

MODELAGEM DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO APLICADA AO CASO DE UMA EDITORA DE REVISTAS

**Fernando Mutarelli
Cláudio Barbieri da Cunha**

Departamento de Engenharia de Transportes
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

RESUMO

Este trabalho trata de um problema da modelagem de redes de distribuição aplicado ao caso de uma editora de revistas. O problema a ser abordado consiste em determinar a quantidade e a localização de plantas industriais (*gráficas*), bem como a abrangência de cada uma delas e o sequenciamento de produção, de forma a minimizar a soma dos custos de produção e de transporte. Um modelo de programação linear inteira-mista é proposto para a sua solução. Trata-se de uma abordagem original em termos do estado-da-arte atual da literatura, cuja modelagem envolve também aspectos temporais, de capacidade de produção das unidades industriais, de escolha do modal de transporte e de nível de serviço, que são essenciais para a competitividade e sobrevivência de editoras de revistas. Descreve-se ainda a aplicação bem sucedida do modelo proposto a um problema real e os resultados obtidos.

ABSTRACT

This work deals with the problem of modeling a distribution network related to a magazine producer. The proposed problem comprises determining the quantity and location of industrial plants (printings), as well as the coverage area for each selected location and the production sequencing, such that sum of the total production and transportation costs is minimized. A mixed-integer linear programming model is proposed. It corresponds to a novel approach with respect to the state-of-the art in the literature; taking into consideration in the modeling temporal aspects, production capacities for the candidate facilities, transport mode selection and level-of-service issues, which are essential to the competitiveness and survival of magazine publishers. The model was successfully applied to a real-world problem. It is also described the successful application of the proposed model to a real world problem, as well as the results obtained.

1. INTRODUÇÃO

A configuração de uma rede de distribuição é um dos problemas macro-logísticos muito importantes e que surge com frequência nas grandes empresas. Uma rede de distribuição pode ser entendida como a representação físico-espacial e temporal das origens e dos destinos de produtos acabados, bem como dos seus fluxos e dos demais aspectos relevantes, desde o(s) ponto(s) de produção até os pontos de consumo ou destinação final.

A configuração de redes de distribuição depende, necessariamente, das características operacionais de cada empresa, de seu negócio e de seus canais de distribuição e envolve, entre outras, as seguintes definições: quantas e quais instalações logísticas devem ser utilizadas, e onde devem estar localizadas; quais produtos e clientes devem ser atendidos por cada uma dessas instalações; e quais os fluxos entre as instalações logísticas e os pontos de demanda, podendo incluir decisões quanto aos modais de transporte a serem utilizados. As instalações passíveis de serem consideradas podem englobar unidades industriais de produção, armazéns, terminais e centros de distribuição, entre outras.

O problema de configuração de redes de distribuição tem dois aspectos importantes, um de natureza espacial e outro de natureza temporal. O aspecto espacial, ou geográfico, refere-se à localização dessas instalações e aos fluxos entre pontos, de forma a minimizar os custos relacionados ao atendimento da demanda. Já o aspecto temporal refere-se à disponibilidade do(s) produto(s), solicitado pelos clientes, no prazo adequado, considerando o tempo de ciclo do pedido e o prazo de atendimento esperado.

Uma rede de distribuição otimizada é de grande importância para o desempenho logístico e a rentabilidade de uma empresa, principalmente por causa dos custos envolvidos e das exigências, cada vez maiores, do mercado consumidor, em termos de nível de serviço, e em particular, de prazos de entrega cada vez mais reduzidos.

Nesse contexto, o presente trabalho objetiva apresentar um modelo matemático para uma rede de distribuição correspondente a uma revista semanal de informações. O principal problema de distribuição em uma editora de revistas é a alocação de pontos de demanda a unidades gráficas. A complexidade do problema aumenta quando se trata de uma revista semanal, pois pode haver múltiplas unidades gráficas, dezenas de centros de distribuição e centenas de milhares de leitores que devem receber seus exemplares em janelas de tempo muito reduzidas, situação essa agravada pela extensão do território nacional.

As decisões de localização das gráficas, a alocação dos pontos de demanda às gráficas, a programação da produção em cada unidade gráfica, a expedição dos veículos de abastecimento e a escolha do modal de transporte são decisões usualmente requeridas em um problema desta natureza, visando otimizar a soma dos custos totais de produção e distribuição e atendendo requisitos de nível de serviço e restrições de produção.

O modelo proposto, de programação linear inteira-mista, apresenta uma característica original em relação aos modelos dessa natureza encontrados na literatura, pois permite considerar aspectos do sequenciamento de produção de maneira integrada com as decisões de transporte e de distribuição. São considerados aspectos temporais, de capacidade de produção das unidades industriais e de escolha do modal de transporte, que são essenciais para a competitividade e sobrevivência de editoras de revistas. Busca-se preencher uma lacuna, que é a falta de ferramenta adequada para a abordagem deste tipo de problema pelas editoras no Brasil.

