

## ESTUDO DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE PASSAGEIROS PARA A CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Cayami Schultz Chiovitti Cavalcante (Analista de Mercado da Aviação Comercial EMBRAER)  
E-mail: cayami@gmail.com

**Resumo:** Este trabalho consiste na realização de um estudo de demanda por transporte ferroviário para a cidade do Rio de Janeiro com o objetivo de prever o crescimento do número de passageiros com a expansão projetada para as linhas no médio prazo. Para atingir essa meta, foram utilizadas ferramentas da econometria para desenvolver modelos de previsão de demanda e gerar previsões em torno de um único cenário central.

**Palavras-chave:** Transporte, ferroviário, Rio de Janeiro, Projeção, Demanda

## PASSENGER RAIL TRANSPORTATION IN THE CITY OF RIO DE JANEIRO

**Abstract:** This paper consists in accomplishing a study on the demand for subway system transportation in the city of Rio de Janeiro, Brazil. The objective is to forecast the growth in the number of passengers that will be using the subway system with the expansion planned for the next few years. To obtain this goal, econometric tools were used to develop a forecast model the simple case of a single central scenario.

**Keywords:** Transport, rail, subway, Rio de Janeiro, Forecast, Demand

### 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho consiste na realização de um estudo de demanda por transporte ferroviário para a cidade do Rio de Janeiro com o objetivo de prever o crescimento do número de passageiros com a expansão projetada para as linhas no médio prazo. Para atingir essa meta, foram utilizadas ferramentas da econometria para desenvolver modelos de previsão de demanda e gerar previsões em torno de um único cenário central e uma base de dados com diversas variáveis.

A cidade do Rio de Janeiro tem sido foco de muitos investimentos em infraestrutura devido aos eventos como a Copa de 2014 a as Olimpíadas de 2016 que serão ali sediadas. O orçamento planejado pela organização das Olimpíadas do Rio 2016 para os transportes foi de aproximadamente 2,6 bilhões de dólares. Este dinheiro será gasto principalmente expandindo o metrô do Rio, reformando avenidas e também construindo corredores de ônibus rápidos pela cidade.

Nesse contexto, torna-se interessante levantar o questionamento a respeito de quais seriam os efeitos na melhoria do transporte público na cidade. Sabe-se que hoje existe uma grande deficiência na qualidade desse transporte e espera-se poder atender os cidadãos de forma mais adequada através dessas reformas do sistema ferroviário urbano. Assim, é possível perceber a relevância desse estudo com o intuito de compreender as mudanças que estão por vir.

O presente trabalho está dividido da seguinte maneira: na Seção 2 uma análise é feita do sistema ferroviário do Rio de Janeiro incluindo plano de expansão futura. A Seção 3 aborda o método de análise econométrica adotado incluindo detalhamento das variáveis adotadas e previsão de demanda futura. Por fim as conclusões são apresentadas para resumir o presente trabalho e discutir possíveis melhorias no processo de modelagem.

## **2. ANÁLISE DO SISTEMA FERROVIÁRIO DO RIO DE JANEIRO**

A cidade do Rio de Janeiro conta com duas linhas de metro que fazem parte de um sistema integrado de transportes urbano. A Linha 1 Laranja se inicia na estação General Osório no bairro de Ipanema e termina com a estação Saens Peña no bairro da Tijuca com um total de 19 estações e 16 quilômetros de extensão. A Linha 2 Verde se inicia na Estação Pavanu até a Estação Botafogo que ficam nos bairros de mesmo nome. Ela tem 30,2 quilômetros de comprimento e conta com 26 estações. O trecho compartilhado do metrô conta com dez estações.

### **2.1 Características do metrô**

O metrô do Rio de Janeiro tem papel fundamental para prover soluções completas de deslocamento urbano baseado em integração de produtos e serviços, proporcionando experiências que superem as expectativas de seus clientes, colaboradores e da sociedade. A escolha do Rio de Janeiro para sediar eventos esportivos faz com que a cidade seja foco de atenções no mundo todo representando o progresso socioeconômico do Brasil. Ter uma infraestrutura adequada na chegada dos eventos é de grande importância para afirmar chegada do Brasil ao desenvolvimento. Inaugurado em março de 1979 com apenas cinco estações, hoje o número de passageiros transportados pelo sistema ferroviário do Rio é de mais de 1 milhão de pessoas diariamente segundo o banco de dados da FIPE (2009).

Com a chegada dos grandes eventos esportivos que serão sediados na cidade, uma grande onda de investimentos infraestruturais está mudando o setor de transporte público radicalmente. Até as Olimpíadas em 2016, a previsão é que serão investidos aproximadamente 2,6 bilhões de dólares. O grande foco dos investimentos é o metrô do Rio além de reformas em avenidas e criação de corredores de ônibus proporcionando um sistema mais integrado e mais eficiente de transporte urbano. Estas novas pistas de ônibus exclusivas vão interligar as regiões de hotéis com as instalações esportivas da nova vila olímpica. A organização do Rio 2016 também pretende construir uma nova ligação rápida entre o aeroporto e o centro.

