G_{ijlt}$ ), deve ser maior que o valor da escolta para o veículo  $l$  ( $\varepsilon_j$ ) multiplicado pelo o número de vezes que ele é utilizado no percurso ( $\varepsilon_j Z_{ijlt}$ ). As restrições (17) e (18) garantem que o valor máximo transportado em cada alternativa  $l \in L \setminus L_v$  seja respeitado em todos os períodos, nos percursos das plantas para os CDs (17) e dos CDs para os clientes (18). Finalmente, as restrições (19) a (21) representam o domínio das variáveis.

## 5. Instâncias testadas e experimentos computacionais

Para desenvolvimento deste trabalho, foram coletados dados reais do setor farmacêutico e da empresa objeto do estudo de caso. Vale ressaltar que foi assinado um contrato de confidencialidade para preservar os dados e a identidade da empresa. Procedeu-se à agregação dos dados para viabilizar os testes computacionais e proteger as informações fornecidas. Assim, os 252 produtos do portfólio foram agregados em 42 famílias de produtos, segundo semelhanças em suas características de volume, peso, preço e volume de vendas e condição de temperatura requerida. Os clientes foram agrupados em 54 zonas de demanda, capital (c) e interior (i) de cada estado. Isto permite mascarar os dados reais de demanda.

A partir dos dados reais, foi construída uma instância ilustrativa, com o objetivo de validar o modelo matemático proposto. Assim, foi considerada uma única planta localizada em São Paulo, três cidades indicadas pela mesma empresa para localizar CDs: São Paulo, Goiânia e Recife, e seis zonas de consumo com maior demanda: GO(c), GO(i), ES(i), DF(c), SP(c), SP(i). Foram selecionadas as quatro famílias de produtos de maior faturamento e quatro semanas com demanda média e todas as alternativas de transporte disponíveis. A tabela 1 mostra as características da infância ilustrativa com relação a instancia real. Para resolução do modelo foi utilizada a linguagem de programação algébrica GAMS 24.1.3 e o solver CPLEX 12.5.1, em um computador com 8 GB de memória RAM, processador Intel Core i7 e sistema operacional Windows 7.

Tabela 1. Características da instância testada com respeito ao problema real.

Instância	I	J	K	L	P	T	No. De variáveis		
							C	I	B
Real	1	5	54	8	42	4	2.364.504	33.000	33.005
Ilustrativa	1	3	6	8	4	4	3.348	420	423

### 5.1. Validação com instância ilustrativa

A instância ilustrativa foi resolvida em 1336 segundos de processamento computacional. O resultado obtido indica a abertura de dois CDs, nas cidades de São Paulo e Goiânia, capitais dos estados que concentram a maior demanda. Do fluxo total de produtos das plantas para os CDs, o 84% foram enviados para São Paulo, pois é o CD mais próximo à planta, também localizada no estado São Paulo.

O modelo respeita a conservação dos fluxos entre facilidades. A planta tem capacidade suficiente para produzir todas as unidades demandadas, porém é necessário gerenciar o fluxo de produtos da planta para o CD e o estoque no mesmo para atender a demanda dos clientes. Todas as entradas coincidem com as saídas no caso apresentado, o que também ocorre em todos os períodos e instalações. O modelo também permite a definição de fluxos que respeitem as restrições de segurança da rede. Por exemplo, entre a planta e o CD de São Paulo no período 1 existe um fluxo de 86.329 unidades do produto A e 99.294 unidades do produto B com preço de \$99,91 e \$64,19 respectivamente, em 5 viagens usando carga dedicada com veículo do tipo toco. Logo, o valor da carga transportada foi de \$14.998.812, valor que não ultrapassa o limite do seguro que de fato é de \$15.000.000 (3.000.000 para cada viagem). Porém, excede o limite





estabelecido para que o veículo possa circular sem ser escoltado, assim são usadas cinco escoltas armadas, uma para cada viagem.

## 5.2. Resultados com instância real.

Por sua parte, a instância com dados reais do problema foi resolvida com *gap* de 27% em 50 horas. Os resultados indicam, como decisão estratégica, a localização de CDs em São Paulo e Goiânia, distribuindo 82% dos produtos a partir do CD de São Paulo e 18% a partir do CD de Goiânia, resultados semelhantes aos obtidos com a instância ilustrativa. A tabela 2 apresenta os resultados das parcelas de custo obtidas neste teste.

