

A METODOLOGIA DE PREVISÃO DE DEMANDA DE CURTO PRAZO IMPLANTADA EM UM SISTEMA DE TRANSPORTES – ESTUDO DE CASO: METRÔ DO RIO DE JANEIRO

**Carlos Eduardo Sanches de Andrade
Sérgio Sym Seabra**

RESUMO

Este trabalho tem por finalidade apresentar a metodologia de previsão de demanda de curto prazo implantada em um sistema de transporte público do Rio de Janeiro, operado pela Opportrans Concessão Metroviária S.A., o Metrô do Rio de Janeiro. Esta metodologia é baseada em dados estatísticos de demanda dos usuários, coletados diariamente. Tais dados recebem tratamento de acordo com os diferentes tipos de dias: dias úteis, sábados ou domingos, e a eles são aplicados os conceitos da metodologia, como média filtrada, fatores diários e sazonalidade. Para demonstrar a metodologia aplicada a um caso real é feita a previsão de demanda para dezembro de 2006. Posteriormente a demanda prevista é confrontada com a demanda real, obtendo-se a margem de erro da previsão. A metodologia é utilizada pela área de Inteligência de Mercado (Metrô Rio) e tem como características a simplicidade, flexibilidade e o baixo custo, tendo atingido um baixo percentual de erro.

ABSTRACT

This paper focus is to introduce the short term demand forecast which was implemented in Rio de Janeiro public transport system, operated by Opportrans Concessão Metroviária S.A – Metrô Rio. This methodology is based on a daily survey passengers demand statistic data. This data has different categories, ie: week days and Saturdays or Sundays. Some daily factors and seasonality are applied to these concepts, regarding a filtered average. To demonstrate the used methodology to a real case, a demand forecast is carried out regarding December of 2006. Later a forecast demand is compared with the real demand, reaching a forecast error margin. The methodology is used by the Market Intelligence (Metrô Rio) and has some characteristics: simplicity, flexibility and low cost, achieving a low error percentage.

1. INTRODUÇÃO

A demanda em transportes de passageiros tem um comportamento sazonal e variações específicas em determinados meses, semanas e até dias. A gerência necessita da previsão de demanda de curto prazo para o próximo dia, semana ou mês, mas usualmente encontra-se atarefada demais, sem tempo para trabalhar com modelos complexos, e deseja uma metodologia simples e de baixo custo, que combine dados estatísticos com parâmetros determinados pelo operador, em função de sua experiência, e que utilize dados já disponíveis na empresa.

O objetivo deste trabalho é apresentar a fundamentação teórica de uma metodologia de previsão de demanda que atenda a esses requisitos, mostrando como essa metodologia é aplicada dentro do contexto de um sistema de transporte. A empresa Opportrans Concessão Metroviária S.A., o Metrô do Rio de Janeiro, é apresentada como estudo de caso.

Após esta breve introdução, o item 2 consolida o desenvolvimento do artigo, mostrando o que é a previsão de demanda e como é utilizada em sistemas de transportes. O item 3 define a metodologia para acompanhamento e previsão de curto prazo das variações de demanda por transporte público urbano. O item 4 se baseia no estudo de caso, sendo apresentada a aplicação desta metodologia, que foi implantada no Metrô Rio, além do detalhamento e a análise da previsão realizada para o mês dezembro de 2006. O item 5 trata das conclusões.

2. PREVISÃO DE DEMANDA

A previsão de demanda pode ser realizada utilizando métodos qualitativos ou quantitativos. Os métodos qualitativos envolvem opiniões de especialistas, pesquisa de mercado, analogias

históricas e análise de questionários, apresentando pouco grau de precisão. Costa (2006) relata que os métodos quantitativos, de maior precisão, dividem-se em métodos causais ou métodos de séries temporais.