Seguindo tendências mais recentes, o modelo foi implementado em ambiente de planilha eletrônica, utilizando o software *What's Best*, e aplicado com sucesso ao caso real da *Época*; segunda maior revista semanal de informações no Brasil em termos de número de exemplares produzidos e distribuídos.

Este artigo está organizado da seguinte forma: no próximo item apresenta-se uma revisão bibliográfica do problema na literatura. Já no item 3 é apresentada a caracterização do problema, enquanto que o item 4 contempla o modelo matemático proposto. O estudo de caso é descrito no item 5; já o item 6 contém as conclusões e recomendações do trabalho.

2. O PROBLEMA DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO NA LITERATURA

Diversos autores têm tratado de problemas de localização e de modelagem de redes de distribuição, entre os quais Ballou (1999), Brandeau e Chiu (1989), Current *et al.* (2002) e Jayaraman (1998).

De acordo com Martos (2000), uma rede logística é composta de várias organizações que se inter-relacionam. Os elementos que podem compor tal rede são: pontos de fornecimento de matéria-prima, fábricas, armazéns, centros de distribuição, portos, terminais intermodais e outras instalações físicas. Para chegar até seu destino final, os produtos passam através destas instalações dentro de seu canal de distribuição. Esta interconexão cria um fluxo de mercadorias e de informações de uma instalação à outra dentro da rede.

A modelagem de redes de distribuição pode ser definida como uma metodologia que busca otimizar um determinado objetivo, normalmente minimizar custos, melhorar os níveis de serviço oferecidos aos clientes e aumentar a eficiência e eficácia operacionais de uma empresa, facilitando o planejamento e a gestão de uma rede de instalações e seus respectivos fluxos de materiais e de informações.

De acordo com Current *et al.* (1999), o principal problema que envolve o planejamento de uma rede de distribuição é determinar o conjunto de instalações e o fluxo de mercadorias entre elas. Como esta decisão é de cunho estratégico, o planejamento da rede de distribuição envolve a determinação do número, tamanho e localização das instalações; a designação das mercadorias a estas instalações, em termos de origens e destinos; os níveis de estoques intermediários; o tipo e os modais de transporte; como o transporte vai ser feito em termos de ligações, frequências, tipos de veículos, dentre outras decisões.

O trabalho de Dillmann *et al.* (1996) aborda os aspectos práticos que afetam a aplicação de modelos de otimização para o planejamento dos roteiros de entregas de jornais e revistas para atacadistas na Alemanha. Nenhum modelo ou algoritmo específico é proposto, porém são analisadas e discutidas as principais questões que influenciam a modelagem do problema, assim como características e restrições específicos de cada caso.

O trabalho de Song *et al.* (2002) trata do problema de localização relacionado à distribuição de jornais e periódicos, porém sem a incorporação do problema de produção associado ao nível de serviço oferecido aos seus leitores. Nesse trabalho, os autores apresentaram um estudo para encontrar a alocação ótima dos agentes de distribuição de jornal, que são os responsáveis por receber os exemplares das unidades industriais para posterior entrega domiciliar aos leitores, às unidades industriais, incluindo o tratamento de expedição e roteirização da frota que abastece estes agentes. O problema pode ser resumido como sendo o de alocação dos agentes de distribuição às unidades industriais (gráficas), bem como a roteirização do abastecimento destes agentes, de forma a minimizar os custos logísticos de transporte. A aplicação deste método possibilitou uma economia de 15% nos custos de abastecimento destes agentes, bem como uma redução de 40% no tempo final da entrega dos jornais aos leitores, quando comparados ao método manual de gestão da distribuição.

Já Koschat *et al.* (2003) descrevem o recente processo de revisão da distribuição de revistas realizado na Times Inc., a maior editora de revistas dos EUA. O problema compreende a determinação da ordem de impressão e do número de cópias a serem impressas e despachadas, com base em estimativas de custos e receitas. Os autores descrevem sucintamente os modelos analíticos propostos, bem como discutem as dificuldades gerenciais para implementação das soluções.

Em síntese, nenhum dos trabalhos relacionados à logística de distribuição de jornais e periódicos encontrados na literatura abordou o problema com o foco pretendido neste trabalho.

Adicionalmente, embora problemas de localização de instalações, base para a configuração de redes de distribuição, sejam bastante estudados na literatura, não se encontrou nenhuma referência sobre problemas de modelagem de redes de distribuição aplicada ao caso de distribuição de revistas, que tratam simultaneamente de localização, produção e distribuição,

principalmente de revistas e periódicos; portanto trata-se de um assunto original e ainda pouco explorado.

3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

No Brasil existem quatro revistas semanais de informações distribuídas nacionalmente: Época, da Editora Globo, Veja, da Editora Abril, IstoÉ, da Editora Três e Carta Capital da Editora Confiança. A Veja e a Época estão entre as 10 maiores revistas semanais de informação do mundo em termos de circulação, com tiragens da ordem de um milhão e 500 mil exemplares, respectivamente. Para todas as revistas publicadas no Brasil, há basicamente dois canais de comercialização e distribuição: assinaturas e vendas avulsas.

