

MODELAGEM DA DEMANDA DE PASSAGEIROS POR ESTAÇÃO EM SISTEMAS DE ALTA CAPACIDADE

D. C. S. Garcia, V. B. G. Campos

RESUMO

Neste trabalho apresenta-se um estudo que visa a modelagem da demanda para estações de sistemas de alta capacidade. Para tanto, foi inicialmente realizada uma revisão de literatura, identificando técnicas de análise em diversos estudos e as variáveis de demanda mais utilizadas. Com os dados do sistema metroviário do Rio de Janeiro foram, então, avaliados os impactos sobre a demanda advindos de mudanças ocorridas na rede metroviária da cidade e realizados testes de correlação, a fim de se validar a relevância de algumas variáveis. Ao final, foram definidos modelos de previsão com base em dados de três anos distintos, com resultados satisfatórios, para os coeficientes de cada variável selecionada para o modelo.

1 INTRODUÇÃO

No planejamento de sistemas de transportes é importante o desenvolvimento de pesquisas e estudos que tragam uma maior compreensão do comportamento da demanda, visando estimá-la com maior precisão, principalmente nas estações dos sistemas. Pois, a partir desta estimativa é possível dimensionar os recursos necessários ao atendimento dos usuários que utilizam cada uma das estações, bem como efetuar um planejamento financeiro mais assertivo para o sistema.

Desta forma, tendo como foco a modelagem da demanda para sistemas de transporte de massa buscou-se neste trabalho, a partir de uma revisão de literatura, identificar variáveis que pudessem ser relevantes para a previsão de demanda em estações, ou seja, para estimar o número de passageiros embarcando no sistema. E a partir desta revisão, avaliar estas variáveis numa análise da demanda por estação no sistema de transporte metroviário do Rio de Janeiro, buscando definir um modelo de previsão de demanda por estação. Teve-se como principal motivação a possibilidade de poder verificar o quanto as condições de ocupação do solo no entorno das estações e as próprias características do sistema influenciariam a demanda nas estações. Também, como forma de avaliar a variação da demanda devido a mudanças operacionais no sistema foram feitas análises quanto a variação na quantidade de passageiros embarcando em estações que foram impactadas com a implantação de uma nova estação, ou por alteração na operação da linha dentro do sistema.

Nas análises em relação a questões operacionais observou-se que mudanças, como inauguração de uma nova estação ou na característica operacional da estação dentro do sistema, podem fazer com que o comportamento da demanda numa determinada estação se modifique. Verificou-se, por exemplo, que a inauguração de uma estação pode influenciar de bastante na demanda de estações adjacentes. Além disso, as estações que deixaram de ser terminal ou de ter integração com ônibus, ou passaram a ter essas características podem ter

reduções ou aumentos, momentâneas ou permanentes da demanda de passageiros embarcando.

Desta forma, este artigo se constitui em 5 seções além da introdução. Na seção 2 apresenta-se um resumo da revisão de literatura. Na seção 3 descreve-se o sistema Metroviário do Rio e as mudanças na demanda por estações devido a questões operacionais na seção 4. Na seção 5 apresentam-se as análises da demanda com dados do MetrôRio, a fim de se verificar a relevância de algumas variáveis na estimativa da demanda por estação, bem como, modelos de previsão. E, finalmente, na seção 6 apresentam-se algumas considerações finais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura compreendeu uma busca, em revistas indexadas, de artigos que apresentavam uma modelagem de demanda em sistemas de transporte público de média e alta capacidade. Esta busca resultou em nove artigos que tratam da demanda de sistemas de metrô, de trens, de VLT e ônibus (BRT) em diferentes países. Com base na revisão efetuada, foi gerada a Tabela 1 destacando as principais variáveis testadas nos estudos apresentados, e aquelas que entraram na modelagem final. As técnicas utilizadas variaram entre modelos regressivos, com técnicas diversas, e georreferenciados. Em média, cada estudo utilizou em torno de 23 variáveis em seus testes, sendo o mínimo igual a 13, e o máximo, 42.

