

4

Revisão Teórica

4.1

Apresentação

A previsão de demanda é um insumo principal para a decisão do planejamento e controle de capacidade, sendo possível planejar efetivamente para futuros eventos e não somente reagir a eles.

No entanto, existem muitos fatores que não podem ser previstos e controlados com segurança, sendo necessário trabalhar com o melhor método de previsão disponível para determinado assunto e a revisão freqüente destas previsões (Davis, 2001).

A obtenção de mais informações e de técnicas mais avançadas de manipulação de dados traz uma previsão melhorada. Em contrapartida é necessário verificar se o benefício obtido com a melhoria da previsão é compensado pelo custo de obter tais informações e pelo tempo despendido neste processo.

O modelo ou modelos de previsão que uma empresa deve adotar depende de uma série de fatores, incluindo: horizonte de previsão, disponibilidade de dados, precisão necessária, tamanho do orçamento para previsão, e disponibilidade de pessoal qualificado (Davis, 2001).

Com relação ao horizonte de planejamento, quanto maior o horizonte, menor é a precisão da estimativa, já que aumentam as chances de haver mudanças nos fatores que influenciam os resultados do estudo. Em geral, os modelos podem ser divididos em curto, médio e longo prazo. Segundo Davis (2001) os modelos de curto prazo compensam as variações aleatórias e ajustam-se a mudanças de curto prazo. As previsões de médio prazo por sua vez são úteis para efeitos sazonais. As de longo prazo detectam normalmente tendências, e são úteis na identificação dos pontos críticos.

4.2

Métodos alternativos

As várias técnicas de previsão podem ser classificadas em dois grupos: métodos qualitativos e métodos quantitativos. As técnicas qualitativas são subjetivas ou optativas por natureza e são baseadas em estimativas e opiniões. Estas técnicas são utilizadas, principalmente, quando não existem dados disponíveis.

Os métodos quantitativos se baseiam em dados históricos e ferramentas estatísticas, conduzindo a resultados semelhantes mesmo quando aplicado por diferentes pessoas. (Coeli, 2004)

4.2.1

Métodos qualitativos

Davis (2001) identifica três métodos qualitativos:

- Método Delphi: Processo de aprendizado interativo envolvendo um grupo de especialistas que respondem a um questionário. Um mediador reúne os resultados e formula um novo questionário, o qual é apresentado ao mesmo grupo de especialistas.
- Pesquisa de mercado: Demonstra como coletar dados de várias maneiras (levantamentos, entrevistas, etc.) para testar hipóteses sobre o mercado. É tipicamente utilizada para realizar previsões de longo prazo e para venda de novos produtos.
- Analogia histórica: Relacionada com a previsão de demanda de um produtor similar. É importante no planejamento de novos produtos, no qual uma previsão é derivada da trajetória de um produto similar existente.

4.2.3

Métodos quantitativos

Os métodos quantitativos podem ser divididos em dois grupos principais: análise de séries temporais, baseada na idéia de que a história dos acontecimentos ao longo do tempo pode ser usada para prever o futuro, e causal, que tenta compreender o sistema que envolve o item a ser previsto (Davis, 2001).

4.2.3.1

Análise de séries temporais

A técnica de séries temporais examina o padrão de comportamento passado de um fenômeno no tempo e usa uma análise para prever o comportamento futuro do fenômeno (Slack et al, 1997).

Segundo Davis (2001) as técnicas mais utilizadas são:

- Média móvel simples: Um período de tempo, contendo uma quantidade de dados pontuais, tem sua média calculada dividindo-se a soma dos valores pontuais pelo número total de pontos. Cada ponto, conseqüentemente, tem a mesma influência. Estes valores pontuais podem ser ponderados, uniformes ou desigualmente, conforme comprovados pela experiência.
- Média ponderada exponencial: Dados pontuais mais recentes têm maior peso, com o peso declinando exponencialmente à medida que esses dados tornam-se ultrapassados.
- Análise de regressão: Ajusta uma linha seqüencial de dados do passado, geralmente relacionando o valor dos dados com o tempo. A técnica de ajuste mais comum é a dos mínimos quadrados.
- Projeção de tendência: Ajusta a linha de tendência matemática dos dados pontuais e os projeta para o futuro.

4.2.3.2

Causal

Os métodos causais procuram compensar as falhas da análise de séries temporais, buscando identificar os fatores que influenciam o comportamento da demanda. A seguir seguem os métodos mais citados pelos autores.

- **Análise de regressão:** Semelhante ao método dos mínimos quadrados das séries temporais, mas pode apresentar múltiplas variáveis. O fundamental é que a previsão é causada pela ocorrência de outros eventos (Davis, 2001).
- **Simulação:** Permite analisar o comportamento da demanda quando as relações entre as variáveis são mais complexas e se afetam mutuamente. Os eventos não precisam ser determinísticos, podendo seguir uma distribuição de probabilidades.

A Figura 10 relaciona as técnicas mais adequadas para diferentes fatores.