No caso de assinaturas, o leitor opta por pagar antecipadamente as cinquenta e duas edições do ano, para revistas com circulação semanal, e receber os seus exemplares no endereço que desejar. No caso da venda avulsa, o leitor, quando desejar, vai até um ponto de comercialização, na maioria dos casos uma banca de jornal e revistas, para adquirir um exemplar.

Para cada canal de comercialização existe uma rede de distribuidores, que são conhecidos como praças de destino, ou ainda pontos de demanda. Esses distribuidores, no caso de assinaturas, têm a função de receber o reparte da unidade gráfica, imprimir as etiquetas de identificação dos assinantes, ensacar e etiquetar as revistas e providenciar a entrega nos endereços indicados nestas etiquetas, até um horário pré-determinado. Os distribuidores de venda avulsa, em geral bancas de jornal e de revistas, desempenham um papel diferente: recebem as revistas das unidades gráficas, separando-as por ponto de venda. No caso de revistas semanais de informações, as mesmas são entregues pelos distribuidores nas bancas e demais pontos de venda, tendo em vista a sua perecibilidade. Para outras revistas, os “jornaleiros” retiram, nestes distribuidores, os seus exemplares.

Como os objetivos comerciais desses distribuidores são diferentes, não faz sentido um distribuidor de assinaturas distribuir exemplares de venda avulsa e vice e versa, portanto é muito comum ter dois distribuidores na mesma praça; um de assinaturas e o outro de venda avulsa.

As revistas semanais de informações são consumidas, ou seja, lidas, normalmente, aos finais de semana, momentos em que os leitores dispõem de mais tempo para se dedicarem à leitura, além de serem consideradas como uma opção de lazer. Acrescenta-se o fato de que estas revistas têm como concorrentes a televisão e os jornais diários. Como resultado, há muito pouco tempo, tipicamente poucas horas, entre o fechamento da redação de uma edição e o início de impressão e acabamento dos exemplares. Este intervalo de tempo envolve desde a transmissão dos arquivos digitais para as unidades industriais, passando pela geração de matrizes de impressão, até a impressão dos cadernos e capas, acabamento dos exemplares, paletização e expedição. Similarmente, o tempo disponível para o abastecimento dos distribuidores regionais e entrega domiciliar para os leitores, no caso de assinaturas, e disponibilização para os pontos de vendas, no caso de venda avulsa, é muito curto.

A entrega domiciliar a partir dos distribuidores é realizada de maneira bastante pulverizada e rápida, o mesmo ocorrendo com a distribuição para as bancas. Dessa forma, é suficiente garantir os prazos de entrega para os distribuidores a fim de assegurar que os leitores recebam as revistas em tempo adequado, sem a necessidade de incorporar, na modelagem matemática,

a distribuição em nível local, a partir dos distribuidores. Os distribuidores regionais, sejam de assinaturas ou de venda avulsa, recebem seus exemplares via modal aéreo ou rodoviário. Essa decisão é influenciada pela distância das unidades industriais para estes distribuidores. No caso das revistas semanais de informação, o término do abastecimento da rede de distribuidores deve ocorrer, idealmente, no sábado, isto explica a utilização do modal aéreo em alguns casos.

O problema de distribuição de revistas, especialmente as revistas semanais de informações, requer uma modelagem específica uma vez que trata as decisões de localização de instalações logísticas, de escolha do modal de transporte de abastecimento dos distribuidores regionais e de cumprimento de nível de serviço de forma integrada. Este mercado é muito competitivo, com margens de contribuição muito reduzidas; portanto a eficiência operacional de uma editora de revistas pode determinar o sucesso de seus negócios. Esta eficiência pode ser traduzida, em linhas gerais, na definição da melhor configuração da rede de distribuição, que compreende desde a determinação da localização e abrangência de unidades industriais, até a escolha do modal de transporte para o abastecimento dos distribuidores regionais, onde o aspecto temporal é fundamental, pois este tipo de revistas é um bem de consumo perecível.

Em síntese, esse problema pode ser genericamente descrito como: determinar quais gráficas serão utilizadas para a impressão e o acabamento das revistas, quais as respectivas praças atendidas por cada uma das gráficas, em que ordem produzir os exemplares destinados a cada praça e quais os modais de transporte a serem utilizados, de tal forma a minimizar o custo total, dado pela soma dos custos de produção e de transporte, respeitando-se as restrições de capacidade de produção das unidades gráficas e de nível de serviço associado a cada ponto de demanda.