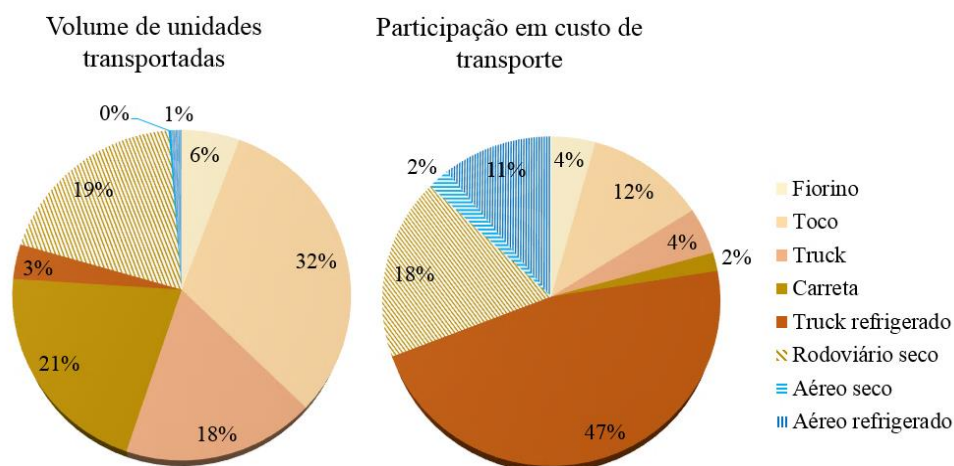
Tabela 2. Parcelas de custo da rede atual e a rede proposta pelo modelo.

	Custos da rede logística	Porcentagem de participação	Custos da rede atual	Porcentagem de participação
Custos de localizar	651.150	8%	330.925	2,0%
Custo de estocar em depósito	53.121	1%	5.255	0,0%
Custo de transporte	5.676.553	71%	11.508.868	70,4%
Custo de escolta	1.622.995	20%	4.510.428	27,6%
CUSTO TOTAL	8.003.819	100%	16.355.476	100%

A maior participação no custo total da rede é a do custo de transporte com 71%, seguido do custo de segurança por escolta armada com 20%. Para realizar o transporte com frete dedicado são necessárias 536 viagens, todas escoltadas da planta até o CD; e 792 viagens da planta até o CD, das quais 391 devem ser escoltadas. A tabela 2 ainda mostra os custos logísticos da rede atual e quanto seria possível reduzir com a rede proposta 53% do custo global da rede atual.

A figura 2 mostra o custo de transporte discriminado por alternativa de transporte. Em ambos os trechos, a maior participação no custo de transporte é de frete dedicado, com mais de 94% de participação no custo total. O frete dedicado é mais vantajoso sempre que a capacidade dos veículos é bem aproveitada, caso contrário é melhor utilizar o frete fracionado. Estes resultados são úteis na contratação de serviços de transporte.

Figura 2. Alternativas de transporte utilizadas na para instância ilustrativa.





### 5.3. Abordagem hierárquica do problema

Outra forma de abordar este problema é a tomada de decisões em forma hierárquica: isto é tomar decisões de localização independentemente das decisões de distribuição, assim os problemas são resolvidos até otimalidade em menos tempo; porém, esta abordagem pode resultar em soluções subótimas.

Foram resolvidos problema de localização simples e problema integrado com cenários de demanda diferentes, sendo que o problema de localização simples reporta soluções diferentes e o modelo integrado reporta uma solução consistente, localizar um CD em Goiânia e em São Paulo, como é mostrado na tabela 3. Isto evidencia que a pesar de que o problema seja mais difícil de resolver, com esta ferramenta se avalia maior número de decisões e elementos do problema, e portanto, fornece soluções mais robustas.

Tabela 3. Comparação da decisão estratégica das abordagens hierárquica e integrada para o problema estudado.

Cenário	Abordagem Hierárquica			Abordagem integrada	
1	São Paulo	Goiânia		São Paulo	Goiânia
2	São Paulo	Goiânia		São Paulo	Goiânia
3	São Paulo	Goiânia	Fortaleza	São Paulo	Goiânia
4	São Paulo			São Paulo	Goiânia
5	São Paulo	Fortaleza		São Paulo	Goiânia
6	São Paulo	Goiânia		São Paulo	Goiânia
	4 soluções diferentes Inviabilidade prática			1 única solução Aplicação plausível	

### 6. Conclusões e futuras pesquisas.

Este estudo aborda o problema de planejamento da rede de distribuição de medicamentos. Foi proposto um modelo de programação linear inteira mista, para integrar decisões estratégicas de localização e decisões táticas de dimensionamento de estoque, demanda não atendida, fluxos entre facilidades, número de viagens, seleção de modais de transporte e tipos de carga, em um contexto multiperíodo e multiproduto. Este modelo considera características particulares da logística farmacêutica, como armazenamento e transporte de produtos em cadeia fria e medidas de segurança no transporte de carga. Foram feitos testes iniciais para validação do modelo MILD com uma instância ilustrativa e a seguir foi resolvida a instancia de tamanho real, construídas a partir de dados reais obtidos diretamente da empresa. Ainda para avaliar o potencial do modelo frente a uma proposta de abordagem hierárquica, foram realizados testes com variação da demanda, mostrando que abordagem integrada fornece soluções robustas e plausíveis de ser levada à prática.