Hoje o sistema ferroviário de passageiros do metro do Rio conta com aproximadamente 40 quilômetros de linhas e 45 estações. Até 2015, planeja-se que a rede do Metrô do Rio de Janeiro terá um acréscimo de 53 quilômetros divididos em duas novas linhas e 23 estações, totalizando quase 100 quilômetros de extensão, 4 linhas e 58 estações. A Linha 4 Cinza de 16 quilômetros que ligará a Estação de General Osório em Ipanema à estação Jardim Oceânico na Barra da Tijuca e a Linha 3 Azul de 37 quilômetros que ligará a estação Araribóia no centro de Niterói à estação Visconde de Itaboraí na cidade de Itaboraí.

### **2.2 Análise da malha ferroviária**

Devido à disponibilidade do mapa do sistema de transporte urbano pelo Grupo Invepar - Investimentos e Participações em Infra-Estrutura S.A que recebeu a concessão do Metrô do Rio em 2009, podemos entender a distribuição da malha ferroviária subterrânea e superficial e interligações com ônibus. Assim é possível notar que a Linha 2 Verde atinge a zona norte da cidade e não possui interligações com ônibus nas primeiras dez estações. A primeira estação que tem integração expressa é a Nova América/Del Castilho. Nas próximas três estações, existem três ligações à SuperVia de trens urbanos. Na Estação Central existe a conexão entre as duas linhas de metrô. A Linha 1 Laranja atinge bairros da zona sul como Ipanema e ainda é ligada a linha de metrô na superfície que atende os bairros do Leblon, a universidade PUC-Rio entre outros. Futuramente, essa região será atendida pela Linha 4 Cinza.

Com o mapa de densidade populacional verificou-se que as regiões mais populosas e mais centrais são alcançadas pelo sistema de transporte urbano. No entanto, mesmo bairros de alta densidade como o Leblon, Rocinha, Cidade de Deus e Gardênia Azul não possuem acessos diretos a metrô. Apesar de ligações entre o sistema ferroviário e transporte por ônibus proporcionar um sistema integrado de transportes que atinge uma área significativa da cidade, espera-se que a expansão do metrô proporcione maior facilidade de deslocamento de pessoas no Rio de Janeiro.

### **3. ESTUDO DA DEMANDA FERROVIÁRIO**

O presente estudo é composto por análise qualitativa e quantitativa da base de dados, pelo desenvolvimento de modelos econométricos e pela previsão da demanda por transporte ferroviário até dezembro de 2015.

#### **3.1 Descrição e análise da base de dados**

A base de dados históricos utilizado para esse estudo foi obtida pela Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE), o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). As informações levantadas para a cidade do Rio de Janeiro e para a região metropolitana foram o número de passageiros do sistema ferroviário, o número de passageiros do transporte coletivo urbano e a quilometragem rodada pelo sistema ferroviário. Dados demográficos incluíram a população e a população economicamente ativa da cidade e da região metropolitana. Com a finalidade de compreender o poder de compra dos cidadãos, o GDP per capita nacional foi obtido pela fonte adicional Global Insight. O preço da passagem por sua vez foi colhido pelo site do Metrô Rio. Dados históricos de IPCA foram usados para deflacionar a passagem. Com auxílio da ferramenta computacional Stata, foi possível levantar a uma descrição estatística das variáveis.

Na Tabela 1 é possível reparar na ordem de grandeza da quilometragem rodada mensalmente pelo sistema ferroviário (kmrj). O metrô hoje tem 182 carros. Se considerarmos uma velocidade média de operação de 50 km/h, operando 17 horas por dia, a quilometragem rodada fica na ordem de grandeza de 5 milhões de quilômetros por mês. A quilometragem indicada pelos dados obtidos pelo FIPE é aproximadamente 30 vezes maior que isso. Por essa razão, depois de fazer toda a análise com os dados da FIPE, o resultado foi dividido por 30 para ter uma noção mais realista do crescimento da quilometragem mensal.

Tabela 1- Mostra mínimo, máximo, média e desvio padrão das variáveis estudadas

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
paxferrrj	136	1.94e+07	4855680	8465653	2.95e+07
paxcolurbrj	136	1.73e+08	1.95e+07	1.30e+08	2.31e+08
paxcolurbr~m	136	1.53e+08	1.80e+07	1.13e+08	2.06e+08
kmrj	136	1.24e+08	1.33e+07	9.93e+07	1.58e+08
kmrjrm	136	1.14e+08	1.24e+07	9.07e+07	1.45e+08
rpk	136	2.88e+08	8.17e+07	1.02e+08	4.57e+08
pop	136	5969045	137896.2	5688757	6243864
pea	136	8.52e+07	6349616	7.29e+07	9.54e+07
pea_metro	136	2.78e+07	2437012	2.32e+07	3.16e+07
gdpcapita	136	4794.015	337.3097	4427	5494
gdpcap2	136	4829.941	348.874	4427	5494
price	136	3.034926	.3229104	2.41	3.52