4. A MODELAGEM MATEMÁTICA

Seja uma rede de distribuição de revistas composta de unidades industriais (gráficas), onde os exemplares são impressos e acabados, e um conjunto de locais de destino (pontos de demanda) que devem receber as revistas. Conforme explicitado acima, cada um desses locais não representa o destino final destas revistas, mas apenas uma praça de destino, a partir da qual a revista será distribuída localmente para os leitores finais, seja através de entrega domiciliar, no caso de assinante, ou de entrega em um ponto de venda, no caso de uma banca de jornais e revistas. Para cada canal de comercialização – assinaturas ou venda avulsa – existe um conjunto de locais de destino estrategicamente distribuídos pelo país. No caso de revistas com circulação semanal, o horário de chegada dos exemplares de uma determinada edição em cada um desses locais é crucial para assegurar o nível de serviço desejado, influenciando as decisões de onde produzir as revistas para cada destino, em que ordem produzi-las e qual o modal de transporte utilizar.

Seja $t=1, 2, \dots, TP$ os períodos de tempo em que o espaço de tempo total para produção e distribuição das revistas seja discretizado.

Cada unidade industrial $i=1, 2, \dots, NG$ possui uma capacidade de produção CP_{it} , definida por período de produção t , expressa como o número máximo de exemplares que pode ser produzido nesse período. Essa capacidade pode variar ao longo do tempo; em geral, as capacidades são menores nos períodos iniciais de produção, devido à necessidade de *set-up* e ajustes nos equipamentos de impressão e acabamento dos exemplares. Define-se ainda um

volume mínimo de produção PM_i , por ciclo semanal, que deve ser respeitado caso a unidade industrial i seja selecionada. A cada unidade industrial i , está associado um custo unitário de produção de cada exemplar CUP_i , dado pela soma do custo unitário de papel e do custo unitário de impressão e acabamento. Os serviços de impressão e acabamento são terceirizados, portanto as unidades industriais são contratadas, ou seja, não se tratam de unidades próprias ou que devam ser construídas.

A cada ponto de demanda $j=1, 2, \dots, ND$ estão associados uma demanda D_j , que corresponde ao volume de revistas a ser entregue em cada edição, e um horário máximo permitido de chegada das revistas ao mesmo, dado por H_j .

Há $m=1, 2, \dots, NM$ modais para o transporte dos lotes de revistas das gráficas i para os pontos de demanda j . Para cada modal de transporte m estão associados um custo por viagem CT_{ijm} e um tempo de deslocamento T_{ijm} , entre uma unidade industrial i e um ponto de demanda j . Os modais de transporte, aéreo ou rodoviário, são selecionados em função do tempo de deslocamento e do custo por viagem, ou seja, o modal aéreo, com custos mais altos quando comparados com o modal rodoviário, somente é selecionado quando o horário máximo permitido de chegada em um determinado ponto de demanda j , através do modal rodoviário, não é respeitado.

Define-se ainda um número máximo K de unidades gráficas selecionadas, com a intenção de diminuir a complexidade gerencial e operacional de produção, expedição e transporte das revistas. Em outras palavras, uma configuração com um número muito elevado de unidades gráficas pode ser pouco desejável pela dificuldade de gerenciamento da produção simultânea e distribuição das revistas, tendo em vista o curto período de tempo disponível para tal.

São definidas as seguintes hipóteses:

- Para cada gráfica candidata é definido um horário mínimo e um horário máximo em que a produção pode iniciar e terminar; para os períodos de produção t em que a gráfica não esteja disponível para produção as respectivas capacidades de produção CP_{it} são nulas.
- A quantidade de períodos de produção (NP), por unidade gráfica, é suficiente para o atendimento de toda a demanda produzida em cada uma delas.
- A capacidade total de produção, isto é, considerando todas as gráficas candidatas, é capaz de atender toda a demanda, isto é, $\sum_{i=1}^{NG} \sum_{t=1}^{NP} CP_{it} > \sum_{j=1}^{ND} D_j$.
- Para cada gráfica i , a capacidade de produção total é maior do que a maior demanda dentre todos os pontos de demanda j , isto é, $\sum_{t=1}^{NP} CP_{it} > \max_{j=1, \dots, ND} D_j$.
- Os períodos de produção t têm, por convenção, duração de uma hora; verificou-se que períodos menores não proporcionam benefícios operacionais e de nível de serviço, além de aumentarem o tamanho do modelo matemático e, conseqüentemente, sua dificuldade de resolução, expressa pelo tempo de processamento.

A fim de possibilitar a consideração das decisões de sequenciamento de produção, bem como as restrições temporais de janela de entrega, uma das dificuldades da modelagem de

problemas dessa natureza, define-se o parâmetro a_{ijmt} como sendo 1 se as revistas produzidas na gráfica i , no período de produção t , podem atingir o ponto de demanda j em tempo (ou seja, até o instante H_j), utilizando o modal de transporte m , e zero caso contrário. O parâmetro a_{ijmt} leva em consideração não somente o tempo de trânsito total entre a unidade de industrial i e o ponto de demanda j , como também a disponibilidade de vôos no caso do transporte aéreo.

São definidas as seguintes variáveis de decisão:

X_{ijmt} = número de exemplares produzidos na gráfica i , no período de produção t , para atender o ponto de demanda j , através do modal de transporte m .

Z_i = 1 se a unidade industrial i for selecionada;
= 0 caso contrário.

