

P

PLANEJAMENTO DE REDES LOGÍSTICAS: UM ESTUDO DE CASO NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA BRASILEIRA

LUIZ FELIPE DE MEDEIROS FRIAS

Mestre em Administração pelo Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppead-UFRJ).

Engenheiro de Produção da Petrobras.

Avenida República do Chile, 230, 29º andar, Centro, Rio de Janeiro – RJ – Brasil – CEP 20031-170

E-mail: felipefrias@gmail.com

ISABEL DE ABREU FARIAS

Mestra em Administração pelo Instituto de Administração e Gerência da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ).

Analista de Planejamento da Fundação Oswaldo Cruz.

Rua 24 de Maio, 615, apto. 1, Sampaio, Rio de Janeiro – RJ – Brasil – CEP 20950-091

E-mail: belafarias@gmail.com

PETER FERNANDES WANKE

Doutor em Engenharia pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe-UFRJ).

Professor do Departamento de Operações, Tecnologia e Logística da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Rua Pascoal Lemme, 355, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro – RJ – Brasil – CEP 21941-918

E-mail: peter@coppead.ufrj.br

RESUMO

O planejamento de redes logísticas emerge como decisão estratégica a ser tomada na busca da manutenção da competitividade empresarial. O presente estudo desenvolveu um modelo de Programação Não Linear Inteira Mista contemplando os principais componentes de custo envolvidos no processo de planejamento de redes associados à realidade brasileira: transportes, estoques e tributos. O modelo foi testado na empresa Nova Braskem. Foram realizadas análises de sensibilidade em que se apreciaram os principais *trade-offs* relativos às premissas assumidas. Constatou-se que, no caso estudado, o modelo desenvolvido proporciona economia nos custos tributários e nos custos logísticos de transporte, e, conseqüentemente, nos custos totais. Mais precisamente, os resultados apontam que, apesar da importância dos custos de transporte ante os demais, o aspecto fiscal se apresentou como o principal potencial de retorno financeiro a ser perseguido, e, dessa maneira, foi possível demonstrar o valor associado à questão dentro da atmosfera empresarial brasileira. Para o *design* ótimo de uma rede, confirma-se, portanto, a tese de que não é plausível a dissociação entre logística e planejamento tributário. Ademais, dada a natureza do estudo de caso, é factível a consideração do planejamento de redes logísticas como um importante ferramental capaz de subsidiar a busca de sinergias em operações de fusões e aquisições de empresas. Há, por exemplo, diversos outros casos recentes no cenário empresarial brasileiro, como a fusão entre Sadia e Perdigão e entre outras empresas do agronegócio. Para dar continuidade aos estudos dos *trade-offs* entre logística e os aspectos tributários brasileiros, sugere-se a inclusão de novos tributos (PIS, Cofins etc.) e a concessão de benefícios fiscais na modelagem de redes logísticas futuras. Especificamente com relação ao estudo de caso, observa-se que a forma de agregação dos mercados consumidores deve ser aprimorada, uma vez que a disposição de clientes na indústria petroquímica é bastante pulverizada. A correlação entre as demandas igualmente poderia ser analisada em um estudo de caso futuro. Finalmente, a fim de examinar as conclusões encontradas, sugere-se a aplicação do modelo desenvolvido em outros estudos de caso.

PALAVRAS-CHAVE

Planejamento de redes logísticas; Programação não linear inteira mista; Indústria petroquímica; Nova Braskem; Estudo de caso.

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da complexidade inerente às cadeias de suprimento, cada vez mais o planejamento logístico torna-se essencial para a competitividade de uma empresa. É nesse contexto que os profissionais da área tomam decisões estratégicas para gerenciar incertezas, serviço ao cliente e custos na rede de distribuição (WANKE; ZINN, 2004).

Dentre tais decisões, o planejamento de redes – mais especificamente, a determinação do número de instalações, sua localização e a alocação dos mercados consumidores a elas – emerge como uma das principais decisões dentro do processo de planejamento logístico (BALLOU, 2006). Esse cenário se justifica pela natureza dessas decisões, que envolvem elevados investimentos e impactam diretamente no custo total de distribuição física (LACERDA, 2000), já que influenciam diretamente as decisões relativas aos estoques e transportes.

Especificamente no caso brasileiro, Yoshizaki (2002) constata que a estrutura tributária nacional se apresenta como um aspecto relevante e que impacta diretamente o planejamento de redes logísticas. Dessa forma, o presente estudo desenvolveu um modelo de programação matemática para o planejamento de redes logísticas que considera simultaneamente os custos de transporte, os custos de estoques e os aspectos tributários. A partir de Montebeller Júnior (2009) como referência, o modelo aqui proposto observou premissas menos restritivas para torná-lo mais aderente à realidade, sendo posteriormente aplicado no estudo de caso da Nova Braskem – empresa da indústria petroquímica brasileira que nos últimos anos experimentou movimentos de consolidação.

Além de orientações sobre a configuração ótima da rede logística, o estudo de caso também deve contemplar a aferição dos ganhos potenciais relativos à aplicação do modelo por meio de análise de cenários e análises de sensibilidade. Especificamente, espera-se apreciar os *trade-offs*¹ relativos às principais premissas assumidas e seus impactos na tomada de decisão.

¹ De acordo com Wanke e Magalhães (2011), *trade-off* representa uma situação em que precisa abrir mão de uma característica para ganhar em outra, quando as opções são conflitantes. Em logística, os *trade-offs* mais comuns são entre custos e alguma outra característica como qualidade ou nível de estoques.

O artigo está estruturado em mais quatro seções além da introdução. A próxima seção trata do referencial teórico utilizado para construção do artigo. A seção 3 não apenas apresenta os modelos de localização de instalações que serviram como base para revisão de literatura, mas também o modelo proposto. A seção 4 apresenta a metodologia utilizada para aplicação do modelo proposto, a análise do estudo de caso e a discussão dos resultados relativos à aplicação do modelo na Nova Braskem. A seção 5 trata das conclusões e das implicações gerenciais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS QUE INFLUENCIAM O PLANEJAMENTO DE REDES LOGÍSTICAS

No caso de uma empresa em operação, há diversos fatores que não devem ser negligenciados durante um eventual processo de reavaliação de sua rede logística. Tais fatores são a demanda, o serviço ao cliente, as características dos produtos e os custos logísticos, sobretudo os de transporte e armazenagem (AMBROSINO; SCUTELLÀ, 2005; BALLOU, 2006; BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2006; FIGUEIREDO; FLEURY; WANKE, 2003; WANKE, 2001; FIGUEIREDO et al., 2002). Especificamente para a realidade brasileira, Yoshizaki (2002) constata que os aspectos tributários – em especial, a estrutura das alíquotas interestaduais do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) – impactam de sobremaneira o desenho de uma rede logística.

Os custos de transporte são frequentemente os mais visíveis no planejamento de redes logísticas, podendo atingir até cerca de 30% do total (BALLOU, 2006; BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2006; FIGUEIREDO; FLEURY; WANKE, 2003). Em seguida, destacam-se os custos de armazenagem, cuja maior parcela está muitas vezes relacionada aos custos fixos de abertura e operação das instalações; esses custos tendem a crescer em degrau (WANKE, 2001). De menor magnitude, mas também relevantes na literatura internacional, destacam-se os custos de oportunidade de manutenção dos estoques (BALLOU, 2006).

Especificamente com relação aos tributos incidentes em operações logísticas, Ribeiro (1999) conceitua esses tributos como transacionais, ocorrendo quando há a “exteriorização” do fato gerador de um imposto – situação ou evento previsto hipoteticamente em lei, de forma abstrata, mas que, uma vez ocorrido, faz surtir para uma determinada pessoa física ou jurídica, a obrigação de pagar tributo (KOYAMA; WEFFORT; SESSAK, 1996 apud SILVA, 2007). Yoshizaki

(2002) complementa afirmando que cada imposto possui um conjunto de fatos geradores específicos.

Dentre as diversas operações logísticas estudadas por Ribeiro (1999), foi possível constatar que a incidência de diversos tributos, sendo que o ICMS incide sobre todas as operações logísticas ligadas à distribuição física. Mais precisamente, o ICMS pode ser conceituado como um tributo indireto de competência dos Estados e do Distrito Federal (ZANLUCA, 2010).