2.1. A previsão de demanda em sistemas de transportes

A previsão de demanda em transportes varia ao longo do tempo, podendo ser computada em diferentes períodos de tempo; por hora, dia, semana, mês e ano (s). É importante ter plena noção das variações da demanda, que são provocadas por mudanças nos padrões de atividades, podendo ser sazonais (determinadas épocas do ano) como o período de compras natalinas, ou pontuais (apenas um ou mais dias da semana) como dias de jogos de futebol ou dias entre feriados. De acordo com Ferraz e Torres (2004) “as informações a respeito da variação mensal da demanda são necessárias para a fixação de tarifas, a distribuição da receita, no caso da existência de câmara de compensação tarifária, e o planejamento econômico-financeiro da empresa”.

Segundo Bodmer e Seabra (1995), os modelos tradicionais de previsão de demanda podem oferecer uma informação genérica, mas não se adequam quando situado em nível de planejamento da operação em uma empresa operadora de transportes. O planejador de transportes precisa analisar constantemente o comportamento, não tendo tempo para elaboração de análises e pesquisas demoradas. Ferraz e Torres (2004) relatam que “é importante dispor de estatísticas freqüentes e atualizadas a fim de efetuar uma programação operacional adequada”.

Mediante essas justificativas, no próximo item será apresentada uma metodologia para acompanhamento e previsão de demanda de curto prazo das variações na demanda por transporte público urbano.

3. METODOLOGIA DE PREVISÃO DE DEMANDA DE CURTO PRAZO

Para realizar uma previsão de demanda eficaz em sistemas de transportes é preciso estar sempre acompanhando o ciclo de produção para a operadora de transporte, que, de acordo com Bodmer e Seabra (1995), envolve:

- 1) Produzir – ofertar lugares;
- 2) Avaliar – examinar dados operacionais;
- 3) Prever – refere-se às modificações da demanda;
- 4) Interferir – revela-se através de modificações na programação da oferta.

A metodologia apresentada foi desenvolvida por Seabra (1995) especialmente para empresas de transporte público, e trata do acompanhamento e previsão de demanda de curto prazo das variações na demanda por transporte público urbano, contando com uso de dados normalmente existentes na empresa e coletadas durante a própria operação. Portanto, não são necessários custos adicionais para obtenção dos dados.

O procedimento de coleta se inicia com a série de dados da demanda diária de cada linha, que devem ser agrupados em módulos mensais. A demanda diária é classificada, a priori, em três categorias: dias úteis, sábados e domingos. Essa classificação se faz necessária devido a grande variação na demanda entre esses tipos de dia. Para cada uma dessas categorias serão analisadas as variações significativas na demanda, motivadas pela ocorrência de feriados ou eventos especiais, previsíveis ou não, como vésperas de feriados, shows, incidentes, etc.

A metodologia para o tratamento desses dados utiliza o conceito de média de dia útil filtrada mensal, que exclui as variações atípicas diárias (previsíveis ou não). Dessa média, são obtidos por divisão os fatores de dias úteis equivalentes de cada dia do mês respectivo, que são utilizados para estimativas das variações previsíveis de dias ou eventos análogos (feriados, dias “enforcados”, etc). A aplicação sistemática do critério da média filtrada numa série de meses ao longo de alguns anos serve de base para a obtenção dos fatores sazonais mensais anuais.

A metodologia para tratamento dos dados consiste nos seguintes passos, que serão detalhados nos próximos itens:

3.1. Identificação e seleção de feriados e dias especiais para um período de tempo

O primeiro passo é identificar os feriados ou dias especiais. Os volumes de passageiros transportados nesses dias são excluídos da série, anotados e guardados em um banco de dados. Com a exclusão desses dias, poderia ser obtida a média diária, denominada média típica.

3.2. Análise de variação

Nesta etapa deve-se definir um limite aceitável para a variação da demanda em torno da média típica, devendo ser realizada pelo responsável pela operação da linha. Dias com demanda fora dos limites devem também ser excluídos e as possíveis causas das variações examinadas. De acordo com Seabra (1995) arbitra-se um intervalo de variação cuja amplitude é constituída de duas medidas de desvio padrão em torno da média, de tal maneira que 95,45% dos valores estejam contidos neste intervalo.

$$[X - 2*S; X + 2*S], \text{ onde:}$$

X = média simples dos dias úteis;
S = desvio-padrão.