Y_{ijm} = 1 se a unidade industrial i atende o ponto de demanda j , através do modal m ;
= 0 caso contrário

A formulação matemática do problema de produção e distribuição de uma revista semanal de informações, como um problema de programação linear inteira-mista, pode ser escrita como:

$$\text{minimizar } \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j=1}^{ND} \sum_{m=1}^{NM} \left(CT_{ijm} Y_{ijm} + CUP_i \sum_{t=1}^{NP} X_{ijmt} \right) \quad (1)$$

$$\text{sujeito a } \sum_{i=1}^{NG} \sum_{m=1}^{NM} Y_{ijm} = 1 \quad \text{para } j=1, 2, \dots, ND \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{ND} \sum_{m=1}^{NM} \sum_{t=1}^{NP} X_{ijmt} \geq PM_i Z_i \quad \text{para } i=1, 2, \dots, NG \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{NG} \sum_{m=1}^{NM} \sum_{t=1}^{NP} a_{ijmt} X_{ijmt} = D_j \quad \text{para } j=1, 2, \dots, ND \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{ND} \sum_{m=1}^{NM} X_{ijmt} \leq CP_{it} \quad \text{para } i=1, 2, \dots, NG \text{ e } t=1, 2, \dots, NP \quad (5)$$

$$\sum_{t=1}^{NP} X_{ijmt} \leq M Y_{ijm} \quad \text{para } i=1, 2, \dots, NG; j=1, 2, \dots, ND \text{ e } m=1, \dots, NM \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^{ND} \sum_{m=1}^{NM} Y_{ijm} \leq M' Z_i \quad \text{para } i=1, 2, \dots, NG; \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{NG} Z_i \leq K \quad \text{para } i=1, 2, \dots, NG \quad (8)$$

$$Z_i \in \{0,1\} \quad \text{para } i=1, 2, \dots, NG \quad (9)$$

$$Y_{ijm} \in \{0,1\} \quad \text{para } i=1, 2, \dots, NG; j=1, 2, \dots, ND \text{ e } m=1, \dots, NM \quad (10)$$

$$X_{ijmt} \geq 0 \quad \text{para todo } i, j, m \text{ e } t \quad (11)$$

A função objetivo (1) a ser minimizada é composta de duas parcelas de custo: custo de produção e custo de transporte. As restrições (2) garantem que cada ponto de demanda seja atendido por exatamente uma única unidade industrial e um único modal de transporte. As restrições (3) asseguram que o volume mínimo de produção em cada unidade industrial selecionada seja respeitado. As restrições (4) garantem que toda a demanda seja atendida. As restrições (5) asseguram que as capacidades de produção, nos períodos de produção, sejam respeitadas. As restrições (6) garantem que só pode haver fluxo de revistas produzidas em uma unidade industrial para unidades e modais selecionados, sendo que M é uma constante muito grande (igual, por exemplo, à máxima produção em um período). As restrições (7) asseguram que os pontos de demanda somente possam ser atendidos por unidades industriais selecionadas, sendo M' uma constante suficientemente grande (igual, por exemplo, ao número total de pontos de demanda ND). As restrições (8) restringem o número máximo de unidades industriais selecionadas. As restrições (9) e (10) impõem que as variáveis de decisão Y_{ijm} e Z_i sejam binárias. Por último, as restrições (11) indicam que as variáveis de decisão X_{ijm} não podem assumir valores negativos.

5. APLICAÇÃO DO MODELO A UM PROBLEMA REAL

O modelo matemático foi implementado em ambiente de planilha eletrônica Microsoft Excel, utilizando o pacote de otimização *What's Best* (WB), versão 7.0, desenvolvido pela Lindo Systems Inc., sem limitações quanto ao número de variáveis de decisão, restrições e variáveis inteiras.

O problema real considerado está relacionado à distribuição da Revista *Época*, uma revista semanal de informações com circulação nacional e publicada pela Editora Globo.

Todos os dados e informações necessários para a modelagem foram obtidos através de levantamentos junto à Editora Globo e aos fornecedores de serviços de produção gráfica e de transportes; tratam-se, portanto, de dados reais, o que facilita a análise dos resultados obtidos e favorece a validação da metodologia. Os dados relativos às alternativas de configuração analisadas foram obtidos a partir de consultas aos potenciais fornecedores de serviços de produção gráfica e de transporte aéreo. Para a estimativa de custos do transporte rodoviário, foi desenvolvido um modelo tarifário de cálculo de fretes por viagem, conforme detalhado em Mutarelli (2004).

Atualmente a empresa utiliza duas unidades industriais para a produção da tiragem de cada edição da revista, que é de 484 mil exemplares. A primeira gráfica, denominada Globo Cochrane, está localizada na cidade de Vinhedo, a 80 km da capital do Estado de São Paulo. A segunda, denominada Gráfica Plural, localiza-se na cidade de Santana de Parnaíba, a 22 km da capital do Estado de São Paulo. Cada uma delas produz, em média, metade desta tiragem, ou seja, aproximadamente 240 mil exemplares. Não há critério pré-estabelecido para a determinação da abrangência de cada uma delas.