A Tabela 2 mostra a matriz de correlações para as variáveis estudadas. O RPK é muito bem correlacionado com as demais e o que lhe torna um bom candidato a ser modelado. Todas as variáveis são positivamente correlacionadas inclusive o preço, o que vai contra a Lei Geral da Demanda. Pela falta de precisão na variável preço e a indicação clara que seu comportamento não se conforma a teoria econômica, a variável foi excluída do restante da análise. Tanto a população (pop) quanto a população economicamente ativa (pea) são bem correlacionadas ao RPK. Como as duas variáveis são indicadores da necessidade local por transportes, optou-se por explorar a população que tem correlação mais alta o que simplifica a previsão.

Tabela 2-Matriz de correlações

```
. correlate rpk paxferrrj kmrj pop pea gdpcap2 price stations
(obs=136)
```

	rpk	paxfer~j	kmrj	pop	pea	gdpcap2	price	stations
rpk	1.0000							
paxferrrj	0.9934	1.0000						
kmrj	0.8641	0.8856	1.0000					
pop	0.9512	0.9422	0.8273	1.0000				
pea	0.9333	0.9272	0.8023	0.9870	1.0000			
gdpcap2	0.8963	0.9116	0.9054	0.9258	0.9179	1.0000		
price	0.7667	0.7646	0.6842	0.8286	0.8743	0.8148	1.0000	
stations	0.8552	0.8385	0.6764	0.9436	0.9524	0.8322	0.8462	1.0000

É interessante notar que a quilometragem rodada e o número de estações têm correlações próximas; 0,864 e 0,855 respectivamente. Supondo que a velocidade média dos trens e tempo de operação diária serão constantes no período de previsão, é possível induzir que a quilometragem rodada pelos trens (kmrj) é função direta da expansão da malha ferroviária através da construção de novas estações. A variável kmrj pode representar a oferta de serviços de transporte. Por outra ótica, pode-se considerar que a adição de novas estações tenha um comportamento de um novo serviço, que era atendido de uma forma alternativa. Dessa maneira, a expansão do metrô roubaria participação de mercado de outros modos de transporte aumentando o RPK do sistema ferroviário. Portanto, a inclusão dessa variável na modelagem foi interessante para incluir esse efeito.

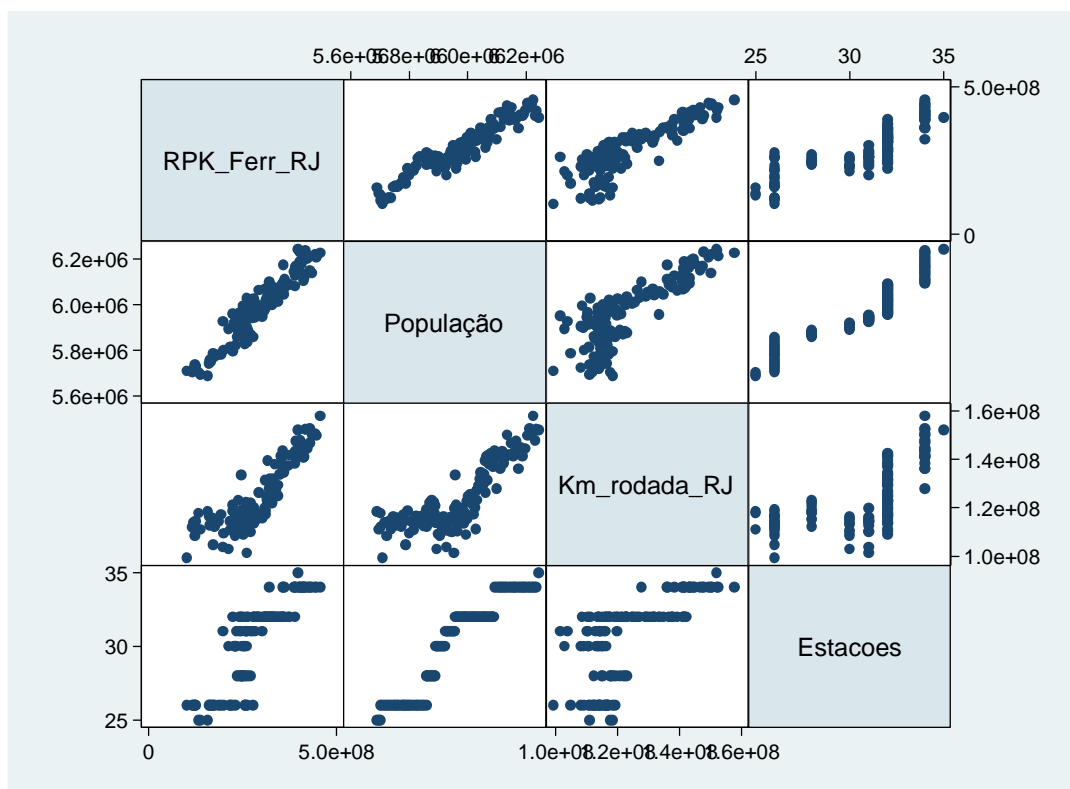


Figura 1- Correlações entre variáveis em diagramas de dispersão

As Figuras de 2 a 5 mostram o comportamento das variáveis mais interessantes no período de estudo.