Técnica	Horizonte de tempo	Complexidade do modelo	Precisão do Dados modelo necessários	
Qualitativo				
Método Delphi	longo	alta	variável	muitos
Quantitativos				
Séries Temporais				
Média Móvel	curto	muito baixa	média	poucos
Média Ponderada Exponencial	curto	baixa	adequada	muitpo pouco
Regressão Linear	longo	média baixa	média alta	muitos
Causal				
Análise de Regressão	longo	adequada	alta	muitos

Figura 10 – Comparação das técnicas de previsão de demanda

Fonte: Davis (2001).

4.3

Modelos de Alocação de Fluxos

Os modelos de alocação de fluxos têm sido muito utilizados nas mais recentes pesquisas que buscam resolver problemas reais ou prever situações futuras.

O crescimento do número de pessoas qualificadas na criação e emprego de tais modelos certamente será de grande valia para a economia mundial.

Os modelos podem ser aplicados para fins diferentes e têm sido utilizados de tal forma, alguns autores comentam que os modelos deveriam ser instrumentos auxiliares na tomada de decisões das autoridades de transportes.

Leal e Aragon (2003) estudaram a alocação de fluxos de passageiros em uma rede transporte público de grande porte. O trabalho teve como objetivo discutir diversas abordagens de modelos de alocação de fluxos em redes de transporte público e detalhar a formulação matemática de um modelo de alocação baseada em inequações variacionais.

Como outro exemplo da aplicação de modelos de alocação de fluxos é oportuno citar Caixeta Filho (2001). Ele analisou a demanda potencial para o transporte de soja de grãos e farelo de soja no Estado do Paraná através do uso de modelo de programação linear.

Em relação aos modelos mais estudados, dois importantes problemas de fluxos em redes de transporte se destacam: o problema de fluxo máximo e o problema de custo mínimo.

Schrijver (2002) fez um estudo da história do problema de transporte de fluxo máximo. Ele analisou dois artigos: um datando 1930 e o outro 1955. Neste último Ford and Fulkerson menciona a motivação de estudar problema de fluxo máximo.

Pompermayer (1997) estruturou um modelo de alocação de fluxos multiprodutos de carga em uma rede multimodal. O modelo é capaz de incluir todos os modos tradicionais de transportes e capta as diferenças de custos de um mesmo modo. A partir da alocação de matrizes de origens-destino o modelo leva a ao caminho multimodal de menor custo total.

O problema de custo mínimo, o qual está sendo abordado nesta dissertação, apresenta vários algoritmos de solução previamente elaborados. Entre os mais utilizados encontram-se os Algoritmo de Out-of-Kilter, Busacker and Goven e D. Bertsekas.

4.3.1

Modelos de caminhos mínimo

Os modelos de caminhos mínimo resolvem o problema mais fundamental dos problemas de rede, encontrar o caminho mínimo, também chamado de rota mínima (RM), que muitas vezes é usado como subrotina em algoritmos para solucionar problemas complexos em redes (Leal, 2005).

Existem diversos algoritmos aplicáveis para solução destes problemas, entre eles, algoritmos de Dijkstra, Out-of-Kilter, Floyd-Warschall e D. Bertsekas. No caso de redes com circuitos negativos nenhum consegue eficientemente calcular a RM. (Leal, 2005 *apud* Dreyfeus, 1969).

Como muitos outros, o algoritmo de Dijkstra (1969) resolve de forma eficiente o problema de RM para redes com arcos não negativos (Leal, 2005).

Generalizando o método trabalha da seguinte forma: Quando a rota encontrada é a mínima, o nó recebe etiqueta permanente, e não podem mais ser melhorado. Os nós que ainda podem ser melhorados recebem etiquetas temporárias (Leal, 2005).

A cada passo o algoritmo seleciona um nó W para se tornar permanente. Iniciando pelo nó de origem, o algoritmo seleciona o nó com a menor etiqueta temporária tentando torná-lo permanente, para após tentar melhorar a etiqueta dos nós da rede (Leal, 2005).

Uma varredura é então realizada a partir do nó W aos nós X temporários adjacentes a eles. Se o custo do caminho atual até cada nó X , for maior que o custo de caminho desde a origem até W mais o custo do arco (WX), então pode-se melhorar a etiqueta do nó temporário e o nó precedente ao nó X passa a ser o nó W (Leal, 2005).

O algoritmo de Dijkstra pode ser usado para realizar uma alocação. Construir a rota mínima desde uma origem até todos os destinos, corresponde a tomar toda uma linha da matriz O-D. O fluxo da origem a cada destino vai passar por todos os arcos do caminho a cada destino.

Para o caso de cálculo da rota mínima entre todos pares de nós o algoritmo de Floyd-Warschall é na maioria das vezes bastante eficaz.

4.3.2

Algoritmo Bertsekas

Especialmente neste estudo foi utilizado para a alocação de custos mínimos um algoritmo baseado nos estudos de Dimitri Bertsekas.

Dentre os vários artigos que o autor escreveu na área de fluxos em rede, muitos se assemelham a necessidade deste trabalho.