Os pontos de demanda, conforme descrito acima, representam os locais de abastecimento da revista para posterior entrega aos leitores, no caso de assinaturas, e aos pontos de venda, no caso de Venda Avulsa. No Brasil, há 79 pontos de demanda, divididos entre pontos de assinaturas e pontos de venda avulsa, estrategicamente localizados. Para cada ponto de demanda estão associados um nível de serviço, que representa o horário máximo de chegada das revistas nas regionais de distribuição, e uma quantidade de exemplares que deve ser

entregue aos leitores.

O horário máximo permitido de chegada da revista nas regionais de distribuição foi determinado em função do horário, pré-determinado, de conclusão da entrega domiciliar para os assinantes, e do horário, pré-determinado, de conclusão do abastecimento de todos os pontos de venda de uma determinada praça. A quantidade de exemplares, por ponto de demanda, foi calculada pela média das 52 edições distribuídas em 2002. O mesmo conceito foi utilizado para estabelecer o peso, em kg, de um exemplar da revista *Época*.

Como o volume atual de produção de revistas não justifica o investimento na construção e manutenção de unidades industriais próprias, levantou-se a oferta de unidades gráficas em todo o território nacional para a prestação de serviços de impressão e acabamento de revistas. Obviamente cada localidade candidata foi minuciosamente avaliada, não apenas sob a ótica de custos de produção, mas também foram avaliados os aspectos subjetivos que orientam as decisões de localização, como por exemplo, a proximidade de aeroportos que operam com aeronaves cargueiras, proximidade de portos para o abastecimento de bobinas de papel, disponibilidade de mão-de-obra especializada, capacidade de expansão, dentre outros.

Além das duas gráficas atualmente utilizadas, foram identificadas mais quatro possíveis alternativas de produção: Gráfica Minister, localizada na cidade do Rio de Janeiro; Gráfica Santa Marta, em João Pessoa (PB); Quebecor World, em Ipojuca (PE), a cerca de 80 km da capital do Estado; e Posigraf, em Curitiba (PR).

Em síntese, o modelo matemático proposto envolve 6 unidades gráficas candidatas, 79 praças de destino, 2 modais de transporte (rodoviário e aéreo) e 10 períodos de produção, representando 10.434 variáveis de decisão, sendo 954 variáveis binárias, e 1.178 restrições. Todos os dados utilizados são detalhados em Mutarelli (2004). Foram propostas 5 alternativas para análise, cujos resultados são apresentados na Tabela 1.

- *Alternativa 1:* otimização do esquema de produção atual, isto é, considerando apenas as duas unidades atualmente utilizadas para a produção, e considerando os dados atuais de produção, demanda, transporte e nível de serviço da revista;
- *Alternativa 2:* otimização do esquema de produção, considerando todas as gráficas candidatas, sem limitação no número máximo de gráficas selecionadas ($K=NG$) e dados atuais de demanda e nível de serviço;
- *Alternativa 3:* otimização do esquema de produção, considerando todas as gráficas candidatas, porém limitando a três o número máximo de gráficas selecionadas ($K=3$) e dados atuais de demanda e nível de serviço;
- *Alternativa 4:* idem à Alternativa 3, porém limitando a dois o número máximo de gráficas selecionadas ($K=2$);
- *Alternativa 5:* idem à Alternativa 3, porém limitando a um o número máximo de gráficas selecionadas ($K=1$).

Na Alternativa 1, buscou-se otimizar a situação atual, utilizando-se apenas as gráficas Globo Cochrane e Gráfica Plural. Percebe-se, neste caso, que a Globo Cochrane passou a produzir 318.788 exemplares por semana, o que correspondeu a um aumento de 43% sobre o volume atual, em número de exemplares, de produção nesta gráfica. Por consequência, a Globo Cochrane passou a atender 59 praças por semana, correspondendo a um aumento de 79%

sobre o número atual de praças atendidas. Este aumento, tanto no número de exemplares quanto no número de praças atendidas, é explicado pelo menor custo unitário de produção na Globo Cochrane em relação à Gráfica Plural (4,9%). Os resultados são pouco representativos, em termos de redução do custo total de produção e de transporte, passando de R\$ 1,010 / exemplar para R\$ 0,994 / exemplar, portanto conclui-se que a situação atual da rede de distribuição da revista Época já está, de certa forma, racionalizada.