De forma geral, o modelo proposto mostrou ser uma ferramenta apropriada para auxiliar nas decisões estratégicas e táticas no planejamento da rede de distribuição farmacêutica. A ferramenta também pode ser utilizada para apoiar a tomada de decisões estratégicas de configuração de rede logística ou de decisões táticas úteis na contratação de serviços, de forma Independiente segundo critério dos gestores. Pesquisas futuras estão orientadas ao desenvolvimento de métodos de solução para resolver em tempo computacional razoável instâncias de maior tamanho.



## Agradecimentos

Os pesquisadores agradecem à empresa que forneceu os dados, ao programa CAPES e o Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos-Campus Sorocaba.

## Referências

- Badri, H., Bashiri, M., e Hossein, T. (2013). Integrated strategic and tactical planning in a supply chain network design with a heuristic solution method. *Computers and Operation Research*, 40, 1143–1154.
- Bashiri, M., Badri, H., e Talebi, J. (2012). A new approach to tactical and strategic planning in production – distribution networks. *Applied Mathematical Modelling*, 36, 1703–1717.
- Brahimi, N., e Khan, S. A. (2014). Warehouse location with production, inventory, and distribution decisions: a case study in the lube oil. *Journal of the Operational Research*, 12, 175–197.
- Fattahi, M., Mahootchi, M., e Husseini, S. M. (2016). Integrated strategic and tactical supply chain planning with price-sensitive demands. *Annals of Operations Research*, 242, 423–456.
- Gebennini, E., Gamberini, R., e Manzini, R. (2009). An integrated production – distribution model for the dynamic location and allocation problem with safety stock optimization. *International Journal of Production Economics*, 122, 286–304.
- Ghezavati, V. R., e Makui, A. (2009). A new heuristic method for distribution networks considering service level constraint and coverage radius. *Expert Systems With Applications*, 36, 5620–5629.
- Kaya, O., e Urek, B. (2016). A mixed integer nonlinear programming model and heuristic solutions for location , inventory and pricing decisions in a closed loop supply chain. *Computers and Operation Research*, 65, 93–103.
- Melo, M. T., Nickel, S., e Saldanha-da-Gama, F. (2009). Facility location and supply chain management – A review. *European Journal of Operational Research*, 196, 401–412.
- Miranda, P. A., e Garrido, R. A. (2009). Inventory service-level optimization within distribution network design problem. *Intern. Journal of Production Economics*, 122, 276–285.
- Mousavi, S., Alikar, N., Niaki, S., Niaki, A., e Bahreininejad, A. (2015). Optimizing a location allocation-inventory problem in a two-echelon supply chain network: A modified fruit fly optimization algorithm. *Computers e Industrial Engineering*, 87, 543–560.
- Mousazadeh, M., Torabi, S. A., e Zahiri, B. (2015). A robust possibilistic programming approach for pharmaceutical supply chain network design. *Computers and Chemical Engineering*, 82, 115–128.
- Sadjady, H., e Davoudpour, H. (2012). Two-echelon, multi-commodity supply chain network design with mode selection, lead-times and inventory costs. *Computers and Operations Research*, 39, 1345–1354.
- Saif, A., e Elhedhli, S. (2016). Cold supply chain design with environmental considerations : A simulation-optimization approach. *European Journal Industrial Engineering*, 251, 274–287.
- Salema, M. I. G., Póvoa, A. P. B., e Novais, A. Q. (2009). A strategic and tactical model for closed-loop supply chains. *OR Spectrum*, 31, 573–599.
- Shen, Z. J.-M., e Qi, L. (2007). Incorporating inventory and routing costs in strategic location models. *European Journal of Operational Research*, 179, 372–389.
- Shu, J., Wang, G., e Zhang, K. (2013). Logistics distribution network design with two commodity categories. *Journal of the Operational Research*, 64, 1400–1408.
- Tiwari, M. K., Raghavendra, N., Agrawal, S., e Goyal, S. K. (2010). A Hybrid Taguchi – Immune approach to optimize an integrated supply chain design problem with multiple shipping. *European Journal of Operational Research*, 203, 95–106.
- Zhang, L. L., Lee, C., e Zhang, S. (2016). An integrated model for strategic supply chain design : Formulation and ABC-based solution approach. *Expert Systems With Applications*, 52, 39–49.