Como se pode perceber pela Tabela 1 (Garcia e Campos 2015), algumas variáveis se destacam, como aquelas relacionadas a fatores socioeconômicos, à facilidade de acesso às estações e à possibilidade de integração com outros meios de transporte. Também se percebe a utilização de variáveis *dummies* (0 - não existe ou 1 – existe a condição relativa a variável) para aspectos específicos, e em função das peculiaridades de cada cidade estudada e da operação do sistema.

No aspecto socioeconômico, nota-se a presença constante de variáveis referentes à população, a empregos (seja em número de postos de trabalho, população ocupada ou percentual da população ocupada) e à renda. A educação também se destaca, aparecendo ora como número de matrículas, ora como número de universidades ou de instituições de ensino no entorno.

A facilidade do acesso ao sistema também é considerada em muitos estudos, algumas vezes fazendo uso de índices desenvolvidos para medir esse aspecto, como presença de calçadas, integração facilitada com outros modos de transportes, por meio de conexões com ônibus ou presença de park-and-ride, de maneira que o sistema de mobilidade da cidade esteja integrado e aumente sua atratividade. A qualidade do sistema também se apresenta em um número considerável de análises, pois a regularidade e a confiabilidade de um sistema também podem se mostrar como itens preponderantes nas decisões de viagens.

O uso do solo (comercial, residencial ou industrial) e a presença de shopping centers, restaurantes, hotéis e hospitais são as variáveis de ocupação testadas em alguns casos. Em alguns trabalhos também foram utilizadas como variáveis características específicas do local, como a proximidade com fronteiras internacionais, a presença de aeroportos e a presença de estações em centros comerciais.

Tabela 1 . Variáveis utilizadas na modelagem da demanda em diferentes estudos

	Kuby <i>et al.</i> (2004)	Estupinan e Rodriguez (2008)	Sonh e Shim (2010)	Choi <i>et al.</i> (2011)	Somenahalli (2011)	Cardozo <i>et al.</i> (2012)	Pulugurtha (2012)	Zhao <i>et al.</i> (2013)	Chan e Miranda-Moreno (2013)
Raio de influência (m)	800	250	500	500	800	800	400, 800, 1.200 e 1.600	800	500 / 1.000
Modo	VLT	BRT	Metrô	Metrô	Metrô	Metrô	Ônibus	Metrô	Metrô
Região	EUA (Diversos)	Colômbia (Bogotá)	Coreia do Sul (Seoul)	Coreia do Sul (Seoul)	Austrália (Adelaide)	Espanha (Madrid)	EUA (Carolina do Norte)	China (Nanjing)	Canadá (Montreal)
Acessibilidade	Ø	Ø	Ø		Ø	x	Ø	Ø	Ø
Alimentação de Ônibus	Ø	Ø	Ø	x		Ø		Ø	Ø
Centro comercial (Dummy)	x			Ø				Ø	
Empregos	Ø	x	Ø	Ø		Ø	x	Ø	x
Especificidade da cidade (Dummy)	x								
Estação de transferência (Dummy)	Ø		Ø					Ø	Ø
Estação terminal (Dummy)	Ø							x	Ø
Fronteira Internacional (Dummy)	Ø								
Matrículas		x			Ø				
Número de estabelecimentos comerciais									x
Número de hospitais								x	
Número de hotéis								x	
Número de instituições de ensino								Ø	x
Número de locais de entretenimento								Ø	
Número de matrículas (Universidade)	x								
Número de restaurantes								x	
Número de shopping centers								Ø	
Número de vagas (Park-and-ride)	Ø								
Número de vagas (Park-and-ride, não motorizados)								Ø	
População	Ø	x	Ø	Ø	Ø	Ø	x	Ø	Ø
Posse de Auto					x	x	Ø		x
Presença de Aeroportos (Dummy)	Ø								
Presença de Universidade (Dummy)			Ø	Ø					
Qualidade do Serviço	x	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø		x	Ø
Renda							Ø		Ø
Uso do Solo		x	Ø	x	x	x	Ø	Ø	Ø
Outras	Ø	x							
Metodologia	OLS	Equações simultâneas	Regressão múltipla Equações estruturais	Multiplicativo Regressão de Poisson	OLS GWR	OLS GWR	SPM SWM	Regressão múltipla	Linear multivariado
Variáveis testadas	23	23	29	16	14	13	20	24	42

Ø- Testadas e incluídas na modelagem final

x - Testadas, mas não incluídas na modelagem final.