Tabela 1: Resumo das alternativas propostas e da situação atual

Item	Indicador	Un	Situação Atual	Alternativas			
				1	2	3	4
				2 U.Inds.	-	$K \leq 3$	$K \leq 2$
1	Custo de Produção	R\$	407.365,36	403.528,04	409.223,64	409.223,64	403.277,88
2	Custo de Papel	R\$	232.342,18	232.342,08	235.233,60	235.233,60	232.342,08
3	Custo de Impressão	R\$	175.023,18	171.185,96	173.990,04	173.990,04	170.935,80
4	Custo de Transporte	R\$	79.101,29	77.844,76	42.707,26	42.707,26	76.870,70
5	Modal Aéreo	R\$	67.124,92	70.498,00	33.593,26	33.593,26	70.827,80
6	Modal Rodoviário	R\$	11.976,37	7.346,76	9.114,00	9.114,00	6.042,90
7	Custo Fixo de Produção	R\$	-	-	-	-	-
8	Custo Total (1+4)	R\$	486.466,65	481.372,80	451.930,90	451.930,90	480.148,58
9	Custo Total + Custo Fixo (1+4+7)	R\$	486.466,65	481.372,80	451.930,90	451.930,90	480.148,58
10	Custo Unitário por Exemplar (8/16)	R\$ / ex.	1,010	0,994	0,934	0,934	0,992
11	Nº Praças - Lançamento Sábado	un	43	43	43	43	43
12	Nº Praças - Lançamento Domingo	un	36	36	36	36	36
13	Número Total de Praças	un	79	79	79	79	79
14	Nº Exemplares - Lançamento Sábado	exs.	371.648	371.648	371.648	371.648	371.648
15	Nº Exemplares - Lançamento Domingo	exs.	112.398	112.398	112.398	112.398	112.398
16	Número de Exemplares Produzidos	exs.	484.046	484.046	484.046	484.046	484.046
17	Tempo de Processamento - <i>What's Best</i>	-	-	00h05m03s	01h29m29s	00h08m28s	02h32m51s

Na segunda alternativa, consideraram-se, além da Globo Cochrane e da Gráfica Plural, outras quatro localidades candidatas a sediarem unidades gráficas, porém sem a incorporação de qualquer restrição com o objetivo de limitar o número de unidades gráficas na solução do problema. A solução corresponde à utilização de três unidades gráficas: a Globo Cochrane, em Vinhedo/SP, a Gráfica Santa Marta, em João Pessoa/PB, e a Gráfica Minister, no Rio de Janeiro/RJ. O resultado merece alguns comentários quanto ao tempo de processamento do WB. Observou-se um tempo de processamento significativamente mais elevado, decorrente da provável dificuldade do algoritmo de solução de *branch-and-bound* do WB para eliminar parte do espaço de soluções a ser enumerado.

Na Alternativa 3, em que se considerou uma limitação do número de unidades gráficas na solução do problema, ou seja, K menor ou igual a 3, obteve-se a mesma solução que a obtida na Alternativa 2, ou seja, a solução ótima para o problema. Deve-se destacar que o tempo de processamento do *What's Best* foi sensivelmente reduzido em relação à Alternativa 2.

Já na quarta alternativa, definiu-se como 2 o número máximo de instalações selecionadas ($K \leq 2$). Percebe-se que o custo unitário total teve um acréscimo de 6,21%, quando comparado as Alternativa 2 e 3, principalmente pelo aumento da utilização do modal aéreo na

Globo Cochrane; este aumento pôde ser compensado pelo custo unitário de produção, que é 4,9% menor do que na Gráfica Minister. Em comparação com a situação atual, nessa solução é utilizada a Gráfica Minister no lugar da Gráfica Plural.

Por fim, na Alternativa 5, em que se restringiu o número máximo de instalações selecionadas a um ($K \leq 1$), não foi possível encontrar uma solução ótima viável, pois as restrições de nível de serviço foram violadas, ou seja, nenhuma das seis unidades gráficas disponíveis possui capacidade de produção suficiente para assegurar o transporte a tempo, de acordo com o nível de serviço requerido por todos os pontos de demanda.

Para o caso estudado, a solução ótima, ou seja, a opção mais indicada para a revisão da rede de produção e de distribuição desta revista semanal de informações, corresponde às alternativas 2 e 3, uma vez que permitiu proporcionar uma economia aproximada de 7,10% no custo total e, conseqüentemente, no custo unitário de produção e de transporte, quando comparada à situação atual, de R\$ 1,010 por exemplar para R\$ 0,934 por exemplar.

Os resultados apresentados ainda podem ser melhorados, principalmente do ponto de vista do nível de serviço, na medida em que a programação da produção seja reordenada, ou seja, considerar, na modelagem matemática, a antecipação da expedição das viagens quando possível.

Deve-se salientar, entretanto, que as soluções obtidas são melhores, tanto do ponto de vista de custos quanto de nível de serviço, do que a solução atualmente praticada pela Editora Globo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão da literatura permitiu entender claramente a dimensão deste tipo de problema, suas abordagens e limitações. Embora este seja um problema logístico relevante, não foram encontradas, nesta revisão, referências sobre o tema. No Brasil, algumas revistas semanais de informações estão entre as dez maiores do mundo em termos de circulação, isto é, do número de exemplares produzidos e distribuídos semanalmente. A dimensão temporal, ou seja, o reduzido intervalo de tempo entre o fechamento de uma edição da revista e a entrega dos exemplares às bancas e aos assinantes, forçou o tratamento simultâneo dos problemas de produção e de distribuição, o que também é inédito.