A determinação das alíquotas aplicáveis às operações interestaduais e de exportação faz parte da competência do Senado Federal (CALCIOLARI, 2006), assim como a fixação das alíquotas máximas e mínimas nas operações intraestaduais. Todavia, a definição das alíquotas intraestaduais aplicadas são deliberações estaduais que respeitam limites estabelecidos *a priori* (cf. Tabela 1). Assim, cada Estado da União possui uma alíquota definida para cada tipo de produto e/ou operação comercial (compra, venda e transferência). Acrescenta-se ainda que a concessão de isenções, incentivos e benefícios relativos ao ICMS é parte integrante da atribuição dos Estados.

TABELA 1

ALÍQUOTAS INTRAESTADUAIS

OPERAÇÕES INTRAESTADUAIS		OPERAÇÕES INTERESTADUAIS		
ORIGEM/DESTINO	ALÍQUOTA	ORIGEM	DESTINO	ALÍQUOTA
Rio de Janeiro	19%	Rio de Janeiro	Regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste ou Espírito Santo	8%
Paraná, São Paulo ou Minas Gerais	18%	Rio de Janeiro	Minas Gerais, São Paulo ou Região Sul	13%
Demais Estados	17%	Minas Gerais, São Paulo ou Região Sul	Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo ou Região Sul	12%
		Minas Gerais, São Paulo ou Região Sul	Regiões Centro-Oeste, Nordeste, Norte ou Espírito Santo	7%
		Demais Estados	Regiões Centro-Oeste, Nordeste, Norte, Sudeste ou Sul	12%

Fonte: Conselho Nacional de Política Fazendária (2004).

Atualmente, Calciolari (2006) observa que os Estados concedem benefícios e isenções à revelia do Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz). Tais medidas objetivam a atração de investimentos privados que, posteriormente, alavancariam o desenvolvimento regional. A manutenção dessas políticas desencadeia o fenômeno conhecido como “guerra fiscal”. Todavia, Nascimento (2008) vislumbra que os potenciais benefícios a serem usufruídos pelo eventual vencedor de um conflito fiscal se restringem a uma visão de curto prazo.

Ressalta-se que a empresa pode se posicionar de duas maneiras distintas em relação à eventual economia com impostos para o consumidor final. Na primeira delas, vislumbra-se um potencial para aumento na participação de mercado, tendo em vista o repasse da redução dos impostos no preço final. A segunda oportunidade, também conhecida como elisão fiscal, é apropriação da economia gerada para o consumidor a partir do diferencial de alíquotas, ou seja, a empresa aumentaria a sua margem de tal maneira que o custo do produto para o elo seguinte fosse o mesmo de um fornecimento intraestadual.

Constata-se então que, dentro da estrutura atual do ICMS, a elisão fiscal emerge como alternativa para auferir ganhos econômicos. Contudo, não se podem negligenciar os outros componentes inerentes à rede logística como o aumento dos custos de transporte relativos ao “turismo de mercadorias”, ou seja, quando a mercadoria é movimentada desnecessariamente entre entes da Federação em busca de benefícios fiscais e/ou de ganhos relacionados à prática da elisão fiscal. O mesmo não deve ultrapassar os ganhos com questões tributárias; o nível de serviço prestado não deve ser impactado devido ao aumento do *lead-time*² de ressuprimento etc.

3 MODELOS DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

Os modelos de localização de instalações foram categorizados conforme sugestão de Montebeller Júnior (2009) em modelos de localização de instalações que desconsideram os custos de manutenção de estoques; modelos de localização de instalações que consideram os custos de manutenção de estoques de forma simplificada; e modelos de localização de instalações que consideram

² De acordo com Wanke e Magalhães (2011), o *lead-time* de ressuprimento deve ser entendido como o tempo de compra mais o tempo de transporte. Também conhecido como *lead-time* logístico, ou tempo de ciclo total, é o tempo decorrido desde a emissão de uma ordem a um fornecedor até o atendimento da ordem do cliente final. Também chamado em português de tempo de resposta, para designar o tempo compreendido entre o início da primeira atividade até a conclusão da última, em uma série de atividades.

os efeitos de centralização de estoques. Adicionalmente, foi acrescida uma nova categoria relativa aos modelos de localização de instalações que consideram os efeitos dos aspectos tributários. No Quadro I, apresentam-se os autores dos modelos utilizados como referência para a elaboração do modelo proposto no presente artigo.

QUADRO I

AUTORES DOS MODELOS DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES ESTUDADOS PARA A ELABORAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

AUTORES DE MODELOS DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES QUE DESCONSIDERAM OS CUSTOS DE MANUTENÇÃO DE ESTOQUES	AUTORES DE MODELOS DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES QUE CONSIDERAM OS CUSTOS DE MANUTENÇÃO DE ESTOQUES SIMPLIFICADOS	AUTORES DE MODELOS DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES QUE CONSIDERAM EFEITOS DE CENTRALIZAÇÃO DOS ESTOQUES	AUTORES DE MODELOS DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES QUE CONSIDERAM OS EFEITOS DOS ASPECTOS TRIBUTÁRIOS*
Hakimi (1964)			Yoshizaki (2002)
Hakimi (1965)	Jayaraman (1998)		Morabito e
Minieka (1970)	Jayaraman e Pirkul (2001)	Das e Tyagi (1997)	Junqueira (2006)
Elzinga e Hearn (1972)		Das e Tyagi (1999)	Silva (2007)
Church e Revelle (1974)	Martos e Yoshizaki (1999)	Croxton e Zinn (2005)	Morabito e
Brandeau e Chiu (1989)		Montebeller Júnior (2009)	Junqueira (2008)
Owen e Daskin (1998)	Ambrosino e Scutellà (2005)		Yoshizaki (2008)
Nozick e Turnquist (2001)	Davariz (2006)		Carraro (2009)
Miranda e Garrido (2004)			Wanke, Montebeller Júnior e Tardelli (2009)

* Esses modelos já foram utilizados para avaliar redes logísticas nacionais.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Ressalta-se que o modelo de Montebeller Júnior (2009) tem particular contribuição para a literatura de planejamento de redes por apresentar uma formulação menos restritiva para o problema de localização de instalações. Seu modelo considera, sem simplificações: os custos de estoque de ciclo e de segurança; as incertezas da demanda e do *lead-time* de ressuprimento; e as correlações existentes entre as demandas dos mercados. Não obstante, em seu modelo é flexibilizada a forma de alocação dos estoques, de modo que o atendimento dos mercados a partir de múltiplas instalações se faça possível. Especificamente em relação aos

modelos já aplicados na indústria nacional que consideram o aspecto tributário, foi observada a ausência dos custos relativos à manutenção de estoques. Portanto, constata-se essa lacuna como um dos diferenciais deste artigo.

3.1 MODELO PROPOSTO

O modelo proposto foi desenvolvido a partir da expansão do modelo de Montebeller Júnior (2009), e algumas de suas premissas originais foram alteradas para que o modelo aqui apresentado estivesse mais aderente com a realidade do estudo de caso. Entre as alterações, cabe destacar que o modelo ora proposto considera:

- k fábricas (com localização fixa e predeterminada) em sua rede logística, onde $k \geq 1$;
- r produtos a serem transportados e estocados na rede, onde $k \geq 1$;
- custos de transporte (R\$/unidade) relativos ao suprimento dos armazéns pelas fábricas, em vez de custos unitários de ressuprimento (R\$/unidade/dia) em função do *lead-time* da fábrica para cada armazém;
- a possibilidade de distribuição direta da fábrica para os mercados;
- aspectos tributários (ICMS) em sua modelagem.

A rede logística é composta de três estágios. O primeiro deles é referente às instalações fabris; o segundo, ao conjunto de armazéns; já o terceiro elo compete aos mercados consumidores. Dessa forma, o custo total da rede é dado pela Equação (1);

$$CT_{Rede} = CT_{Ressup} + CT_{Dist} + CT_{EC/CP} + CT_{ES} + CT_{ICMS} \quad (1)$$

CT_{Rede} = Custo total da rede;

CT_{Ressup} = Custo total de ressuprimento dos armazéns;

CT_{Dist} = Custo de distribuição para os mercados;

$CT_{EC/CP}$ = Custo de manutenção dos estoques de ciclo e colocação de pedidos;

CT_{ES} = Custo de manutenção dos estoques de segurança;

CT_{ICMS} = Custo tributário relativo ao ICMS.

Evidencia-se que a componente relativa ao custo de distribuição para os mercados é composta de duas parcelas distintas. A primeira delas é relativa ao atendimento ao mercado consumidor diretamente da fábrica, e a segunda, à distribuição escalonada pelos armazéns. Com relação ao cálculo que apura o saldo do

custo tributários do ICMS da rede, este é calculado a partir dos débitos reduzindo os créditos. A formulação matemática dos aspectos fiscais foi desenvolvida com base em Wanke, Montebeller Júnior e Tardelli (2009).