Fonte: Garcia e Campos (2015)

3 SISTEMA METROVIÁRIO DO RIO DE JANEIRO

O metrô do Rio de Janeiro (MetrôRio), apresentado na Figura 1, foi inaugurado em março de 1979, com apenas cinco estações, uma linha e 4,3 km de extensão. Já em 1981, foi inaugurada a linha 2 e expansões foram ocorrendo ao longo dos anos. Em abril de 1998, houve a concessão do sistema, que passou a ser operado por uma empresa privada e neste ano foi inaugurado um longo trecho da linha 2. Até então, a estação Vicente de Carvalho era o terminal da linha 2. Depois da inauguração, a estação Pavuna passou a ser a estação terminal dessa linha. Também neste ano, na Linha 1, foi inaugurada, logo após a estação de Botafogo, a estação de Cardeal Arcoverde no bairro de Copacabana, que passou a ser a estação terminal. Em 2003, foi inaugurada a estação de Siqueira Campos, também no bairro de Copacabana, e ela, então, passou a ser a estação terminal da linha 1.

Em 2007, mais uma mudança envolvendo o bairro de Copacabana, com a inauguração da nova estação terminal: Cantagalo e no final de 2009, duas importantes mudanças ocorreram: a inauguração da estação General Osório, no bairro de Ipanema, passando a ser o novo terminal da linha 1, e a mudança na forma de operação do sistema com o fim da transferência entre as linhas 1 e 2 na estação Estácio. Até então, os usuários da linha 2 precisavam efetuar a transferência entre as linhas na estação Estácio; a partir de dezembro de 2009, os trens da linha 2 passaram a compartilhar os trilhos com os trens da linha 1, no trecho compreendido entre as estações de Central e Botafogo, que passou a ser uma estação terminal da Linha 2. Em 2012, o MetrôRio contava com 36 estações e cerca de 41 km de extensão, e duas linhas operacionais.



Figura 1 – Mapa do Metro do Rio de Janeiro

Todas essas mudanças refletiram em alterações na demanda pelo sistema metroviário, em geral, sempre aumentando a quantidade de passageiros que utilizavam o sistema diariamente. Entretanto, quando se analisa cada uma das estações isoladamente, nota-se que algumas delas tiveram queda na demanda, conforme apresentado na Seção 4 a seguir.

4 VARIAÇÃO DA DEMANDA NAS ESTAÇÕES EM FUNÇÃO DE MUDANÇAS OPERACIONAIS

Em 1998, com a inauguração da estação Cardeal Arcoverde, na Linha 1, e das estações Irajá, Colégio, Coelho Neto, Acari/Fazenda Botafogo, Engº Rubens Paiva e Pavuna, em setembro, na Linha 2, as estações mais impactadas, foram as estações de Botafogo, na Linha 1, e de Vicente de Carvalho, na Linha 2, por terem deixado de ser terminais.

Na estação Botafogo, a alteração da demanda foi pequena, da ordem de menos 2,3%. Essa pequena alteração pode ser explicada pelo fato de esta estação estar bem afastada da estação Cardeal Arcoverde, fazendo com que poucos usuários que passaram a utilizar a nova estação já utilizassem a estação Botafogo e só terem migrado para a nova estação.

No entanto, quando se avalia a estação de Vicente de Carvalho, nota-se uma redução de 41,7% da demanda na estação. Isto pode ser explicado pelo fato de que usuários que passaram a utilizar as novas estações já utilizavam o sistema através da estação de Vicente de Carvalho e só modificaram seu local de entrada, não se configurando uma quantidade significativa a mais de pessoas utilizando o sistema.

Embora a estação Cardeal Arcoverde, quando de sua inauguração, não tenha impactado de forma significativa a estação de Botafogo, ela sofreu grande impacto em função da abertura da estação Siqueira Campos, em março de 2003. Além do fato de ambas as estações possuírem parte da área de abrangência em comum, também pesou o fato de uma linha de ônibus integrada ao Metrô ter passado a realizar a integração na nova estação, e não mais na estação Cardeal Arcoverde. Esta última apresentou queda de quase 60%, na comparação entre 2003 e 2002.