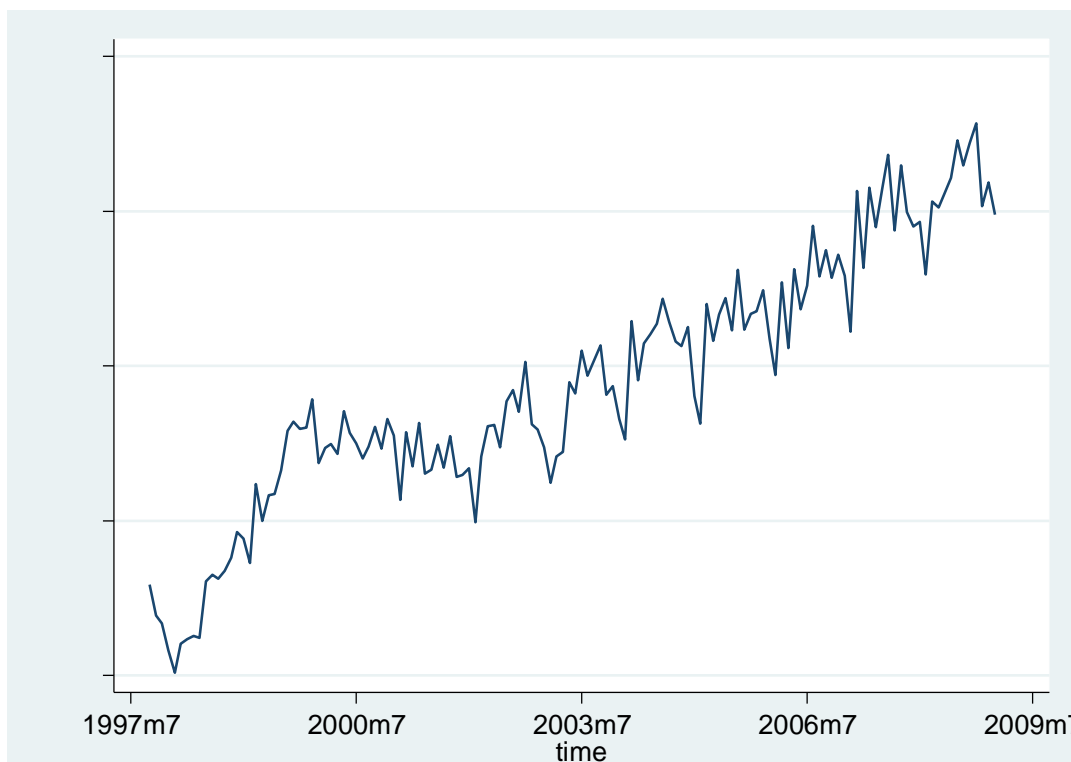


Figura 2- Evolução do RPK

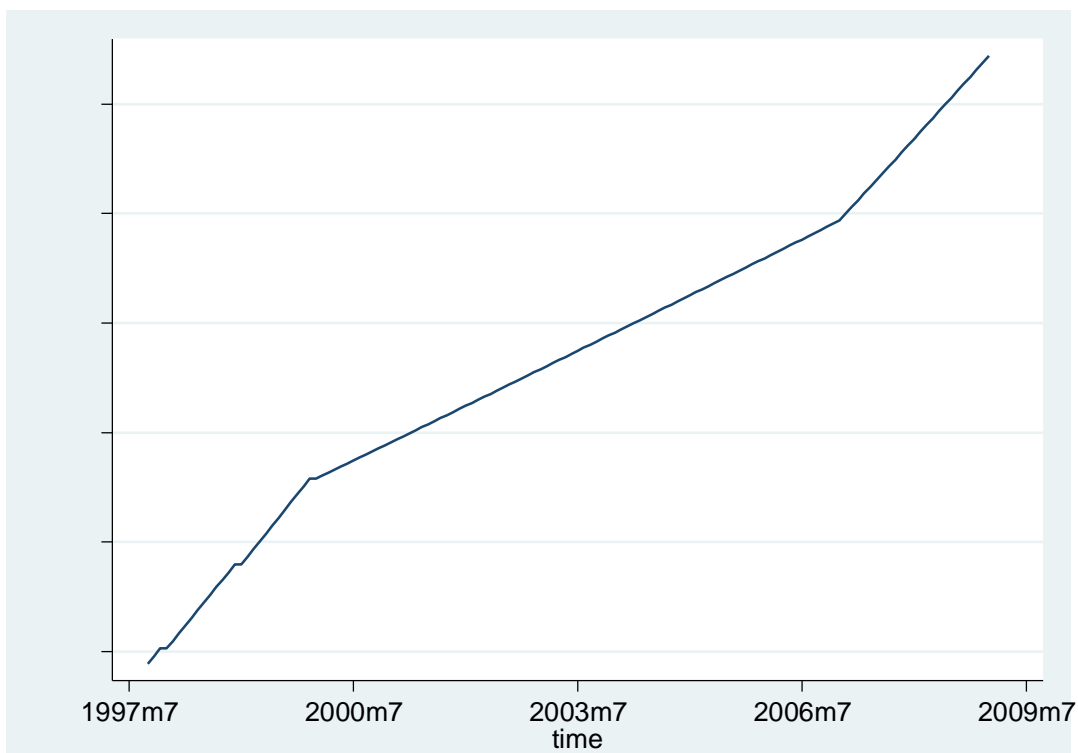


Figura 3 – Evolução da População do Rio de Janeiro

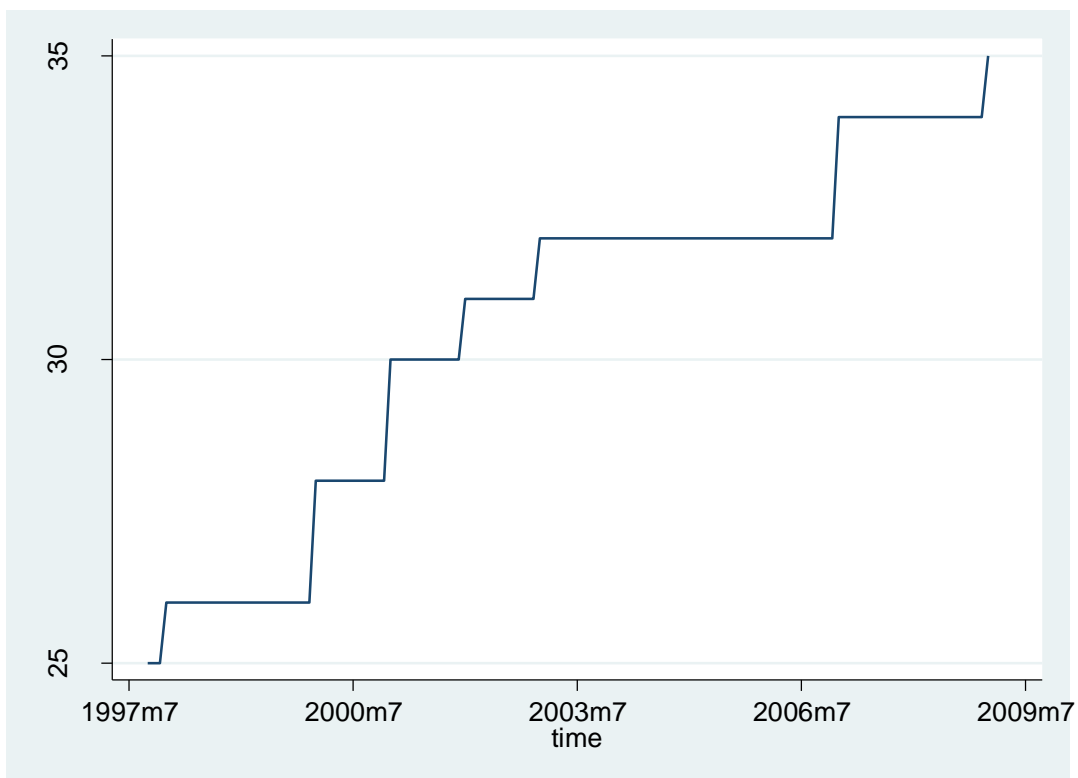


Figura 4- Evolução do Número de Estações da malha ferroviária

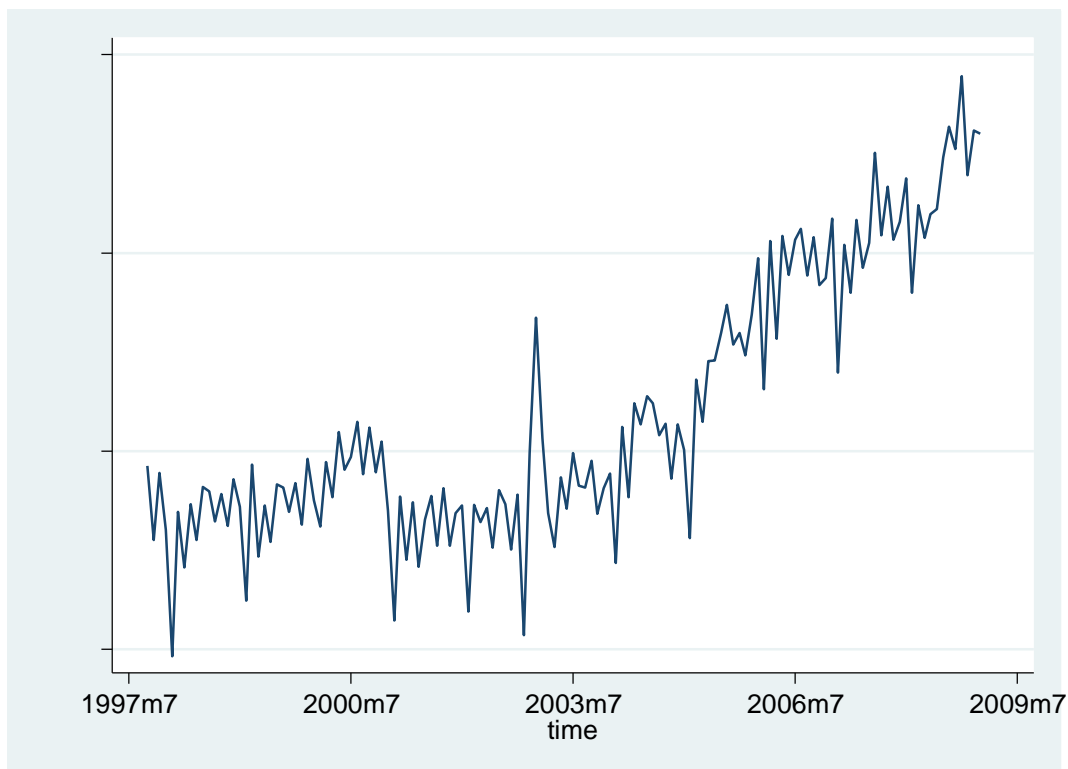


Figura 5- quilometragem rodada pelo sistema ferroviário

Nas Figuras 2 e 5 é possível reparar na forte sazonalidade da demanda pelo transporte ferroviário urbano. O mês de fevereiro normalmente mostra ter a demanda mais fraca do ano, provavelmente por coincidir com o período de férias e carnaval. Os meses de demanda mais forte normalmente são agosto e outubro. O ciclo é bem definido o que resultou em uma modelagem representativa da sazonalidade, que é mostrada na próxima sessão. De maneira aproximada, é possível ver que tanto o número de estações quanto a quilometragem rodada aumentam no período. Essa aproximação será usada para indicar a expansão da malha ferroviária com a construção de novas estações.