Assim como Montebeller Júnior (2009), o modelo proposto possibilita o atendimento a um mesmo mercado por meio de mais de um armazém (prática que em inglês se chama *cross-filling*, não havendo tradução adequada para o português) e considera simultaneamente os estoques de ciclo, segurança, as correlações de demanda e a variabilidade dos *lead-times* de ressuprimento. Ainda de acordo com o mesmo autor, a partir dessas considerações, o modelo já constitui uma contribuição para a literatura, tendo em vista que a consideração dos custos relativos aos estoques, em grande parte modelos de localização, é simplificada pelo uso de linearizações ou mesmo negligenciada. Adicionalmente, a consideração de múltiplas fábricas/produtos, da possibilidade de distribuição direta pelas fábricas e dos aspectos fiscais torna o modelo proposto muito menos restritivo e mais aderente à realidade. A formulação matemática é apresentada a seguir:

Conjuntos:

i, l = Índice de um mercado;

j = Índice de um potencial armazém na rede;

f = Índice de uma fábrica;

p = Índice de um produto.

Parâmetros (entre parênteses: a unidade de medida):

n = Número total de mercados;

m = Número de possíveis localidades para um armazém;

k = Número total de fábricas;

r = Número total de produtos;

Aa_{jfp} = Custo unitário de colocação de pedido do produto p no armazém j para a fábrica f (\$/pedido);

Ca_{jp} = Custo unitário de manutenção de estoques do produto p no armazém j (\$/unidade);

Db_{ip} = Demanda média do produto p no mercado i (unidades/dia);

ρ_{ilp} = Correlação entre as demandas médias do produto p nos mercados i e l ;

La_{fjp} = *Lead-time* médio de ressuprimento do produto p da fábrica f para o armazém j (dias);

σ_{Dbip} = Desvio padrão da demanda do produto p do mercado i (unidades/dia);

$\sigma_{La fjp}$ = Desvio padrão do *lead-time* de ressuprimento do produto p da fábrica f para o armazém j (dias);

ka_{jp} = Nível de serviço no armazém j para o produto p (fator de segurança que reflète o nível de proteção em relação aos *stock-outs*);

T_{ijp} = Custo unitário de transporte na distribuição do produto p entre mercado i e armazém j (\$/unidade);

Tr_{fjp} = Custo unitário de transporte no suprimento do produto p da fábrica f para o armazém j (\$/unidade);

$Tfab_{fip}$ = Custo unitário de transporte na distribuição direta do produto p da fábrica f para o mercado i (\$/unidade);

$CapFab_{fp}$ = Capacidade de produção do produto p da fábrica f (unidades);

$CProd_{fp}$ = Custo unitário de produção do produto p na fábrica f (\$/unidade);

$Preco_p$ = Preço unitário de venda do produto p (\$/unidade);

$I_Fab_CD_{fj}$ = Alíquota de ICMS incidente no fluxo de mercadoria da fábrica f para o armazém j (%);

$I_Fab_Merc_{fi}$ = Alíquota de ICMS incidente no fluxo de mercadoria da fábrica f para o mercado i (%);

$I_CD_Merc_{ij}$ = Alíquota de ICMS incidente no fluxo de mercadoria do armazém j para o mercado i (%);

$CredFab_f$ = Crédito de ICMS acumulado pela fábrica f (\$).

Variáveis:

$Wijp$ = Proporção da demanda média do produto p do mercado i atendida pelo armazém j ;

$Wfab_{ifp}$ = Proporção da demanda média do produto p do mercado i atendida diretamente pela fábrica f ;

Y_{fjp} = Variável binária que indica se a fábrica f realiza o suprimento do produto p para o armazém j ;

$Y_{fjp} = \begin{cases} 1, & \text{se a fábrica } f \text{ realiza o suprimento do produto } p \text{ para o armazém } j, \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$

Função objetivo:

$$\text{Minimizar } CT_{Rede} = CT_{Ressup} + CT_{Dist} + CT_{EC/CP} + CT_{ES} + CT_{ICMS} \quad (2)$$

Sujeito às seguintes restrições:

$$\sum_{j=1}^m W_{ijp} + \sum_{f=1}^k Wfab_{ifp} = 1 \quad \forall i, p, \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n Y_{fjp} W_{ijp} Db_{ip} + \sum_{i=1}^n Wfab_{ijp} Db_{ip} \leq CapFab_{jp} \quad \forall f,p, \quad (4)$$

$$\sum_{f=1}^k Y_{fjp} = 1 \quad \forall i,p, \quad (5)$$

$$\text{Débitos} - \text{Créditos} \geq 0, \quad (6)$$

$$0 \leq W_{ijp} \leq 1, \quad (7)$$

$$0 \leq Wfab_{ijp} \leq 1, \quad (8)$$

$$Y_{fjp} \in \{0,1\}, \quad \forall f,j,p. \quad (9)$$

Em que:

$$CT_{Ressup} = \sum_{p=1}^r \sum_{j=1}^m \sum_{f=1}^k \sum_{i=1}^n Y_{fjp} Tr_{fjp} W_{ijp} Db_{ip}, \quad (10)$$

$$CT_{Distfab} = \sum_{p=1}^r \sum_{f=1}^k \sum_{i=1}^n Tfab_{fjp} Wfab_{ijp} Db_{ip}, \quad (11)$$

$$CT_{DistCD} = \sum_{p=1}^r \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n T_{ijp} W_{ijp} Db_{ip}, \quad (12)$$

$$CT_{EC/CP} = \sum_{p=1}^r \sum_{j=1}^m \sum_{f=1}^k Y_{fjp} \sqrt{2 Aa_{ijp} Ca_{jp} \sum_{i=1}^n W_{ijp} Db_{ip}}, \quad (13)$$

$$CT_{ES} = \sum_{p=1}^r \sum_{j=1}^m \sum_{f=1}^k Y_{fjp} ka_{jp} Ca_{jp} \quad (14)$$

$$\sqrt{La_{fjp} \left(\sum_{i=1}^n W_{ijp}^2 \sigma_{Dbip}^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^{i-1} W_{ijp} W_{ilp} \rho_{ilp} \sigma_{Dbip} \sigma_{Dbip} \right) + \sigma_{Lafjp}^2 \left(\sum_{i=1}^n W_{ijp} Db_{ip} \right)^2},$$

$$\begin{aligned}
 \text{Débitos} = & \sum_{p=1}^r \sum_{j=1}^m \sum_{f=1}^k \sum_{i=1}^n Y_{fjp} W_{ijp} Db_{ip} CProd_{jp} I_{FABCDff} + \sum_{p=1}^r \sum_{f=1}^k \sum_{i=1}^n Wfab_{ijp} Db_{ip} Preco_p I_{FABMerfj} \\
 & + \sum_{p=1}^r \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n W_{ijp} Db_{ip} Preco_p I_{CD_MERC_{ij}}, \tag{15}
 \end{aligned}$$

$$\text{Créditos} = \sum_{f=1}^k CredFab_f + \sum_{p=1}^r \sum_{j=1}^m \sum_{f=1}^k \sum_{i=1}^n Y_{fjp} W_{ijp} Db_{ip} CProd_{jp} I_{FAB_CD_{ff}} \tag{16}$$

A restrição (3) garante que a demanda da rede seja plenamente atendida pelas fábricas e/ou armazéns. A restrição (4) assegura que a capacidade produtiva de cada fábrica seja respeitada. Já a restrição (5) indica que o suprimento de cada armazém somente poderá ser realizado por uma única fábrica. Destarte, faz-se com que seja proibida a prática denominada de *order splitting*, que ocorre quando um armazém gerencia de forma independente o seu ressuprimento e divide os seus pedidos entre múltiplos fornecedores (EVERS, 1999). Essa restrição está alinhada com a posição de Thomas e Tyworth (2006), dada a ausência de evidências empíricas sobre as vantagens dessa prática. As três restrições em conjunto são responsáveis por preservar o balanço de massa da rede. A restrição (6) certifica que o saldo de ICMS da rede seja devedor (positivo), ou seja, que não haja acúmulo de créditos para posterior recuperação e, por conseguinte, capital empatado. Por fim, as últimas estabelecem os limites das variáveis de decisão, sejam elas contínuas (W_{ijp} e $Wfab_{ijp}$) ou binárias (Y_{fjp}).

A modelagem não considera os custos relativos à abertura das instalações (fábricas e armazéns) para estar aderente com a realidade de reavaliação da rede logística a ser apresentada no estudo de caso.