Em março de 2007, foi inaugurada, também no bairro de Copacabana, a estação Cantagalo. No entanto, a linha de ônibus integrada continuou a realizar a integração na estação Siqueira Campos. O impacto para essa estação foi uma redução de 9,1%.

Em janeiro de 2010, foi inaugurada, no bairro de Ipanema, a estação General Osório. O impacto na estação Cantagalo foi significativo, redução de 45%, assim como na estação Siqueira Campos, da ordem de 35%, uma vez que a linha de ônibus integrada foi transferida para a nova estação. Concomitantemente, e conforme já mencionado, foi modificada a forma de operação do sistema e a Linha 2 que passou a ter como terminais as estações Pavuna e Botafogo. Essa nova forma de operação causou grandes mudanças no sistema, uma vez que diminuiu o tempo de viagem dos usuários da Linha 2 em cerca de 13 minutos. Além disso, os passageiros com origem e destino no trecho compartilhado (Central- Botafogo) passaram a poder utilizar os serviços de ambas as linhas, que passaram também a ser estações de integração entre as duas linhas.

Pode-se perceber que as modificações ocorridas no sistema trouxeram impactos variados nas estações, principalmente, nas estações que deixaram de ser terminais ou de integração com ônibus. Isto evidencia a importância desta análise além da própria estimativa da demanda por estações com modelos de demanda.

5 ANÁLISE E MODELAGEM DA DEMANDA POR ESTAÇÃO

Após a análise sobre variações na demanda devido a mudanças no sistema, buscou-se verificar a possibilidade de definir um modelo, para estimativa da demanda de passageiros embarcando nas estações em função de suas características operacionais e da ocupação da área de entorno.

As variáveis independentes/explicativas foram escolhidas com base na revisão de literatura ou seja, do conjunto de variáveis mais relevantes da Tabela 1. As escolhas foram orientadas, também, pela disponibilidade dos dados, uma vez que dados relativos à população e empregos só foram obtidos para poucos anos. Assim, foram utilizadas como variáveis explicativas: população, emprego, número de matrículas no ensino médio e fundamental, renda e variáveis dummies (integração com ônibus, integração com trem, estação de transferência, estação terminal, presença de universidade ou shopping centers)

Foram utilizados os dados dos anos 2000, 2007 e 2013 devido a disponibilidade de informações apenas nestes anos e por eles representarem o sistema metroviário em três épocas distintas, e assim, poder avaliar a relação entre as diferentes variáveis e a demanda de embarque por estação sistema metroviário, em anos distintos, bem como as modificações que ocorrem nessa relação. Como variável independente utilizou-se os valores de MDU (média dia útil) de passageiros embarcando por estação nos respectivos anos.

Para efetuar esta análise utilizou-se a seguinte metodologia:

- Definição do raio de influência das estações;
- Definição das variáveis e dos dados de demanda de embarque;
- Processo de análise, regressão múltipla, com uso dos Mínimos Quadrados Ordinários (OLS, *Ordinary Least Squares*);
- Modelagem, com a caracterização das estações.

Em relação ao raio de influência da estação, Garcia (2015) observou que os autores adotam a distância de 500 m, outros, a de 800 m. De maneira geral, os dados contidos no raio de 500 m também estão inseridos na área com o raio de 800 m; assim, a adoção do raio de 500 m pode se mostrar mais indicada, uma vez que não se incluirão valores que podem não estar influenciando a demanda de embarque na estação, por estarem muito distantes destas. Também Sonh & Shim (2010) e Choi et al. (2012), nos estudos desenvolvidos em relação ao metrô de Seul, consideraram a área de influência a partir do ponto central da estação, com um raio de 500 m.

5.1 Análise com dados de 2000

Os dados para o ano 2000 foram os mais difíceis de serem obtidos e não foi possível obter dados referentes à quantidade de empregos no entorno das estações. Nessa época, só havia uma integração com ônibus, na estação terminal Pavuna. O sistema metroviário apresentava 31 estações.

Com o emprego do software Eviews (Buscariolli, 2011) estimou-se os parâmetros para a equação que definiria a relação entre a demanda de embarque e as demais variáveis, incluindo-se, também, as *dummies* definidas anteriormente. Num primeiro momento, utilizou-se os dados de todas as estações e tentou-se obter um modelo que melhor se ajustasse para a estimação dos parâmetros.