### 3.2 Estudo econométrico

A modelagem econométrica para realizar a previsão de demanda foi realizada usando regressão múltipla buscando a melhor representação do processo gerador de dados. O RPK do sistema ferroviário ( $rpk$ ) foi escolhido como variável dependente. A população da cidade ( $pop$ ) foi a primeira variável dependente escolhida pois representa a necessidade local por transporte urbano. Supondo que a velocidade média dos trens e o tempo de operação diária sejam constantes, a expansão da malha ferroviária é representada pela quilometragem rodada ( $kmrj$ ). Com essas condições de contorno, única maneira de aumentar a quilometragem rodada seria através da construção de novas estações. Portanto essa segunda variável é muito importante para prever o RPK e conseqüentemente o número de passageiros diários no curto prazo devido ao plano agressivo de expansão do metrô até 2016. Além disso ainda foram introduzidas variáveis dummies para controlar os efeitos da sazonalidade anual. A Equação (1) representa o modelo econométrico obtido. Usando o software Stata, a regressão linear foi rodada controlando a heteroscedasticidade e a autocorrelação.

$$rpk = \beta_1 pop + \beta_2 kmrj + \sum_{i=1}^{12} \beta_i m_i$$

Onde: pop = população

kmrj = quilometragem rodada mensalmente na malha ferroviária

m\_i = dummy de controle de sazonalidade

É importante notar que a escolha do modelo especificado foi feita após a investigação completa de modelos e decisão pelo modelo com melhor representação qualitativa e maior significância estatística. Dessa forma optou-se pelo modelo linear com duas variáveis independentes além da correção de sazonalidade. Os resultados de demanda são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultado do modelo de regressão

```

. greg rpk pop kmrj m1 m3 m4 m5 m6 m7 m8 m9 m10 m11 m12, bw(2) rob
-----
OLS estimation
-----
Estimates efficient for homoskedasticity only
Statistics robust to heteroskedasticity and autocorrelation
kernel=Bartlett; bandwidth= 2
time variable (t): time

Total (centered) SS = 9.00528e+17
Total (uncentered) SS = 1.21823e+19
Residual SS = 4.73582e+16

Number of obs = 136
F( 13, 122) = 107.38
Prob > F = 0.0000
Centered R2 = 0.9474
Uncentered R2 = 0.9961
Root MSE = 1.9e+07
    
```