De acordo com a formulação matemática apresentada, o modelo proposto se enquadra como um Problema de Programação Não Linear Inteira Mista (MINLP, sigla em inglês). Quando comparada com problemas de Programação Inteira e Programação Não Linear (MIP e NLP, respectivas siglas em inglês), a resolução desse tipo de problema é muito mais complexa e dispendiosa computacionalmente (GROSSMANN, 2002). Por isso, além das contribuições científicas apresentadas à luz do planejamento de redes, o artigo também subsidia o desenvolvimento de um campo ainda incipiente na literatura, conforme é discutido na seção seguinte.

3.2 PREMISSAS, DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO CONCEITUAL

O modelo de MINLP em questão foi desenvolvido na plataforma do *software* Advanced Integrated Multidimensional Modeling Software 3.11 (AIMMS), que é considerado adequado para a modelagem de problemas de otimização (FERREIRA FILHO; IGNACIO, 2004).

Por ser uma extensão de Montebeller Júnior (2009), optou-se, primeiramente, pela implantação desse modelo de referência. Em seguida, conforme o experimento realizado em seu trabalho, foi conduzida a geração de dez mil cenários com valores aleatórios para os parâmetros do problema que, por sua vez, seguiram um padrão de distribuição uniforme contínua – para detalhamento dos limites, ver Montebeller Júnior (2009). Foi utilizado o *solver* LGO 1.0 (*Lipschitz-Continuos Global Optimizer*) para a otimização dos dez mil cenários. Por fim, a validação dos resultados foi realizada por meio da comparação das principais estatísticas descritivas utilizadas pelo autor relativas às políticas de alocação de estoques e aos custos da rede.

De posse desses resultados, iniciou-se a implantação do modelo aqui apresentado, a partir da alteração de algumas das premissas do modelo referencial. Para tal, fez-se necessário seguir um procedimento metodológico que norteasse cada alteração das premissas originais de Montebeller Júnior (2009) e, por conseguinte, de sua modelagem. Tal procedimento seguiu os seguintes passos: 1. definição da alteração na modelagem; 2. desenvolvimento do modelo de programação matemática; 3. implantação do modelo em AIMMS; 4. preparação, implantação e otimização dos dez mil cenários; 5. consolidação e análise; 6. validação das análises (caso não aprovada, retorno ao processo no passo 2); 7. modelo validado com nova premissa.

Vale destacar que cada alteração de premissa/modelagem foi realizada individualmente e que a consideração de mais de uma nova premissa fez-se a partir da união de duas premissas individualmente implantadas e também seguiu o referido procedimento. Dentre todas as alterações realizadas, a consideração de fábricas pode ser considerada como a de maior ruptura, porque foi a única que demandou a alteração da tipologia original do problema de NLP para MINLP. A partir de então, a utilização isolada do *solver* LGO 1.0 se fez inviável e passou a ser substituída pelo algoritmo AOA (AIMMS *Outer Approximation*). Na resolução dos problemas de MINLP, o AOA utiliza um conjunto de dois outros *solvers*; um deles para a resolução de modelos MIP e o outro para NLP. O primeiro deles é o CPLEX 12.3, e o segundo, o CONOPT 3.14G.

As premissas utilizadas no desenvolvimento teórico do modelo de programação matemática foram:

1. As k fábricas têm sua localização fixa e predeterminada.
2. Os mercados consumidores têm sua localização fixa e predeterminada.
3. As possíveis localidades dos armazéns são predeterminadas e finitas.
4. O número de armazéns é finito e no máximo igual ao número de possíveis localidades.
5. Há r produtos a serem transportados e estocados na rede.
6. As demandas dos mercados são variáveis aleatórias independentes, com correlação e desvios padrão diferentes de zero.
7. A correlação entre a demanda de dois produtos distintos é nula.
8. Os *lead-times* de ressuprimento entre as fábricas e os armazéns são variáveis aleatórias independentes, com desvio padrão diferente de zero.
9. Os mercados podem ser servidos por mais de um armazém, ou seja, pode haver *cross-filling*; por meio da distribuição direta das fábricas ou até mesmo, simultaneamente, pelos armazéns e pelas fábricas.
10. São considerados os estoques de ciclo e estoques de segurança nos armazéns.
11. Não são considerados estoques para a fábrica e mercados consumidores.
12. São considerados os níveis de serviço requeridos por cada mercado na forma de um fator de segurança que garante uma determinada probabilidade de não ocorrência de *stock-outs*. Além disso, o fator é o mesmo para todos os armazéns e produtos.
13. O modelo de gestão de estoques nos armazéns é do tipo LEC e ponto de pedido.
14. Os custos unitários de transporte entre as fábricas e os armazéns (ressuprimento) são função das distâncias entre eles e são medidos em R\$/unidade.
15. Os custos de unitários de transporte entre os armazéns e os mercados dependem das distâncias entre eles e são medidos em R\$/unidade.
16. Os custos de unitários de transporte entre as fábricas e os mercados dependem das distâncias entre eles e são medidos em R\$/unidade.
17. O ICMS é calculado no modelo somente pela agregação de valor do preço de venda em relação ao custo de produção.

A preparação dos dez mil cenários é a atividade mais importante do passo 4, já que o modelo de Montebeller Júnior (2009) pode ser considerado como um caso específico do modelo proposto. Assim, faz-se necessário considerar a mesma rede logística utilizada pelo autor composta de uma instalação fabril, cinco armazéns, cinco mercados consumidores e um único produto a ser transportado.

A Tabela 2 apresenta o alinhamento entre os parâmetros do modelo de Montebeller Júnior (2009) e o modelo aqui desenvolvido.

TABELA 2

**PARÂMETROS UTILIZADOS NA VALIDAÇÃO
CONCEITUAL DO MODELO**

PARÂMETRO DO MODELO DA DISSERTAÇÃO	PARÂMETRO DE MONTEBELLER JÚNIOR (2009)	MÍNIMO	MÁXIMO
Aa_{jfp} (\$/Pedido)	A_{aj} (\$/Pedido)	17	67
Ca_{jp} (\$/Unidade/dia)	Ca_j (\$/Unidade/dia)	0,35	0,68
Db_{ip} (Unidades/dia)	D_{bi} (Unidades/dia)	80	120
ρ_{ip}	ρ_{ii}	-1	1
La_{jfp} (Dias)	L_{aj} (Dias)	1	5
σ_{Dbip} (Unidades/dia)	σ_{Dbi} (Unidades/dia)	3	30
$\sigma_{La_{jfp}}$ (Dias)	$\sigma_{L_{aj}}$ (Dias)	0,5	2
ka_{jp}	k_{aj}	1	1
T_{ijp} (\$/Unidade)	T_{ij} (\$/Unidade)	0,5	1
-	S (\$/Unidade/dia)	0,8	1
Tr_{jfp} (\$/Unidade)	$S \times L_{aj}$	0,8	5
$Tfab_{jfp}$ (\$/Unidade)	-	Infinito	
$CapFab_{fp}$ (\$/Unidades)	-	Infinito	
$CProd_{fp}$ (\$/Unidade)	-	0	
$Preco_p$ (\$/Unidade)	-	0	
$I_{Fab_CD_{ij}}$ (%)	-	0	
$I_{Fab_Merc_{ij}}$ (%)	-	0	
$I_{CD_Merc_{ij}}$ (%)	-	0	
$CredFab_f$ (\$)	-	0	

Nota: A adoção de parâmetros iguais a infinito ($Tfab_{jfp}$, $CapFab_{fp}$) ou zero ($CProd_{fp}$, $Preco_p$, $I_{Fab_CD_{ij}}$, $I_{Fab_Merc_{ij}}$, $I_{CD_Merc_{ij}}$, $CredFab_f$) objetiva desconsiderar seus efeitos na otimização dos dez mil cenários.

Fonte: Adaptada de Montebeller Júnior (2009).

Finalmente, explorar-se-á a etapa de consolidação e análise. Após a otimização dos dez mil cenários e o tratamento dos resultados, é apresentada na Tabela 3 a comparação entre as políticas de alocação de estoques encontradas na validação do modelo desenvolvido e as de Montebeller Júnior (2009).