3.3. Cálculo da média filtrada

A terceira etapa é a realização do cálculo de uma nova média da demanda diária, denominada média filtrada, que é uma referência mais real, mais útil e consistente para um padrão da demanda, sendo essa média livre de qualquer perturbação causada pelo comportamento da demanda. Neste cálculo são excluídos os dias fora do intervalo de variação permitido.

3.4. Cálculo dos fatores diários

Finalmente, a média filtrada é utilizada para calcular os fatores (divisão da demanda do dia pela média filtrada do respectivo período de tempo) para cada dia classificado durante o processo. O fator, expresso em termos de percentual, indicará a equivalência desse dia em relação a média filtrada. Esses fatores servem de base para uma mais precisa previsão da demanda. A figura 1 mostra um diagrama funcional dessas etapas.

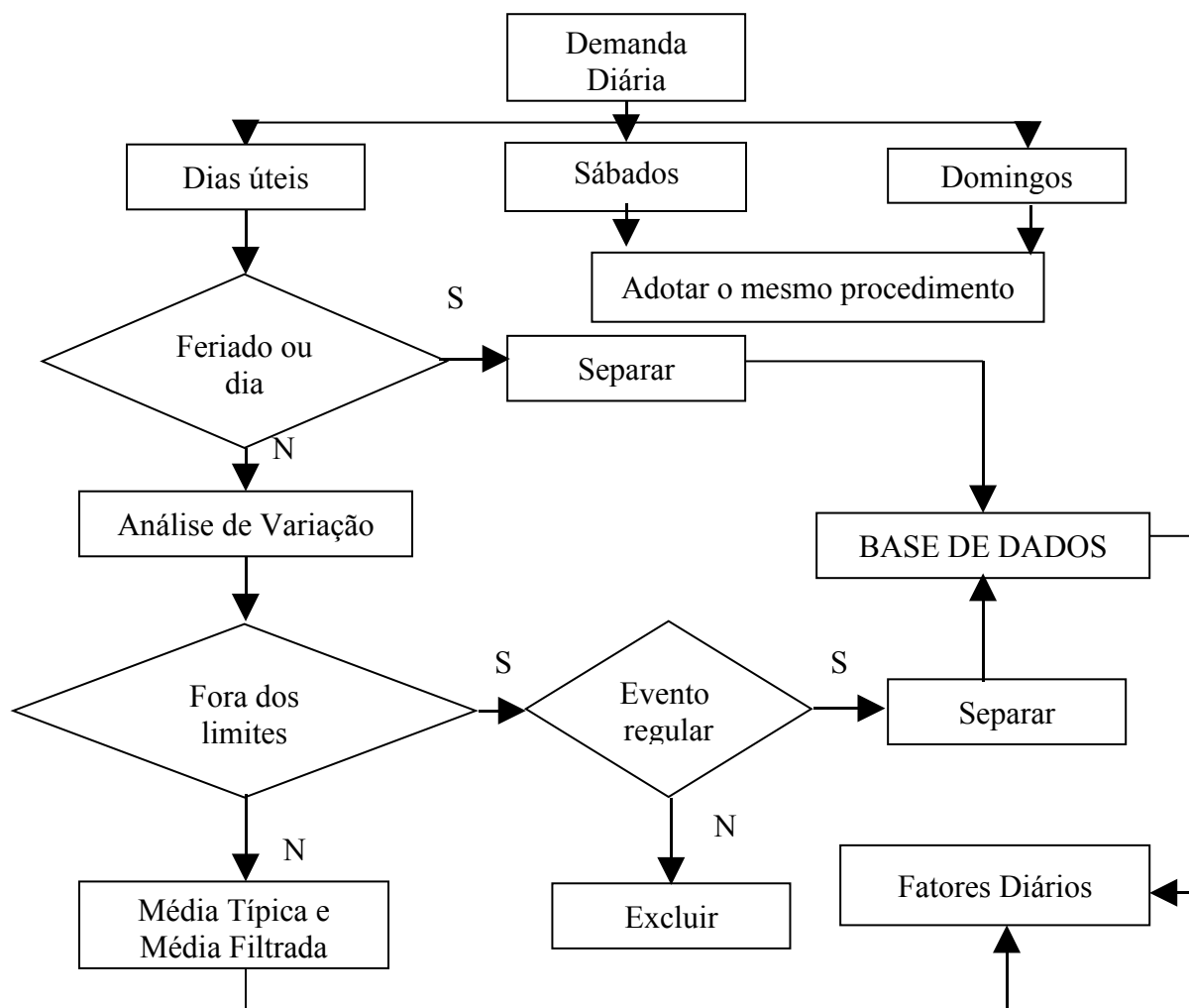


Figura 1 - Representação funcional das etapas da metodologia (Seabra, 1995)