Foi possível propor um modelo de programação linear inteira-mista, que permite considerar o sequenciamento de produção das revistas, um aspecto essencial tendo em vista as restrições temporais para produção e distribuição das revistas. Outro aspecto importante é a escolha do modal de transporte em função do tempo de viagem.

O modelo matemático permitiu resolver um problema real, de uma revista semanal de informações com circulação nacional, encontrando solução ótima global, e proporcionando uma economia de 7,10% nos custos de produção e de transporte, em uma situação já racionalizada e sem prejuízo no nível de serviço atual. O modelo permite ainda outros estudos e análises de forma a avaliar os impactos nos custos de alterações nos níveis de serviço atualmente praticados.

A implementação do modelo em ambiente de planilha eletrônica Microsoft Excel apresenta a grande virtude de permitir que o mesmo seja facilmente utilizado e assimilado, no dia-a-dia do ambiente empresarial, para análises e decisões diversas, por pessoal sem conhecimento

específico e aprofundado de Pesquisa Operacional (PO), nem tampouco que precise dominar uma linguagem específica para operar um pacote especializado de otimização como o *CPLEX* ou o *GAMS*. Isso é particularmente importante no caso do Brasil, em que em geral as empresas não dispõem de pessoal especializado em PO nas suas equipes de Tecnologia da Informação, ao contrário do que ocorrem em outros países mais avançados.

Uma possível extensão do presente trabalho consistiria em considerar e aprimorar o tratamento dado à produção e expedição das revistas, tendo em vista o atendimento do nível de serviço oferecido aos clientes e as restrições de produção. Este aprimoramento, que não alteraria a solução ótima obtida nem tampouco a configuração da rede de distribuição, pode ser entendido como o melhor sequenciamento da produção dos exemplares, de forma a expedir os repartes, para os distribuidores, o mais cedo possível. A antecipação da expedição dos exemplares, quando possível, permite que a conclusão da distribuição, para os leitores, ocorra mais cedo, um diferencial competitivo. Isso pode ser feito através de uma rotina que rearranje a sequência de produção em cada unidade gráfica após o processamento do modelo matemático.

Outra extensão possível é avaliar a produção simultânea de duas ou mais revistas, com circulações diferentes, volumes diferentes e níveis de serviço diferentes, otimizando a produção e o transporte de abastecimento dos distribuidores regionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ballou, R.H. (1999) Business logistics management. 4th.ed. Rio de Janeiro: Editora Prentice-Hall do Brasil.
- Brandeau, M.L.; S.S. Chiu. (1989) An Overview of representative problems in location research. *Management Science*, v.35, n.6, p. 645-74.
- Current, J.; M. Daskin, e D. Schilling. (2002) Discrete network location models. In: Drezner, Z.; Hamacher, H.. Facility location theory: applications and methods. Berlin: Springer-Verlag, p. 81-118.
- Dillmann, R; Becker, B; Beckefeld, V. (1996) Practical aspects of route planning for magazine and newspaper wholesalers. *European Journal of Operational Research*, n. 90, p. 1-12.
- Jayraman, V. (1998) Transportation, facility location and inventory issues in distribution network design. *International Journal of Operations & Production Management*, v.18, n.5, p. 471-94.
- Koschat, M.A., G.L. Berk, J.A. Blatt, N.M. Kunz, M.H. LePore (2003) Newsvendors tackle the newsvendor problem. *Interfaces*, v.33, n.3, pp.72-84.
- Martos, A.C. (2000) *Projeto de redes logísticas com consideração de estoques e modais: aplicação de programação linear inteira-mista à indústria petroquímica*. São Paulo: EPUSP, Departamento de Engenharia de Produção. 98p. Dissertação (Mestrado).
- Mourtis, M.; Evers, J.J.M. (1995) Distribution network design – an integrated planning support framework. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v.25, n.5, p. 43-57.
- Mutarelli, F. (2004) *Modelagem de Redes de Distribuição Aplicada ao Caso de uma Editora de Revistas*. São Paulo: EPUSP, Departamento de Engenharia de Transportes. 108p. Dissertação (Mestrado).
- Song, S.H.; Lee, K.S.; Kim, G.S. (2002) A practical approach to solving a newspaper logistics problem using a digital map. *Computers & Industrial Engineering*, n. 43, p. 315-330.

Fernando Mutarelli
e-mail: fmutarelli@bol.com.br
Departamento de Engenharia de Transportes
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
R. Iara, 84 – Apto. 123 – Itaim Bibi
CEP 04542-030 – São Paulo – SP, Brasil
Fone: +11-3167-6741 / +11-9644-7512

Cláudio Barbieri da Cunha
e-mail: cbcunha@usp.br
Departamento de Engenharia de Transportes
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Caixa Postal 61548
CEP 05424-970 – São Paulo – SP, Brasil
Fone: +55-11-3091-5732
Fax: +55-11-3091-5716