TABELA 3

**COMPARATIVO DE POLÍTICAS DE ALOCAÇÃO DE ESTOQUES:
MODELO MONTEBELLER JÚNIOR (2009) VERSUS MODELO
DESENVOLVIDO**

POLÍTICA	CONFIGURAÇÃO DA REDE	TOTAL	TOTAL
CET	CET	9.437	9.375
Mista	SCE	563	625
	SCE_CF		
	SCE_CF_SI		
	SCE_SI		
Total		10.000	10.000

CET = centralização total; SCE = subcentralização; SCE_CF = subcentralização e *cross-filling*; SCE_CF_SI = subcentralização, *cross-filling* e sistema independente; SCE_SI = subcentralização e sistema independente.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Ainda que pesem a aleatoriedade dos parâmetros gerados, as alterações de premissas e de modelagem realizadas a partir do modelo de Montebeller Júnior (2009) e, principalmente, a mudança do *solver* utilizado na resolução do problema, os resultados encontrados por intermédio do modelo aqui desenvolvido se mostram extremos com aproximadamente 1% de desvio, corroborando sua validação conceitual.

Por fim, a última análise realizada para validação do modelo desenvolvido diz respeito à comparação das componentes de custo da função objetivo de cada modelo. Para tanto, utilizou-se como métrica o desvio percentual entre os custos do modelo e os de Montebeller Júnior (2009):

$$Desvio_x = \left(\frac{CT_x - CT0_x}{CT0_x} \right) \quad (17)$$

onde $Desvio_x$ = Desvio no cenário x , tal que $0 \leq x \leq 10.000$; CT_x = Componente de custo do modelo desenvolvido no cenário x ; CTo_x = Componente de custo do modelo de Montebeller Júnior (2009) no cenário x . As componentes de custo consideradas foram: custo total da rede, custo total de transporte e custo total manutenção de estoques (ciclo e segurança).

4 ESTUDO DE CASO

4.1 CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS

Tomando-se como ponto de partida as características peculiares deste estudo – a saber, a análise da questão fiscal brasileira à luz de uma modelagem mais completa da rede logística – o método do estudo de caso mostra-se como o instrumento de pesquisa mais apropriado para lidar com todas as possíveis implicações do fenômeno e também para capturá-las. Isso ocorre porque os estudos de caso apresentam as seguintes características (YIN, 1994): 1. permitem responder a questões do tipo como e por quê; 2. visam ao estabelecimento de ligações operacionais entre conceitos, hipóteses e questões, ao invés de buscar a determinação da frequência ou da incidência de um determinado fenômeno; 3. proporcionam uma ação reveladora e exploratória no que diz respeito ao fenômeno em estudo quando todas as suas implicações e facetas possíveis não foram completamente consideradas no referencial teórico; 4. permitem a coleção de evidências contemporâneas, por meio de observação direta e entrevistas sistemáticas. Especificamente, os itens 3 e 4 são tratados nas seções a seguir. Ademais, ressalta-se que todos os dados utilizados no estudo de caso são de domínio público, ou seja, foram utilizadas fontes secundárias para desenvolvimento e teste do modelo proposto. Entre as principais fontes, encontram-se os relatórios publicados pela Braskem, o *Guia Quatro Rodas* e o *QuiMax Prices*.

4.2 CONTEXTO HISTÓRICO

Após a consolidação da indústria petroquímica nacional, em 2010, formou-se a Nova Braskem, cuja rede logística foi composta pela união das redes originais da Braskem e da Quattor. Para testar o modelo desenvolvido, procedeu-se à sua aplicação ao caso da Nova Braskem, pois, após a integração dos ativos na formação da nova empresa, tornar-se-ia essencial uma reavaliação profunda da rede logística. Em adição, a Braskem (2011a) vislumbrava que, em 2011, R\$ 400 milhões poderiam vir a ser capturados em sinergias decorrentes da integração

entre as empresas, e a maior parte desse montante se concentraria em iniciativas de cunho industrial e logístico. Ademais, na esfera industrial, far-se-ia possível o aprimoramento do planejamento de produção e vendas das diversas unidades industriais – como a definição do melhor *mix* de produção para cada planta. Na plataforma logística, enfatizar-se-iam os ganhos com transporte, decorrentes de um melhor planejamento de vendas para mercado interno e externo, distribuição e armazenagem.

Portanto, dada a concepção da rede logística e o expressivo potencial de retorno financeiro atrelado à formação da Nova Braskem, objetiva-se determinar qual seria a rede logística ótima para a empresa (*design* e operação), além de verificar qual seria o ganho potencial atrelado a essa revisão da rede logística.

Para a aplicação do modelo desenvolvido, foram considerados os seguintes aspectos da rede logística formada após a consolidação das redes das empresas: os produtos polietileno (PE), polipropileno (PP) (BRASKEN, 2011a); a demanda agregada por Estado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO, 2010); os preços em R\$/t (fornecidos pelo portal especializado Qui-Max Prices (2011), estimados com base na média de cada produto para o quarto trimestre de 2010); os custos de transporte rodoviário (estimados por veículo padrão do tipo carreta com cavalo simples e 30 toneladas de capacidade) (GUIA QUATRO RODAS, 2011; INTELIGÊNCIA EM GESTÃO LOGÍSTICA, 2006; NCT; LOGÍSTICA, 2011; ZAP LOGÍSTICA, 2011); os custos de manutenção de estoque (BANCO BRADESCO BBI, 2010; BRASKEN, 2011b); e os níveis de serviço ao cliente de cada um dos mercados consumidores.

No caso brasileiro, soma-se ainda a consideração do ICMS na reavaliação da rede logística. Por isso, alguns comentários são tecidos a seguir para melhor entendimento da aplicação do modelo.

Primeiramente, os parâmetros relativos às alíquotas de ICMS aplicadas na circulação de mercadorias entre os diversos Estados da Federação – $I_{Fab_CD_{ij}}$, $I_{Fab_Merc_{ij}}$ e $I_{CD_Merc_{ij}}$ – foram extraídos diretamente da Tabela 1 (CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA, 2004). Por sua vez, a estimação do parâmetro referente ao crédito de ICMS acumulado pelas fábricas da rede ($Cred_{Fab_{ij}}$) – oriundo de suas operações de compra/recebimento de insumos – merece particular atenção, pois algumas simplificações foram assumidas. Inicialmente, cabe destacar que o acúmulo de débitos ou créditos anteriores ao período de análise (4º trimestre de 2010) foi desconsiderado.

Em seguida, realizou-se um levantamento da produção (PE e PP) de cada empresa no referido trimestre e, posteriormente, um rateio proporcional pela capacidade de cada fábrica ($Cap_{Fab_{ij}}$) (BRASKEM, 2011b). Adicionalmente, estimou-se – a partir dos rendimentos divulgados por Braskem (2011b) – a neces-

sidade de petroquímicos básicos – eteno e propeno – para as respectivas produções de PE e PP no período. Somente esses dois produtos (eteno e propeno) foram considerados, pois representam os custos mais relevantes nos processos produtivos de PE e PP. Para a Braskem (2011a), por exemplo, tais produtos responderam por, aproximadamente, 90% dos custos variáveis associados às suas respectivas unidades fabris.

O próximo passo foi mapear a origem do suprimento dos petroquímicos básicos. O fornecimento de eteno – tanto para Braskem quanto para Quattor – é realizado diretamente a partir das plantas de primeira geração contíguas às de PE (BRASKEM, 2011a); logo, caracterizam um fluxo intraestadual de circulação de mercadorias.

4.3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

De acordo com Davariz (2006), o planejamento de redes logísticas é associado a inúmeras incertezas relativas a dados, premissas etc. Com o intuito de minimizar os riscos associados a elas, o autor pondera que análises de sensibilidade sejam utilizadas para conferir maior robustez às soluções encontradas. Já a análise de cenários se apresenta como outra importante ferramenta utilizada na avaliação dos resultados de um modelo de localização de instalações (SIMCHI-LEVI; SIMCHI-LEVI; KAMINSKY, 2003). Ela tem como objetivo principal quantificar os ganhos oriundos de uma eventual reavaliação da rede logística da empresa.

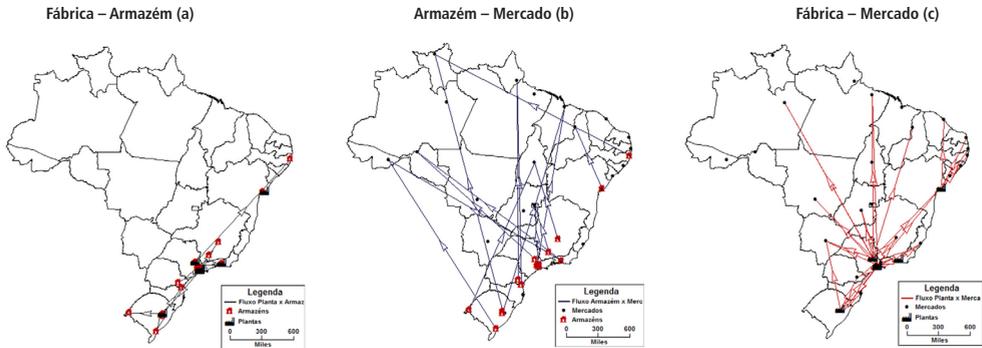
4.3.1 ANÁLISE DE CENÁRIOS

Para se verificar o potencial de agregação de valor (MOORI; BASSO; NAKAMURA, 2000) proveniente da operação integrada da Nova Braskem, fez-se necessário estimar os custos originais das redes logísticas da Braskem e da Quattor. Cabe destacar que a operação de todas as instalações de armazenagem mapeadas foi uma premissa assumida na tentativa de uma correta valoração dos custos logísticos de cada rede. Assim, estabelece-se que a otimização não deva levar ao fechamento de nenhuma instalação de armazenagem e, por conseguinte, que as redes não se apropriem completamente dos benefícios oriundos da aplicação do modelo.