3.5. Cálculo dos fatores de sazonalidade

A sazonalidade de cada mês é registrada no banco de dados e é observado que um determinado mês mantém a mesma sazonalidade ao longo dos anos, com pequenas variações. Isso permite previsões de demanda com base nessa sazonalidade. A sazonalidade é definida pela divisão da média de dia útil filtrada do mês pela média de dia útil filtrada mensal ao longo do ano.

3.6. Utilização dos dados selecionados para previsão

Ao se fazer a aplicação da metodologia, será obtida uma base de dados históricos, contendo dados relevantes. A análise dessas séries temporais permitirá a realização de previsões de demanda de curto prazo.

4. ESTUDO DE CASO: METRÔ DO RIO DE JANEIRO

Em 19 de dezembro de 1997 foi realizado o leilão do Metrô do Rio de Janeiro e o consórcio Opportrans, ganhador do leilão, adquiriu o direito de explorar o serviço de operação e manutenção do sistema metroviário do Rio de Janeiro. A partir de 05 de abril de 1998 começou a operar a Opportrans Concessão Metroviária.

4.1. A metodologia de previsão de demanda implantada no Metrô Rio

A metodologia implantada no Metrô Rio para a previsão de demanda é a de curto prazo das variações na demanda por transporte público urbano. Essa metodologia foi criada por Seabra em 1995 e foi objeto de sua dissertação de mestrado na COPPE/UFRJ. Através dessa metodologia é possível prever a demanda e a receita do dia seguinte, da semana seguinte ou do mês seguinte. A metodologia foi testada e validada com dados do metrô, barcas, trem e várias linhas de ônibus. Ela permite separar os dados aproveitáveis dos dados não úteis e dar-lhes um tratamento adequado. Uma característica importante dessa metodologia é seu baixo custo, flexibilidade e simplicidade. Os dados necessários já estão disponíveis, dispensando grandes trabalhos para sua obtenção. A metodologia em si é também muito simples e o operador tem flexibilidade para ajustar os parâmetros de acordo com sua sensibilidade.

A demanda no Metrô Rio tem tido um comportamento sazonal, observado ao longo de sua história. Os meses de janeiro e julho são os de demanda mais baixa enquanto dezembro é o de maior demanda. Os dias úteis típicos têm a maior demanda quando comparados aos demais tipos de dia. Em seguida vem os sábados e por último os domingos. Por causa dessa grande diferença não é interessante trabalhar com média mensal de dias, e sim, média de dias úteis, média de sábados e média de domingos. Mesmo durante o dia existe uma variação da demanda em função do horário. Em determinados horários, no início da manhã e no final do dia, existem os picos de demanda. A metodologia criada baseia-se no uso da média de dias úteis filtrada e na sazonalidade dos meses. A demanda dos dias úteis pode ser afetada em determinados dias do calendário. A tabela 1 mostra alguns desses dias e valores aproximados da demanda percentual em relação ao dia útil (fator do dia) do mês de dezembro de 2005:

Sábado	44,18%
Domingo	19,87%
Natal	9,48%
Véspera de Natal	29,29%
Véspera de Ano Novo	43,29%
Dia enforcado (entre Natal e Ano Novo)	78,83%

Tabela 1 - Fatores de dias especiais em dezembro de 2005 (Metrô Rio, 2007).