Todos os trabalhos de Bertsekas podem ser encontrados on-line e o endereço eletrônico pode ser encontrado no capítulo de referência deste estudo.

O algoritmo utilizado neste trabalho permite a inserção de variáveis referentes a demanda no ponto de origem, a capacidade de cada arco- origem-destino- e o custo de cada arco.

Como facilitador foi utilizado o programa Scilab 4.1, o qual contém diversos algoritmos prontos, entre eles um baseado em Bertsekas.

4.4

Métodos de Previsão de Demanda de Carga Aplicados ao Transporte Ferroviário

É possível encontrar na literatura poucos autores que se dedicaram ao estudo da previsão de demanda de carga para o transporte ferroviário. A maioria se concentrou no estudo de previsão de demanda por passageiros, principalmente na Europa onde o transporte férreo é largamente utilizado.

Entre os poucos que analisaram a demanda por transporte de carga encontra-se Caixeta-Filho, J.V (2001). Ele estudou a demanda potencial para o transporte de grãos e farelo de soja no Estado do Paraná quando avaliou o mínimo custo possível para o transporte do produto na região.

O estudo foi baseado num modelo de programação linear. O objetivo da utilização do modelo foi obter a distribuição modo ótima dos fluxos de produtos entre os pólos de forma que se minimizasse o custo total de transporte no Paraná, dados as restrições abaixo. Para tal foi utilizado o *software* General Algebraic Modeling System (Gams) *apud* (Brooke et al.,1996), aplicado à seguinte estrutura matemática:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1} \sum_{j=1} [(FR_{ij} \cdot TR_{ij}) + (FF_{ij} \cdot TF_{ij})]$$

Sujeito às restrições:

$$\begin{aligned} TR_{ij} + TF_{ij} &= T_{ij} \text{ para todo } i, j \\ TF &\leq C_{ij} \end{aligned}$$

Sendo:

- Z = função de custo total de transporte do fluxo de grãos e farelo de soja;
- FR_{ij} = frete rodoviário (em US\$/t) entre os pólos i e j ;
- TR_{ij} = quantidade transportada pela modalidade rodoviária (t) entre os pólos i e j ;
- FF_{ij} = frete ferroviário (em US\$/t) entre os pólos i e j ;
- TF_{ij} = quantidade transportada pela modalidade ferroviária (t) entre os pólos i e j ;
- T_{ij} = fluxos de grãos e farelo de soja com origem em i e destino em j (matrizes O/D estimadas);
- C_{ij} = Capacidade de tráfego dos produtos nas ferrovias.

Para o estudo foram estimados os fluxos dos produtos por matrizes de origens-destinos. Os pólos aos quais se direcionou o volume do produto foram os pontos onde se concentram parcela significativa da agroindústria processadora e foram estes também os pontos de saída do Estado de acordo com as rotas utilizadas.

No estudo de Caixeta-Filho, (2001) foram explorados cenários que dizem respeito aos fluxos estimados para 1995, para serem movimentados dentro da infra-estrutura existente e considerando-se a expansão da ferrovia Ferronorte.

Coeli, (2004) fez uma análise da demanda por transporte ferroviário de grãos e farelo de soja na Ferronorte. Após a projeção da demanda dos produtos num horizonte de 5 anos dentro da região atendida pela Ferronorte a autora fez a alocação de fluxos das microregiões produtoras até os portos de exportação.

Para isso foi desenvolvido um modelo em planilha MS Excel que leva em consideração a produção prevista para cada microregião e os custos das diversas alternativas de transporte para, através de uma regra de alocação dos fluxos, estimar o fluxo de transporte em cada via..

Fitzroy, F. e Smith, I. (1995) estudaram a demanda pelo transporte ferroviário na Europa. Dentro do estudo eles estimaram a demanda pelo transporte de cargas e passageiros na Europa através do método do mínimo quadrado utilizando os dados temporais de países europeus. O foco do trabalho era analisar os fatores que afetavam a demanda do transporte ferroviário na região. Nos seus estudos os autores apontaram a importância das tarifas e das características qualitativas na escolha do transporte.

Babcock, Lu e Norton (1999) analisaram a demanda por transporte ferroviário de grãos nos EUA. Os autores desenvolveram um modelo de equilíbrio que explicita as principais variáveis internas e externas que influenciam a oferta e a demanda por transporte ferroviário. Entre elas: custos de produção, mudanças tecnológicas na agricultura, preferências alimentares, produção mundial, crescimento da renda, taxas de câmbio, tarifas ferroviárias, mudanças tecnológicas nas ferrovias e disponibilidade de vagões entre outros.

O modelo desenvolvido era, entretanto, eficiente apenas para previsão de demanda de curto prazo. Babcock, Lu e Norton (1999) utilizaram para o cálculo da demanda a análise de séries temporais e, portanto, o estudo deveria abranger um horizonte de tempo no qual as variáveis internas e externas não pudessem sofrer alterações significativas.

Vários autores se interessaram pelo estudo dos fatores externos que influenciam a demanda ferroviária como Wardman (2006) e Bel (1997).