Os fluxos do cenário integrado da Nova Braskem que utiliza a premissa de operação de todos os armazéns é apresentado na Figura 1. Nela, é possível constatar que a distribuição direta impera ante a escalonada, dado que a utilização dos armazéns é majoritariamente destinada a mercados de menor demanda.

FIGURA I

FLUXOS DA OTIMIZAÇÃO DA REDE LOGÍSTICA DA NOVA BRASKEM



Fonte: Elaborada pelos autores.

A utilização da distribuição direta prevalece, respondendo por, aproximadamente, 94% da demanda atendida de resinas. Nesse momento, deve-se atentar para a importância da confiabilidade da entrega direta a partir das instalações industriais. Quando a premissa relativa à operação de todos os armazéns é relaxada, o modelo tende a realizar a distribuição totalmente direta sem a utilização de nenhum armazém. Esse resultado, todavia, faz pouco sentido do ponto de vista empresarial. Esse aspecto será explorado novamente na seção “Análises de sensibilidade”.

A fim de quantificar os ganhos relativos à reavaliação da rede logística, foi realizada a análise dos três principais componentes de custos da função objetivo. A primeira parcela é relativa aos custos de manutenção de estoques, em que ocorre acréscimo no custo de R\$ 3.402 por dia. Esse aumento do custo de manutenção de estoques é decorrente do ligeiro aumento de participação da distribuição escalonada no atendimento da demanda total. Constatou-se que a operação integrada foi extremamente benéfica para os custos tributários da rede logística. Os ganhos relativos a esse componente foram os mais significativos, proporcionando uma redução de aproximadamente R\$ 323.085 por dia de economia com custo de ICMS. Ademais, foi possível constatar redução nos custos logísticos de transporte da ordem de aproximadamente R\$ 86.777 por dia. Tal economia é decorrente de uma melhor alocação dos mercados consumidores à rede. Na análise dos custos totais, constatou-se uma economia diária decorrente da operação integrada da Nova Braskem, com a aplicação do modelo proposto, da ordem de aproximadamente R\$ 406.000 por dia.

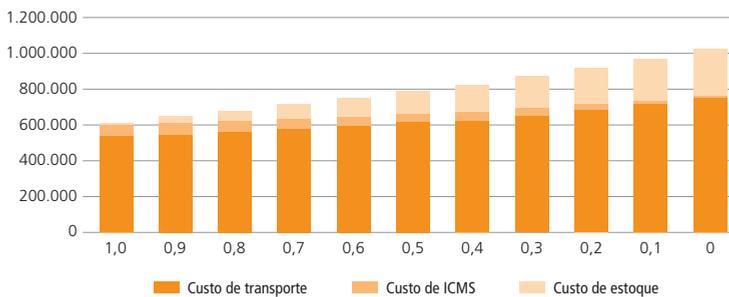
Para o horizonte considerado na análise (4º trimestre de 2010), a economia potencial se aproxima de R\$ 36,5 milhões. Adicionalmente, há perspectivas de ganhos adicionais em virtude do fechamento de armazéns subutilizados pela rede logística. Tais valores se mostram aderentes com as perspectivas de Braskem (2011a), que estima a captura de R\$ 400 milhões anuais em sinergias industriais e logísticas decorrentes da formação da Nova Braskem.

4.3.2 ANÁLISES DE SENSIBILIDADE

Com o intuito de apreciar melhor os *trade-offs* observados no estudo de caso em questão, a presente seção apresenta os resultados de algumas análises de sensibilidade desenvolvidas. A primeira delas é relativa à possibilidade de distribuição direta da fábrica. Dada a observância de predomínio dessa modalidade no estudo de caso, optou-se por limitar o valor da variável associada a essa premissa ($0 \leq Wfab_{ifp} \leq Wfab_{máx}$) e estudar o comportamento das componentes da função objetivo. O Gráfico 1 sumariza a referida análise:

GRÁFICO 1

EVOLUÇÃO DOS CUSTOS EM FUNÇÃO DA RESTRIÇÃO DE ATENDIMENTO DIRETO DA FÁBRICA (EM R\$/DIA)



Fonte: Elaborada pelos autores.

A presença dessa nova restrição força obrigatoriamente uma maior utilização dos armazéns da rede e, por conseguinte, implica maiores custos de manutenção de estoques. Graças a essa imposição, foi possível verificar o *trade-off* entre a logística e os aspectos tributários, enunciado por Yoshizaki (2002). À medida que se observa um aumento dos custos de transporte, também se constata uma redução dos custos relativos ao ICMS. Isso se justifica graças ao estímulo do “turismo de produtos” proporcionado pela atual estrutura de alíquotas do imposto. Ressalta-se que o “passeio de mercadorias” não foi verificado no estudo de caso,

pois o incremento relativo aos custos de transportes e estoques supera a potencial redução da parcela tributária.

Na comparação dos custos de transporte/ICMS entre o cenário referencial e a análise de sensibilidade, constatou-se, como na análise anterior, o mesmo *trade-off* entre logística e ICMS, em que um custo superior de transporte é contrabalançado por um custo tributário inferior. Nesse caso, a ausência do efeito dos custos relativos à manutenção dos estoques permite que tal compensação seja evidenciada facilmente.

No estudo de caso utilizado, o custo de ICMS passou de R\$ 97.324 no cenário de referência para somente R\$ 41.832 na análise de sensibilidade, o que representa uma redução de 43%. Já o custo de transporte saltou de R\$ 804.046 no cenário de referência para R\$ 823.807 na análise de sensibilidade, o que representa um crescimento de 2,5%.

Outra importante observação que deve ser destacada na referida análise é a participação dos três armazéns utilizados pela rede logística – Contagem (MG), Três Corações (MG) e Joinville (SC) –, caracterizando o fenômeno de elisão fiscal.

A última análise de sensibilidade teve por intuito examinar como a presença dos aspectos tributários impacta a configuração da rede logística. Para tanto, foi promovida a otimização da rede logística sem a presença desse componente na função objetivo.

A não consideração de tais custos implica minimização do custo de transporte, dado que não há estímulo para a utilização da distribuição escalonada. Por isso, sua comparação deve ser realizada com a otimização do cenário de referência sem a obrigatoriedade de operação de nenhum armazém. Os custos de transporte encontrados no cenário de referência foram de R\$ 801.363, enquanto na análise de sensibilidade, foram de R\$ 445.657, o que representa 55,6% do custo de transporte no cenário de referência.

A diferença nos custos de transporte evidenciada entre os dois cenários se deve unicamente à consideração do ICMS. Novamente, constata-se que os tributos influenciam a concepção da rede logística.

5 CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES GERENCIAIS

O presente estudo explorou o planejamento de redes logísticas a fim de reiterar a sua relevância para o campo teórico de estudo em logística. O alcance parcial de seus objetivos se deu a partir da proposição de um modelo de programação matemática que contemplou os custos logísticos relativos a transporte,

manutenção de estoques e aspectos tributários da realidade brasileira. A não linearização dos custos de estoques é um diferencial contemplado pelo estudo. Com a consideração de tais componentes em sua função objetivo, o modelo traz contribuições científicas à literatura do tema.

Em adição, por se tratar de um problema de Programação Não Linear Inteira Mista, há também uma contribuição para o campo da programação matemática. A utilização do *software* AIMMS foi crucial para o correto desenvolvimento tanto do modelo matemático proposto quanto do estudo de caso.

Após a aplicação no estudo de caso, com a análise de cenários, foi possível quantificar os ganhos relativos ao planejamento da concepção/operação da rede logística estudada e corroborar a importância do tema. Nesse contexto, constataram-se a preponderância dos custos logísticos de transporte ante as demais componentes da função objetivo e, por conseguinte, o porquê do favorecimento da distribuição direta perante a escalonada. Assim, o uso da primeira modalidade evita que sejam incorridos custos adicionais de transporte e estoque; cabe ressaltar que isso representa a minimização dos custos associados à manutenção de estoques na rede logística.