Nas Figura 2a observa-se o resultado da análise com todas as variáveis não se obtendo bons parâmetros estatísticos, com baixo coeficiente de determinação ajustado ($R^2= 0,16$), bem como um valor abaixo do aceitável para a estatística de Durbin-Watson. Os coeficientes de algumas variáveis, como a integração com ônibus e trem mostraram-se com probabilidade muito grande de serem iguais a zero, podendo essas variáveis ser retiradas da modelagem. Alguns testes foram feitos, excluindo algumas variáveis a cada momento, para se tentar chegar ao melhor modelo. No entanto, nenhuma tentativa se mostrou eficaz.

Em seguida, foram feitos os mesmos testes, porém, sem considerar as estações do Centro da cidade, ao todo seis estações, em função de que estas por terem uma característica de entorno bem diferente das demais poderiam estar distorcendo o resultado da análise. Nota-se que já no primeiro teste (Figura 2b) sem as estações do centro, o coeficiente de determinação R^2 ajustado apresenta um bom valor (0,70), embora a estatística de Durbin-Watson apresente valor elevado. O p-valor de alguns coeficientes também apresentam valores elevados, indicando que alguns deles podem ser retirados da modelagem.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	12377.44	3509.643	3.526693	0.0018
ESTACAO_TRANSF	-19637.20	12301.64	-1.596307	0.1241
INTEGR_ONB	-1304.628	13344.54	-0.097765	0.9230
INTEGR_TREM	421.0554	6175.420	0.068182	0.9462
POPULACAO	-0.240250	0.255729	-0.939471	0.3573
SHOPPING_CENTER	10009.34	6058.227	1.652189	0.1121
TERMINAL	15326.86	8063.717	1.900719	0.0699
UNIVERSIDADE	-4344.636	7255.374	-0.598816	0.5551

R-squared	0.357066	Mean dependent var	11628.77
Adjusted R-squared	0.161391	S.D. dependent var	10075.12
S.E. of regression	9226.350	Akaike info criterion	21.31515
Sum squared resid	1.96E+09	Schwarz criterion	21.68521
Log likelihood	-322.3848	F-statistic	1.824787
Durbin-Watson stat	0.965063	Prob(F-statistic)	0.130519

Figura 2a – Resultado inicial, ano 2000, com as estações do Centro

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-2000.521	3277.176	-0.610440	0.5496
ESTACAO_TRANSF	-2880.291	7840.573	-0.367357	0.7179
INTEGR_ONB	10957.65	8768.194	1.249704	0.2283
INTEGR_TREM	2332.958	4752.578	0.490883	0.6298
POPULACAO	0.678515	0.210146	3.228776	0.0049
SHOPPING_CENTER	16955.62	3779.739	4.485924	0.0003
TERMINAL	8382.465	5086.514	1.647978	0.1177
UNIVERSIDADE	697.5065	4655.409	0.149827	0.8827

R-squared	0.788058	Mean dependent var	11448.24
Adjusted R-squared	0.700788	S.D. dependent var	10202.48
S.E. of regression	5580.789	Akaike info criterion	20.34639
Sum squared resid	5.29E+08	Schwarz criterion	20.73643
Log likelihood	-246.3298	F-statistic	9.030084
Durbin-Watson stat	2.579652	Prob(F-statistic)	0.000112

Figura 2b – Resultado inicial, ano 2000, sem as estações do Centro

Entretanto, após algumas tentativas, o melhor modelo obtido sem a constante, com as mesmas variáveis explicativas/independentes, teve um $R^2= 0,724$, com a estatística de Durbin Watson (1,86) próxima ao seu valor de referência (2,00). O p-valor de cada uma das variáveis também apresenta valor baixo. Assim, para o ano 2000, sem considerar as estações do Centro o melhor modelo de demanda de passageiros (D_{pax}) embarcando por estação é representado pela Equação 1.

$$Dpax = 20,028 \text{ Int.Ônibus} + 0,6420 \text{ População} + 18, 275 \text{ Shopping center} + \epsilon \quad (1)$$

Assim, análise mostrou que as variáveis mais significativas para a estimativa da demanda de embarque neste ano foram: Integração com ônibus, População e Shopping Centers.