rpk	Coef.	Robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
pop	486.9976	30.4895	15.97	0.000	427.2393	546.7559
kmrj	.9262952	.2654522	3.49	0.000	.4060184	1.446572
m1	1.16e+07	7454551	1.55	0.121	-3049984	2.62e+07
m3	3.60e+07	9099850	3.96	0.000	1.82e+07	5.39e+07
m4	2.21e+07	7831034	2.83	0.005	6779938	3.75e+07
m5	3.91e+07	8524032	4.59	0.000	2.24e+07	5.58e+07
m6	3.16e+07	8380086	3.77	0.000	1.52e+07	4.80e+07
m7	3.99e+07	8462583	4.72	0.000	2.33e+07	5.65e+07
m8	4.80e+07	9117134	5.26	0.000	3.01e+07	6.58e+07
m9	3.78e+07	8663059	4.37	0.000	2.08e+07	5.48e+07
m10	4.52e+07	8629959	5.24	0.000	2.83e+07	6.21e+07
m11	2.97e+07	8231474	3.61	0.000	1.36e+07	4.59e+07
m12	3.10e+07	9293410	3.34	0.001	1.28e+07	4.93e+07
_cons	-2.76e+09	1.58e+08	-17.50	0.000	-3.07e+09	-2.45e+09

Nota-se que os coeficientes encontrados para pop e kmrj são estatisticamente significantes a 5%, ou seja, existe forte evidência de efeito de causalidade dessas variáveis na demanda por transporte ferroviário. Verifica-se também que, para um aumento de uma unidade da população o RPK aumenta em 487 unidades. O aumento em 100 quilômetros rodado no sistema gera 926 RPKs (sem aplicar a correção de distância rodada discutida anteriormente).

Uma comparação entre os diferentes modelos mais importantes para a criação do modelo final se encontra na Tabela 4.



Tabela 4- Comparação entre modelos

Variável	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
pop	563***	443***	487***
kmrj		1,502***	0,9263***
m1			1,16E+07
m3			3,60E+07***
m4			2,21E+07***
m5			3,91E+07***
m6			3,16E+07***
m7			3,99E+07***
m8			4,80E+07***
m9			3,78E+07***
m10			4,52E+07***
m11			2,97E+07***
m12			3,10E+07***
_cons	-3,07E+09***	-2,55E+09***	-2,76E+09***
R2	0,9047	0,9236	0,9474
Representações de p-valor: *** p<0,01, ** p<0,05, * p<0,10			

O Modelo 3 (final) apresenta o maior R<sup>2</sup> (0,947) e suas variáveis são mais significantes estatisticamente do que nos outros modelos (valor-P menor). Nota-se que o efeito da população é minimizado à medida que outras variáveis são introduzidas. O mês de fevereiro foi usado como referência para a sazonalidade pois a demanda é tipicamente menor. Isso permitiu a inclusão de todos os outros meses (exceto janeiro) com coeficientes positivos e nível adequado de significância estatística representando bem os efeitos de sazonalidade.

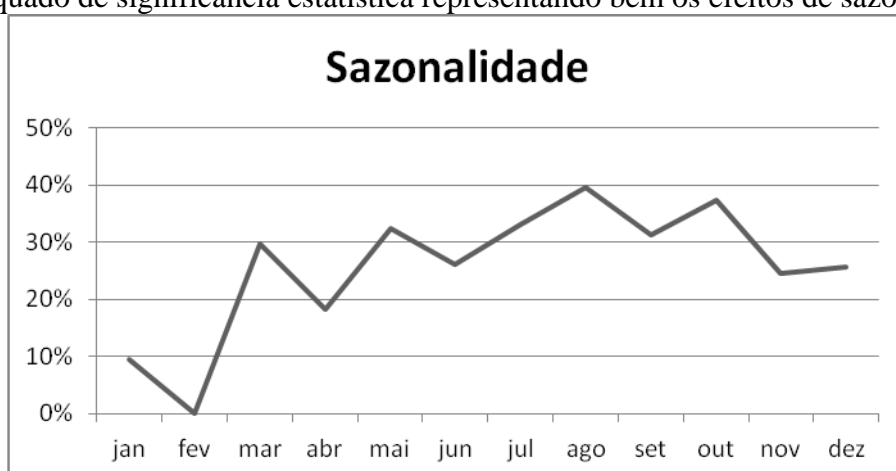


Figura 6- Sazonalidade com referência mês de fevereiro

Um segundo modelo de regressão foi feito com o intuito de estimar o número mensal de passageiros no sistema ferroviário do Rio. O interesse disso é de estimar o número de passageiros a partir do modelo de RPK que foi criado em primeira instância. Nesse modelo, a

única variável dependente é o próprio rpk pois sabe-se que o rpk é calculado simplesmente pelo produto do número de passageiros vezes a distância percorrida por cada um. No entanto, devido a diferenças na metodologia usada para obter o RPK, quilometragem rodada e contagem de número de passageiros, a conta direta com RPK e distância percorrida não resulta no número de passageiros. Portanto, para fazer uma estimativa mais coerente, optou-se por criar um segundo modelo apresentado na Tabela 5.