A confiabilidade no atendimento aos consumidores direto das fábricas emerge como uma importante questão que não pode ser negligenciada, uma vez que o nível de serviço prestado pela rede se faz totalmente dependente dela. Acrescenta-se que, por meio das análises de sensibilidade, foi possível apreciar os *trade-offs* relativos às principais premissas assumidas. Nesse momento, foram evidenciadas as compensações entre os custos de transporte e a contemporânea estrutura do ICMS.

Os ganhos observados mostraram o valor inerente à reavaliação na concepção/operação da rede estudada. Mesmo com o prevailecimento dos custos de transporte ante os demais, o aspecto fiscal (leia-se ICMS) se apresentou como o principal potencial de retorno financeiro a ser perseguido, e, dessa maneira, foi possível demonstrar o valor associado à questão dentro da atmosfera empresarial brasileira. Portanto, para o *design* ótimo de uma rede, confirma-se o defendido por Yoshizaki (2002) de que não é plausível a dissociação entre logística e planejamento tributário.

Ademais, dada a natureza do estudo de caso, é factível a consideração do planejamento de redes logísticas como um importante ferramental capaz de subsidiar a busca de sinergias em operações de fusões e aquisições de empresas. Há, por exemplo, diversos outros casos recentes no cenário empresarial brasileiro, como a fusão entre Sadia e Perdigão e entre outras empresas do agronegócio.

Como limitação do estudo, ressalta-se que a consideração dos custos relativos aos estoques nos armazéns coloca a distribuição escalonada em posição

desfavorável ante a distribuição direta. Portanto, a premissa de não levar em conta a acumulação de estoques nas fábricas é uma limitação que merece ser trabalhada em um estudo futuro.

Além disso, o determinismo associado aos fluxos de atendimento dos mercados consumidores (além de privilegiar a distribuição direta) aparece como uma limitação que pode impactar fortemente o nível de serviço a ser prestado pela rede logística. Desse modo, a consideração de uma variabilidade associada se apresenta como outra sugestão válida. Na mesma esfera, a consideração de diferentes modais de transporte emerge como outro aspecto a ser trabalhado futuramente.

Para dar continuidade aos estudos dos *trade-offs* entre logística e os aspectos tributários brasileiros, sugerem-se a inclusão de novos tributos (PIS, Cofins etc.) e a concessão de benefícios fiscais na modelagem de redes logísticas futuras.

Especificamente com relação ao estudo de caso, observa-se que a forma de agregação dos mercados consumidores deve ser aprimorada, uma vez que a disposição de clientes na indústria petroquímica é bastante pulverizada (BRASKEM, 2011a). A correlação entre as demandas igualmente poderia ser analisada em um estudo de caso futuro. Finalmente, a fim de examinar as conclusões encontradas, sugere-se a aplicação do modelo desenvolvido em outros estudos de caso.

LOGISTICS NETWORK PLANNING: A BRAZILIAN PETROCHEMICAL INDUSTRY CASE STUDY

ABSTRACT

Logistics network planning constitutes a strategic decision in the quest to maintain business competitiveness. The present study develops a Mixed Integer Non-linear Programming model that encompasses the main cost components that should be taken into account in network planning in Brazil, involving transportation, inventories and taxation. The model was tested in the petrochemical company Nova Braskem. Sensitivity analyses were performed in order to gauge the main trade-offs regarding the study's assumptions. It was found that applying the model in the case studied produced savings in taxation and transportation costs and thus in total costs. More precisely, the results indicate that, despite the importance of transportation costs compared to other components, the tax component showed the largest potential financial return to be pursued and in this way it was possible to demonstrate the value associated with the issue within the atmosphere of Brazilian business. For the optimal design of a network, it is

confirmed the argument that it is not plausible the dissociation between logistics and tax planning. Moreover, given the nature of the case study, it is feasible to consider the planning of logistic networks as an important tool capable of supporting the search for synergies in mergers and acquisitions. There are, for example, several other recent cases in Brazilian business scenario, as the merger of Sadia and Perdigão and among other agribusinesses. To continue the studies of the trade-offs between logistics and Brazilian tax aspects, we suggest the inclusion of new taxes (PIS, Cofins etc.) as well as the granting of tax benefits in future modeling logistics networks. Specifically with regard to the case study, it is observed that the form of aggregating consumer markets should be enhanced, since the array of customers in the petrochemical industry is highly dispersed. The correlation between the demands could also be analyzed in a future case study. Finally, in order to examine the conclusions reached in this study, it is suggested to apply the model here developed in other case studies.

KEYWORDS

Logistics network planning; Mixed integer nonlinear programming; Petrochemical industry; Nova Brasken; Case study.

PLANEAMIENTO DE REDES LOGÍSTICAS: UN ESTUDIO DE CASO EN LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA BRASILEÑA

RESUMEN

El planeamiento de redes logísticas emerge como decisión estratégica a tomarse en la búsqueda del mantenimiento de la competitividad empresarial. El presente estudio ha desarrollado un modelo de Programación No Lineal Entera Mixta considerando los principales componentes de costo envueltos en el proceso de planeamiento de redes asociadas a la realidad brasileña: transportes, stock y tributos. El modelo fue testado en la empresa Nova Braskem. Fueron realizadas análisis de sensibilidad en que se apreciaron los principales *trade-offs* relativos a las premisas asumidas. Se ha constatado que en el caso estudiado el modelo desarrollado proporciona economía en los costos tributarios y en los costos logísticos de transporte y consecuentemente en los costos totales. En concreto, los resultados indican que, a pesar de la importancia de los costos de transporte en comparación con otros, fiscalmente se presentó como el principal beneficio

económico potencial de ser perseguido y de esta manera fue posible demostrar el valor asociado a la emisión en la atmósfera empresa brasileña. Para el diseño óptimo de una red, se confirma, por lo que el argumento de que no es verosímil la disociación entre la logística y la planificación fiscal. Además, dada la naturaleza del caso, es factible considerar las planificación de redes logísticas como una herramienta importante capaz de apoyar la búsqueda de sinergias en las fusiones y adquisiciones. Hay, por ejemplo, varios casos recientes en el escenario empresarial brasileño, como la fusión de Sadia y Perdigão y entre otras agroindustrias. Para continuar los estudios sobre las ventajas y desventajas entre la logística y los aspectos fiscales brasileños, sugiere la inclusión de nuevos impuestos (PIS, Cofins, etc.) y la concesión de beneficios fiscales en las futuras redes de logística de modelado. Específicamente en relación con el caso de estudio, se observa que la forma de agregación de los mercados de consumo debe ser mejorada, ya que la gama de clientes en la industria petroquímica es muy dispersa. La correlación entre las demandas también podría ser analizada en un futuro estudio de caso. Por último, con el fin de examinar las conclusiones, se sugiere aplicar el modelo desarrollado en otros estudios de caso.

PALABRAS CLAVE

Planeamiento de redes logísticas; Programación no lineal entera mixta; Industria petroquímica; Nova Braskem; Estudio de caso.

REFERÊNCIAS

- AMBROSINO, D.; SCUTELLÀ, M. G. Distribution network design: new problems and related models. *European Journal of Operational Research*, v. 165, n. 3, p. 610-624, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO. *Perfil da indústria brasileira de transformação de material plástico*. São Paulo: Abiplast, 2010.
- BALLOU, R. H. *Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial*. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BANCO BRADESCO BBI S/A. Laudo de avaliação Braskem S/A e Quattor participações S/A. São Paulo, 25 mar. 2010. Disponível em: <<http://www.braskem-ri.com.br/>>. Acesso em: out. 2010.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. *Gestão logística de cadeias de suprimentos*. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BRANDEAU, M. L.; CHIU, S. S. An overview of representative problems in location research. *Management Science*, v. 35, n. 6, p. 645-674, 1989.
- BRASKEM. *Relatório anual de administração* (Formulário 20-F). São Paulo, 2011a. Disponível em: <<http://www.braskem-ri.com.br/>>. Acesso em: 8 jul. 2011.