5.2 Análise com dados de 2007

Para o ano de 2007, efetuou-se os mesmos testes do ano de 2000, com a diferença de que, para esse ano, dispunha-se de dados relativos aos empregos. Procedeu-se, então, a um teste de correlação entre as variáveis, com o grupo de todas as estações, à época, 33 estações, chegando-se, na primeira tentativa de modelagem, a resultados também não aceitáveis.

Após algumas análises, com testes de exclusão de algumas variáveis, chega-se a um modelo final, com as estações do Centro, que é mostrada na Figura 3a. O $R^2 = 0,707$, porém o valor de Durbin-Watson acima do valor de referência. O p-valor dos coeficientes se mostram próximo de zero, indicando a importância dos mesmos dentro da modelagem. Após algumas tentativas, não considerando as estações do centro e também excluindo-se algumas variáveis, o melhor modelo obtido (Figura 3b) é representado pela equação com o valor ajustado $R^2 = 0,749$ e a estatística de Durbin-Watson aceitável. No entanto, o p-valor da variável Terminal não está dentro da faixa de aceitação de 95%, mas está dentro da faixa do nível de significância de 90%. Observou-se que caso se retire essa variável, os parâmetros estatísticos pioram.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
EMPREGOS	0.195217	0.021228	9.196052	0.0000
INTEGR_TREM	17589.68	3724.052	4.723263	0.0001
POPULACAO	0.415113	0.073216	5.669694	0.0000
SHOPPING_CENTER	15842.45	3880.960	4.082095	0.0003

R-squared	0.734854	Mean dependent var	16292.36
Adjusted R-squared	0.707425	S.D. dependent var	13674.17
S.E. of regression	7396.390	Akaike info criterion	20.76858
Sum squared resid	1.59E+09	Schwarz criterion	20.94998
Log likelihood	-338.6816	Durbin-Watson stat	2.282053

Figura 3a - Resultado, ano 2007, com as estações do Centro

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
EMPREGOS	0.415764	0.129109	3.220252	0.0039
INTEGR_TREM	8253.824	3546.919	2.327040	0.0296
POPULACAO	0.230597	0.105820	2.179151	0.0403
SHOPPING_CENTER	11514.23	3511.304	3.279190	0.0034
TERMINAL	6458.527	3395.126	1.902294	0.0703

R-squared	0.787955	Mean dependent var	13712.52
Adjusted R-squared	0.749402	S.D. dependent var	11600.63
S.E. of regression	5807.250	Akaike info criterion	20.33718
Sum squared resid	7.42E+08	Schwarz criterion	20.57715
Log likelihood	-269.5519	Durbin-Watson stat	1.825730

Figura 3b - Resultado, ano 2007 sem as estações do Centro

Assim, para o ano de 2007, a melhor função de demanda de embarque de passageiros sem as estações centro é expressa pela Equação 2.

$$Dpax = 8,254 \text{ Int. Trens} + 0,2306 \text{ População} + 0,4158 \text{ Empregos} + 11, 514 \text{ Shopping centers} + 6,458 \text{ Terminal} + \epsilon \quad (2)$$

5.3 Análise com dados de 2012

Em 2012, conforme já mencionado já havia acontecido uma grande modificação na operação do sistema, sem a necessidade de transferência entre as linhas 1 e 2 na estação Estácio. Então, para este ano, efetuou-se os mesmos testes descritos para 2007, com a inclusão das variáveis referentes a matrículas e à renda, uma vez que se dispunha-se também destes dados.

Nenhuma das modelagens teve resultados satisfatórios, a Figura 4a mostra a melhor modelagem com todas as estações. Ainda que com um bom valor ajustado de R^2 (0,68), e com os coeficientes apresentando p-valor baixo, dentro do nível de significância de 95%, a modelagem para a série de pagantes ainda apresenta estatística de Durbin-Watson com valor além do aceitável (2,552), indicando autocorrelação dos erros.

Assim, procedeu-se os testes com a exclusão do grupo das estações do Centro, a fim de verificar se um melhor modelo seria obtido. Após algumas tentativas, com exclusão de algumas variáveis, chegou-se a um modelo final apresentado na figura 4b.