Tabela 5- Resultado de regressão linear

```

. greg paxferrj rpk, bw(2) rob
OLS estimation
-----
Estimates efficient for homoskedasticity only
Statistics robust to heteroskedasticity and autocorrelation
  kernel=Bartlett; bandwidth=      2
  time variable (t):  time

Total (centered) SS      = 3.18298e+15
Total (uncentered) SS  = 5.43392e+16
Residual SS             = 4.17920e+13

Number of obs =      136
F( 1, 134) = 6700.47
Prob > F      = 0.0000
Centered R2   = 0.9869
Uncentered R2 = 0.9992
Root MSE     = 554341
    
```

paxferrj	Coef.	Robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
rpk	.0590607	.0007162	82.47	0.000	.057657	.0604644
_cons	2383999	235429.5	10.13	0.000	1922565	2845432

```

Included instruments: rpk
-----
(1)
paxferrj
rpk      0.8771***
         [0.011]
N      136
adj. R-sq 0.987
    
```

Notas:  
- Estimativas de elasticidades apresentadas na média amostral  
- Erros padrões estimados em colchetes  
- Representações de p-valor: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10

Nota-se que esse modelo de variável independente única fornece resultados satisfatórios dentro do intervalo de confiança de 95%. Os p-valores mostram que os coeficientes são estatisticamente significativos e o Prob(F) indica claramente que devemos rejeitar a hipótese nula. Existe causalidade forte entre as variáveis modeladas, como já era esperado.

### 3.3 Previsão da demanda

Com os modelos econométricos definidos e os coeficientes estimados, foi possível fazer a previsão de demanda de transporte ferroviário para a cidade do Rio até o final de 2015, quando estarão prontas as obras para as Olimpíadas. Para estimar o crescimento da população da cidade, adotou-se a taxa de crescimento dos últimos anos de 1,2% por ano. A

quilometragem rodada pelo metrô foi dada como uma função direta do número de estações. Aplicando a correção para a distância rodada discutida anteriormente, cada estação aumenta a quilometragem rodada em torno de 130 mil quilômetros por mês. Ao todo, as 23 novas estações de metrô devem aumentar a quilometragem rodada do sistema em 3 milhões de quilômetros por mês. Para simplificar o plano de entregas das novas estações, foi suposto que essa quilometragem foi acrescentada numa taxa mensal constante de 36 mil quilômetros. Com isso, foi possível prever a demanda e o número diário de passageiros até dezembro de 2015. Na Tabela 6, são mostrados os valores obtidos para os meses de dezembro.

Tabela 6-Previsões pelo modelo para o mês de dezembro

Ano	Pop	RPK	PAX/dia
2009	6.312.891	4,98E+08	1.025.077
2010	6.389.064	5,47E+08	1.119.577
2011	6.466.155	5,97E+08	1.214.930
2012	6.544.177	6,48E+08	1.311.146
2013	6.623.141	6,99E+08	1.408.235
2014	6.703.057	7,50E+08	1.506.209
2015	6.783.938	8,02E+08	1.605.077

Lembrando que o ano base para a análise, i.e., o último ano para o qual existem dados, é 2008 portanto a previsão de demanda nesse estudo começa a partir de 2009. Pode-se notar que existe um aumento de aproximadamente 60% tanto no RPK quanto no número de passageiros por dia no período de previsão. É importante observar que esses resultados não levam em conta efeitos pontuais como a Copa do Mundo ou choques externos.

#### 4. CONCLUSÕES

O presente trabalho desenvolveu um modelo econométrico a partir de uma base de dados compreensiva e realizou uma previsão de demanda por transporte ferroviário na cidade do Rio de Janeiro até dezembro de 2015. Nesse período serão entregues as obras de expansão de infraestrutura para as Olimpíadas do Rio 2016. As estimativas dos parâmetros do modelo foram obtidas por regressão linear múltipla com correções de heteroscedasticidade e autocorrelação e com significância estatística de 5%. Dessa forma estabelecemos um nível alto de confiabilidade para os valores previstos de demanda em RPK e número de passageiros. No período de previsão, que se inicia em janeiro de 2009 e termina em dezembro de 2015, o aumento de demanda é de aproximadamente 60% resultante da construção de 23 novas estações de metrô. Com um plano mais detalhado da expansão do metrô, seria possível estimar com maior precisão o número de passageiros e a demanda em cada mês do período analisado.

**AGRADECIMENTOS**

*O autor gostaria de agradecer aos professores de Transporte Aéreo e Aeroportos do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) pela dedicação ao ensino e orientação.*

**REFERÊNCIAS**

**Chen, X., Ender, P., Mitchell, M. and Wells, C.** Regression with Stata, 2003

<http://www.ats.ucla.edu/stat/stata/webbooks/reg/default.htm>

<http://www.polsci.wvu.edu/duval/ps602/Notes/STATA/heteroskedasticity.htm#Find a creative solution>

<http://www.fipe.org.br/web/index.asp>

<http://www.ibge.gov.br/home/>

<http://www.metrório.com.br/index.htm>

<http://www.guiadacarreira.com.br/artigos/atualidades/olimpiadas-rio-2016-hora-virada/>