- BRASKEM. *Planilha eletrônica Valuation Book 4T10*. 2011b. Disponível em: <<http://www.braskem-ri.com.br>>. Acesso em: 15 fev. 2011.
- CALCIOLARI, R. P. Aspectos jurídicos da guerra fiscal no Brasil. *Caderno de Finanças Públicas*, Brasília, n. 7, p. 5-29, dez. 2006.
- CARRARO, P. R. *Avaliação da influência de aspectos logísticos, fiscais e ambientais no projeto de redes de distribuição física*. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)–Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- CHURCH, R. L.; REVELLE, C. S. The maximal covering location problem. *Papers of the Regional Science Association*, Açores, v. 32, n. 1, p. 101-118, 1974.
- CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA. *Convênio ICMS 100/97*. Brasília: Ministério da Fazenda, 2004. Disponível em: <<http://www.fazenda.gov.br/>>. Acesso em: 20 fev. 2011.
- CROXTON, K. L.; ZINN, W. Inventory considerations in network design. *Journal of Business Logistics*, Oak Brooks, v. 26, n. 1, p. 149-168, 2005.
- DAS, C.; TYAGI, R. Role of inventory and transportation costs in determining the optimal degree of centralization. *Transportation Research Part E*, Amsterdam, v. 33, n. 3, p. 171-179, 1997.
- DAS, C.; TYAGI, R. Effect of correlated demands on safety stock centralization: patterns of correlation versus degree of centralization. *Journal of Business Logistics*, v. 20, n. 1, p. 205-213, 1999.
- DAVARIZ, R. C. *Procedimento para análise de rede logística*. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes)–Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2006.
- ELZINGA, J.; HEARN, D. W. The minimum covering sphere problem. *Management Science*, Hanover, v. 19, n. 1, p. 96-104, 1972.
- EVERS, P. T. Filling costumers orders from multiple locations: a comparison of pooling methods. *Journal of Business Logistics*, Oak Brooks, v. 20, n. 1, p. 121-139, 1999.
- FERREIRA FILHO, V. J. M.; IGNACIO, A. A. V. O uso de *software* de modelagem AIMMS na solução de problemas de programação matemática. *Pesquisa Operacional*, Rio de Janeiro, v. 24, n. 1, p. 197-210, 2004.
- FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. F. (Org.). *Logística e o gerenciamento da cadeia de suprimento: planejamento do fluxo de produtos e de recursos*. São Paulo: Atlas, 2003.
- FIGUEIREDO, K. F.; LAVALLE, C.; ARKADER, A.; HIJJAR, M. F. Diferenças regionais na avaliação do serviço logístico: uma pesquisa no setor de supermercados de cinco capitais brasileiras. *Revista de Administração Mackenzie*, v. 3, n. 2, p. 117-136, 2002.
- GROSSMANN, I. E. Review of nonlinear mixed-integer and disjunctive programming techniques. *Optimization and Engineering*, Berlin, v. 3, n. 3, p. 227-252, 2002.
- GUIA QUATRO RODAS. *Guia rodoviário*. Disponível em: <<http://mapas.viajearqui.abril.com.br/guiarodoviario/>>. Acesso em: fev. 2011.
- HAKIMI, S. L. Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. *Operations Research*, Amsterdam, v. 10, n. 3, p. 450-459, 1964.
- HAKIMI, S. Optimum location of switching centers in a communications network and some rated graph theoretic problems. *Operations Research*, Amsterdam, v. 13, n. 3, p. 462-475, 1965.
- INTELIGÊNCIA EM GESTÃO LOGÍSTICA. *A velocidade média de um caminhão no Brasil é 60% menor do que nos EUA*. 2006. Disponível em: <<http://www.newslog.com.br/site/default.asp>>. Acesso: fev. 2011.

- JAYARAMAN, V. Transportation, facility location and inventory issues in distribution network design. *International Journal of Operations & Production Management*, London, v. 18, n. 5/6, p. 471-494, 1998.
- JAYARAMAN, V.; PIRKUL, H. Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities. *European Journal of Operational Research*, Amsterdam, v. 133, p. 394-408, 2001.
- LACERDA, L. Considerações sobre o estudo de localização de instalações. In: FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F. (Org.). *Logística empresarial: a perspectiva brasileira*. São Paulo: Atlas, 2000.
- MARTOS, A.; YOSHIKAZI, H. Projeto de rede de distribuição considerando localização, estoques e transportes simultaneamente. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 20., 1999, São Paulo. *Anais...* São Paulo: USP, 1999.
- MINIEKA, E. The m-center problem. *SIAM Rev.*, London, v. 12, n. 1, p. 138-139, 1970.
- MIRANDA, P. A.; GARRIDO, R. A. Incorporating inventory control decisions into a strategic distribution network design model with stochastic demand. *Transportation Research Part E*, Amsterdam, v. 40, n. 3, p. 183-296, 2004.
- MONTEBELLER JÚNIOR, E. J. *Incorporando o efeito de consolidação dos estoques no planejamento de redes logísticas*. 2009. Dissertação (Mestrado em Administração)—Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- MOORI, R. G.; BASSO, L. C. F.; NAKAMURA, W. T. Supply chain como um fator de geração de valor: uma aplicação do conceito EVA. *Revista de Administração Mackenzie*, v. 1, n. 1, p. 103-125, 2000.
- MORABITO, R.; JUNQUEIRA, R. Um modelo de otimização linear para o planejamento agregado da produção e logística de sementes de milho. *Produção*, São Paulo, v. 16, n. 3, p. 510-525, 2006.
- MORABITO, R.; JUNQUEIRA, R. Planejamento otimizado da produção e logística de empresas produtoras de sementes de milho: um estudo de caso. *Gestão e Produção*, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 367-380, 2008.
- NASCIMENTO, S. P. Guerra fiscal: uma avaliação comparativa entre alguns estados participantes. *Economia Aplicada*, São Paulo, v. 12, n. 4, p. 677-706, 2008.
- NOZICK, L. K.; TURNQUIST, M. A. A two-echelon inventory allocation and distribution center location analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Amsterdam, v. 37, issue 6, p. 425-441, Dec. 2001.
- NTC; LOGÍSTICA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE DE CARGAS E LOGÍSTICA. Caminhão volta a crescer na distribuição de resinas da Braskem. Disponível em: <<http://www.portalntc.org.br>>. Acesso em: jul. 2011.
- OWEN, S. H.; DASKIN, M. S. Strategic facility location: a review. *European Journal of Operational Research*, Amsterdam, v. 111, p. 423-447, 1998.
- QUIMAX PRICES. *Séries de dados históricos*. Disponível em: <http://www.quimaxlatin.com/site/quimax_prices.php>. Acesso: fev. 2011.
- RIBEIRO, N. V. *Contribuição ao aperfeiçoamento de sistemas logísticos de distribuição no contexto tributário brasileiro*: estudo de caso em indústria de bens de consumo. 1999. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas)—Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- SILVA, M. B. *Otimização de redes de distribuição física considerando incentivo fiscal baseado no crédito presumido de ICMS*. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)—Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

- SIMCHI-LEVI, D.; SIMCHI-LEVI, E.; KAMINSKY, P. *Cadeia de suprimentos: projeto e gestão: conceitos, estratégias e estudos de caso*. Porto Alegre: Bookman, 2003.
- THOMAS, D.; TYWORTH, J. Pooling lead-time risk by order splitting: a critical review. *Transportation Research Part E*, Amsterdam, v. 42, n. 4, p. 245-257. 2006.
- WANKE, P. F. Aspectos fundamentais do problema de localização de instalações em redes logísticas. *Revista Tecnológica*, São Paulo, v. 5, n. 3, mar. 2001.
- WANKE, P. F.; MAGALHÃES, A. *Logística para micro e pequenas empresas*. São Paulo: Atlas, 2011.
- WANKE, P. F.; ZINN, W. Strategic logistics decision making. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Amsterdam, v. 34, n. 6, p. 466-478, 2004.
- WANKE, P. F.; MONTEBELLER JÚNIOR, E. J.; TARDELLI, R. V. *Introdução ao planejamento de redes logísticas: aplicações em AIMMS*. São Paulo: Atlas, 2009.
- YIN, R. K. *Case study research: design and methods*. New York: Sage, 1994.
- YOSHIZAKI, H. T. Y. *Projeto de redes de distribuição física considerando a influência do imposto de circulação de mercadorias e serviços*. 2002. Tese (Livre-Docência em Engenharia de Produção)–Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- YOSHIZAKI, H. T. Y. Avaliando o impacto da reforma tributária nos custos logísticos brasileiros usando modelos matemáticos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2008, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABEPRO, 2008.
- ZANLUCA, J. C. *ICMS: teoria e prática*. Curitiba: Portal Tributário, 2010. Disponível em: <<http://www.portaltributario.com.br>>. Acesso em: 30 jan. 2011.
- ZAP LOGÍSTICA. *ZAP frete online*. Disponível em: <<http://www.zaplogistica.com.br>>. Acesso em: mar. 2011.