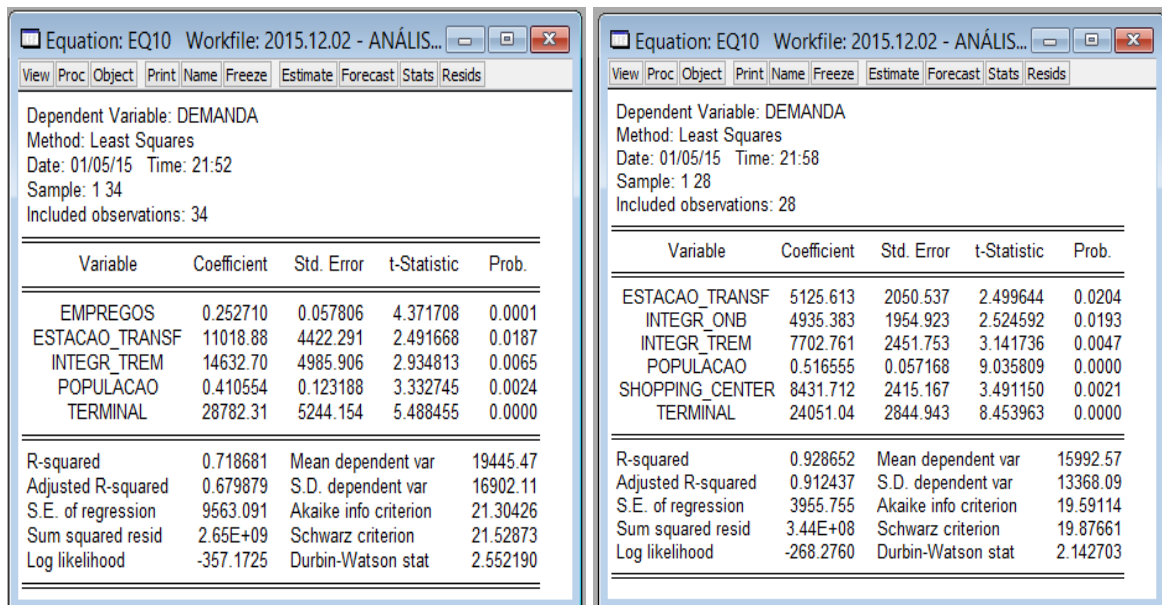


Fig. 4a - Resultado, ano 2012, com as estações do Centro

Figura 4b - Resultado, ano 2012, sem as estações do Centro

Assim, a função demanda de embarque de passageiros por estação para o ano de 2012 apresenta a configuração expressa pela Equação 3.

$$D_{pax} = 5.126 \text{ Est. Transf} + 4,935 \text{ Int } \hat{\text{ônibus}} + 7,703 \text{ Int Trens} + 0,5165 \text{ População} + 8,432 \text{ Shopping center} + 24,051 \text{ Terminal} + \epsilon \quad (3)$$

Note-se que nesta modelagem as características operacionais das estações foram bastante representativas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados das equações para os três anos, elaborou-se a Tabela 2 indicando os coeficientes obtidos em cada uma das equações, para cada ano nas análises que não consideraram as estações do Centro. Para a variável população, nota-se uma oscilação em relação ao valor de seu coeficiente, com maior representatividade nos anos de 2000 e 2012. A diferença das fontes dos dados pode ter contribuído para essas variações...

Tabela 2 - Resumo dos coeficientes e das variáveis utilizadas nos modelos finais da série de passageiros totais, para cada ano

<i>Ano</i>	<i>População</i>	<i>Integração com Ônibus</i>	<i>Integração com Trens</i>	<i>Empregos</i>	<i>Estação de Transferência</i>	<i>Shopping Center</i>	<i>Terminal</i>
2000	0,6420	20.028		N/D		18.275	
2007	0,2306		8.254	0,4158		11.514	6.458
2012	0,5165	4.935	7.703		5.126	8.432	24.051

A integração com ônibus se mostrou significativa nos anos de 2000 e 2012, com destaque para o primeiro, não sendo significativa para 2007. E a integração com trens apresentou coeficientes relativamente próximos nos anos de 2007 e 2012, não sendo significativo para o ano de 2000.