O índice de sazonalidade de cada mês é obtido pela divisão da média de dia útil filtrada do mês pela média de dia útil filtrada mensal ao longo do ano. O resultado, expresso em percentagem, indica a sazonalidade de cada mês dentro do ano. Esses dados são armazenados em banco de dados fornecendo uma série histórica que pode ser utilizada na previsão de demanda. Para prever a demanda em um determinado mês futuro, é calculada a média ou mediana dos valores de sazonalidade desse mês nos últimos anos e com isso se obtém o valor estimado da sazonalidade daquele mês.

4.2. A previsão de demanda de dezembro de 2006 para o Metrô Rio

Para melhor exemplificar esta metodologia será realizada a previsão da demanda de dezembro de 2006, utilizando os dados disponíveis até novembro de 2006. Em seguida, será comparado o resultado obtido com a demanda real do mês de dezembro de 2006, a fim de verificar a margem de erro da previsão.

A estimativa da previsão de demanda para o mês de dezembro de 2006 pode ser obtida pela seguinte equação:

Total Entradas Dez/06 = Média Dia Útil Estimada de Dez/06 * Total de Fatores Dias Úteis Estimados Dez/06

Onde:

Média Dia Útil Estimada de Dez/06 = (Média Dia Útil de Nov/06 / Fator Sazonal Nov) * Fator Sazonal Dez

Para realizar a previsão de demanda de dezembro de 2006 serão seguidas as seguintes etapas:

⇒ **Identificação e seleção de feriados e dias especiais de dezembro de 2006**

Nesta primeira etapa é necessário identificar os dias úteis equivalentes previstos no mês de dezembro de 2006, considerando os efeitos de calendários do mês (quantidade de sábados, domingos, dia da incidência do Natal, dias enforcados, etc.).

Dos 31 dias operacionais de dez/06, existem 05 sábados, 05 domingos e 21 dias incidentes de segunda a sexta-feira. Desses 21 dias, 05 são atípicos, sendo 01 no Natal (feriado) e 04 dias “enforcados”, entre Natal e Ano Novo. 02 domingos são atípicos (véspera de Natal e véspera de Ano-Novo). Isso resulta em 16 dias úteis típicos, 05 sábados típicos, 03 domingos típicos, 07 dias atípicos (Natal, Véspera de Natal, Véspera de Ano Novo, 04 dias úteis enforcados).

⇒ **Cálculo da média filtrada de dia útil estimada para dezembro de 2006**

Como já é conhecida a média filtrada de dias úteis de novembro de 2006, pode-se utilizar uma série de dados de índices de sazonalidade disponíveis, como, por exemplo, dos anos de 2003 a 2005, depois deve-se calcular a média e utilizá-la na fórmula:

MDUF (Média Dia Útil Filtrada Estimada) de Dez/06 = (Média Dia Útil de Nov/06 / Fator Sazonal Nov) * Fator Sazonal Dez

Média Dia Útil Nov/06 = 432.842

Fator Sazonal Nov/03 = 1,0177

Fator Sazonal Nov/04 = 1,0211

Fator Sazonal Nov/05 = 1,0226

Média Fator Sazonal Nov = 1,0205

Fator Sazonal Dez/03 = 1,0614

Fator Sazonal Dez/04 = 1,0597

Fator Sazonal Dez/05 = 1,0588

Média Fator Sazonal Dez = 1,0600

MDUF (Média Dia Útil Filtrada Estimada) de Dez/06 = (432.842/1,0205) * 1,0600 = **449.596**

⇒ **Cálculo do total de entradas estimado para dezembro de 2006**

Utilizando os dados disponíveis de dezembro de 2005 é possível encontrar os fatores de equivalência da média de dias úteis desses dias atípicos, conforme já apresentada na tabela 1.

Total entradas estimadas dez/2006 = (16 + 5*0,4418 + 3*0,1987 + 0,0948 + 0,2929 + 0,4329 + 4*0,7883) * MDUF → Total entradas estimadas dez/2006 = 22,7789 * MDUF

Total entradas estimadas dez/2006 = 22,7789 * 449.596

Total entradas estimadas dez/2006 = 10.241.302

4.3. Comparação com os dados reais de dezembro de 2006

Excluindo os dias especiais já identificados anteriormente, as entradas com bilhetes reais dos dias úteis típicos de dezembro de 2006 estão descritas na tabela 2:

DIAS UTEIS TIPICOS DEZ/06	ENTRADAS
1/dez	446.765
4/dez	461.425
5/dez	449.412
6/dez	464.712
7/dez	448.607
8/dez	456.296
11/dez	442.737
12/dez	447.317
13/dez	448.109
14/dez	449.896
15/dez	466.982
18/dez	453.150
19/dez	462.049
20/dez	463.818
21/dez	459.681
22/dez	427.500

Tabela 2 – Entradas com bilhetes nos dias úteis típicos de dez/2006 (Metrô Rio, 2007).