A variável empregos, embora não estivesse disponível para 2000 no detalhamento necessário, mostrou-se significativa apenas para o horizonte de 2007, não sendo relevante para o ano de 2012.

A variável estação de transferência foi representativa apenas no ano de 2012. A explicação para tal fato pode se dever à alteração que ocorreu na forma de operação do sistema. Antes, só havia uma estação de transferência; após a modificação, dez estações passaram a exercer esse papel, ampliando o leque de opções para os usuários.

A variável Shopping Center apresentou-se como significativa para os três anos avaliados, embora sua representatividade tenha diminuído ao longo do tempo, com redução de seu valor quase que tendencial.

A variável Estação terminal apresentou-se como significativa apenas nos anos de 2007 e 2012, tendo tido uma variação elevada entre esses dois anos. Tal explicação pode se dever à mudança de operação no sistema, fazendo com que a estação Estácio deixasse de ser terminal, e outras estações maiores passassem a exercer esse função.

A tabela 3 mostra o coeficiente de determinação para cada um dos anos para a demanda de embarque. O valor do R^2 foi menor nos anos de 2000 e 2007, ainda que tenha tido um resultado considerável, e foi alto para o ano de 2012.

Tabela 3 -Resumo dos três anos para R² (ajustado)
e variações observadas

Ano	R ² (ajustado)
2000	0,724
2007	0,749
2012	0,912

Considera-se que estes resultados possibilitaram identificar a importância de algumas variáveis na análise da demanda de um sistema de alta capacidade, porém esta pesquisa necessitaria ser ampliada para outros sistemas, enfatizando a questão do uso do solo no entorno das estações que, aparentemente, se mostrou relevante quando se fez a análise não considerando as estações do centro, o que também pode significar a necessidade de se ter dados mais apurados sobre a ocupação. Destaca-se também, que alguns dos resultados foram bastante coerentes, quanto aos coeficientes das variáveis na modelagem, em relação aos resultados apresentados pelos autores revisados.

REFERÊNCIAS

Buscariolli, B., Emerick, J.. Econometria com Eviews – Guia essencial de conceitos e aplicações, Ed. Saint Paul, São Paulo, 2011.

Cardozo. O. D.. García-Palomares. J. C.. Gutiérrez. J.. “Application of geographically weighted regression to the direct forecasting of transit ridership at station-level”. Applied Geography 34 (2012) 548 – 558

Chan. S.. Miranda-Moreno. L.. “A station-level ridership model for the metro network in Montreal. Quebec”. Canadian Journal of Civil Engineering 40 (2013) 254 – 262

Choi. J.. Lee. Y.. Kim. T.. Sohn. K.. “An analysis of Metro ridership at the station-to-station level in Seoul”. Transportation (2012) 39: 705–722

Estupiñán. N.. Rodríguez. D. A.. “The relationship between urban form and station boardings for Bogotá’s BRT”. Transportation Research Part A 42 (2008) 296 – 306

Garcia, D.C.S. Campos, V.B.G. Modelagem da Demanda em Sistemas de Transporte Público. Revista Militar de Ciência e Tecnologia, Vol 3, (2015).

Garcia, D.C.S. (Análise da demanda de passageiros em estações de sistemas de transporte de grande capacidade. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro. (2015).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1287&z=cd&o=2&i=P>; Acesso em 06 de julho de 2014.

Kuby. M.. Barranda. A.. Upchurch. C.. “Factors influencing light-rail station boardings in the United States”. Transportation Research Part A 38 (2004) 223 – 247

Pulugurtha. S. S.. “Assessment of Models to Estimate Bus-Stop level Transit Ridership using Spatial Modelling Methods”. *Journal of Public Transportation*. Vol. 15. Nº 1 (2012) 33 – 52

Sohn. K.. Shim. H.. “Factors generating boardings at Metro stations in the seoul metropolitan area”. *Cities* 27 (2010) 358 – 368

Somenahalli. S.. “Stop-level Urban Transit Ridership Forecasting – A case Study”. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. Vol. 9 (2011) 422 – 436

Zhao. J.. Deng. W.. Song. Y.. Zhu. Y.. “What influences Metro station ridership in China? Insights from Nanjing”. *Cities* 35 (2013) 114 – 124