O limite aceitável de variação está situado entre:

$$[X - 2*S; X + 2*S], \text{ onde:}$$

X = média simples dos dias úteis;

S = desvio-padrão.

$$X = \text{MEDIA DIAS UTEIS} = 453.029$$

$$S = \text{DESVIO PADRÃO} = 9.844$$

Aplicando a fórmula, pode-se concluir que a análise de variação para um dia útil do mês de dezembro de 2006 é:

$$[453.029 - 2*9.844; 453.029 + 2*9.844] = [433.340; 472.717]$$

Devem ser excluídas do cálculo as alterações de demanda que se situarem fora do intervalo de variação em torno da média típica, e em seguida é calculada uma nova média, denominada média filtrada. Conforme os dados da tabela 2 verifica-se que o dia 22 de dezembro de 2006 encontra-se fora da variação permitida e, portanto, deve ser excluído para a determinação da média filtrada. Normalmente essas variações têm uma causa pontual que deve ser pesquisada e registrada. Estações fechadas por algum motivo, acidentes graves, chuvas torrenciais, shows, eventos políticos, jogos no estádio do Maracanã são alguns exemplos de ocorrências que podem fazer a demanda atingir valores fora da faixa aceitável. No caso do dia 22 de dezembro de 2006 foi uma sexta-feira, antes do feriado de Natal da segunda-feira, sendo, portanto, considerado um dia enforcado.

Excluindo o dia 22 de dezembro de 2006, obtém-se como média filtrada **454.730**. Isso significa que o erro da previsão da média filtrada (449.596) foi de **1,13%**.

O total de entradas com bilhetes na realidade foi de **10.171.951**, o que significa que o erro da previsão do total de entradas com bilhetes (10.241.302) foi de **0,68%**.

5. CONCLUSÕES

O Metrô Rio tem utilizado desde 1995 esta metodologia de previsão de demanda, com resultados satisfatórios e baixos erros de previsão, como verificado no estudo de caso apresentado.

As principais vantagens da metodologia de previsão de demanda implantada no Metrô Rio são o aproveitamento dos dados já existentes, o baixo custo no tratamento desses dados, a simplicidade de uso, a possibilidade de utilização da experiência e sensibilidade do operador e rapidez na sua execução.

Por se tratar de uma metodologia específica para sistemas de transportes, a produção “lugares ofertados” não pode ser estocada, como ocorre na produção de outros setores industriais. Por isso, é preciso que a previsão de demanda seja realizada de uma forma rápida, precisa e com dados confiáveis, sem precisar adotar modelos matemáticos complexos e com previsões de longo prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bodmer, M.; Seabra, S.S. (1995) Previsão de demanda de uma transportadora. Revista Via Urbana. Ano 5, Janeiro/Fevereiro 1995.
- Costa, R. P. (2006) Apresentação em aula – análise de mercado. Material de aula. Disponível em: <http://www.prd.usp.br/disciplinas/docs/pro2802-2006-Reinaldo-Muscat/analise%20de%20mercado.PDF>. Acesso em 29/04/2007.
- Ferraz, A. C. P.; Torres, I. G. E. (2004) *Transporte público urbano* (2ª. ed.). Rima Editora, São Carlos.
- Metrô-Rio (2007) Dados cedidos pela área de Inteligência de Mercado, da Opportrans Concessão Metroviária S.A.
- Seabra (1995) *Metodologia para acompanhamento e previsão de curto prazo das variações na demanda por transporte público urbano: um instrumento gerencial para a operação*. Dissertação de M.Sc. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.