

MODELOS DE ESTIMATIVAS DE VIAGENS PARA HOSPITAIS DE CIDADES DE PORTE MÉDIO DO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO PAULO

Geisa Aparecida da Silva Gontijo

Universidade Federal de São Carlos
Programa de pós-graduação em engenharia urbana

Archimedes Azevedo Raia Junior

Universidade Federal de São Carlos
Programa de pós-graduação em engenharia urbana

RESUMO

Este artigo apresenta modelos de estimativas de demanda por viagens, obtidos por meio da utilização de dados coletados em hospitais de cidades de porte médio do interior do estado de São Paulo. Os hospitais causam impactos significativos no tráfego local onde são instalados, por isso, se caracterizam como potenciais Pólos Geradores de Viagens. Para a base de dados foram realizadas contagens volumétricas, coleta de dados físicos e operacionais em sete hospitais com características das Santas Casas. A partir desses dados, elaboraram-se 48 modelos de atração de viagens por meio de correlações entre variáveis independentes (área total construída, número de leitos, número de funcionários e especialidades médicas) com variáveis dependentes (viagens atraídas diárias, viagens atraídas na hora-pico da manhã e da tarde). Em seguida, após a elaboração desses modelos, eles foram testados e selecionados aqueles considerados satisfatórios e aceitáveis para serem utilizados em estudos de atração de demanda.

ABSTRACT

This paper presents models of travel demand estimates obtained by collecting data of hospital located in medium-sized cities (São Paulo). These hospitals can cause significant impacts in the local traffic where they are installed, that's why it can be characterized as potential trip generators. The data base was realized by trip counting, collection physics and function characteristics and performing a research in seven hospitals. With those data it was developed 48 models of attraction trips correlating explanatory variables (total area, numbers of beds, numbers of employees and medical practice) with dependent variables (daily trips, rush hour morning and evening). After the development, these models were tested and selected the satisfactory ones for trip generation studies.

1. INTRODUÇÃO

As cidades brasileiras, especialmente, aquelas de grande e de porte médio, vem passando ao longo dos anos, por mudanças acentuadas em seus perfis devido ao intenso crescimento urbano, atualmente, cerca de 80% da população concentra-se em cidades. A modernização dos sistemas produtivos, o progresso tecnológico, o aumento do consumo de bens e mercadorias e maiores facilidades de transporte nas suas diversas modalidades contribuíram, de forma significativa, para o desenvolvimento e o crescimento das principais cidades brasileiras. Essa realidade favoreceu as dinâmicas intraurbanas, entre elas, o aumento da implantação de grandes empreendimentos denominados Polos Geradores de Viagens - PGVs.

A implantação de novos PGVs e um planejamento urbano ineficaz, muitas vezes, contribui para o aumento dos impactos negativos nos transportes, na circulação e no tráfego de um modo geral. Por outro lado, Kneib et al. (2006) destacam que os impactos relativos a implantação de PGVs também podem ser positivos quando agregam valor e desenvolvimento à área onde se localizam. Por esses e outros aspectos esses empreendimentos vêm se tornando, nos últimos anos, objeto de pesquisa de diversos estudos que envolvem a dinâmica das cidades e dos transportes urbanos.

Segundo exposto pela Rede Ibero-Americana de Estudos em Polos Geradores de Viagens - Rede-PGV (2010) os PGVs são instalações de grande porte, capazes de gerar ampla

atratividade sobre a população, como, por exemplo, os *shoppings centers*, os hipermercados, os hospitais, as universidades, os estádios, os terminais de carga e as estações de transporte coletivo. O poder de atratividade desses PGVs está ligado a um dos principais problemas urbanos atuais – os congestionamentos viários. Na maioria das vezes, em países em desenvolvimento, como o Brasil, as cidades crescem de forma desordenada, sem planejamento urbano e de transportes adequados e eficazes. Isso influencia diretamente na condição de vida das pessoas, especialmente, no que diz respeito às baixas condições de mobilidade e de acessibilidade. Nessa direção, o presente trabalho tem a finalidade de apresentar modelos de atração de viagens relacionados ao contexto de cidades de porte médio, tendo como objetos de estudos – os hospitais Santas Casas localizados nessas cidades e, com isso, contribuir com o planejamento, dimensionamentos e localização de novos PGVs/Hospitais em cidades com características semelhantes a essas consideradas neste trabalho.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A estimativa de atração de viagens para PGVs pode ser realizada por meio de modelos de atração de viagens. Esses modelos são funções matemáticas que tentam representar uma dada realidade e podem ser utilizados para simular as viagens de empreendimentos futuros. Os principais estudos e modelos sobre PGVs que envolve hospitais desenvolvidos para cidades brasileiras podem ser verificados em CET-SP (1983); Carqueja (2006), BHTrans (2007), Macêdo et al. (2002), Raia Jr et al. (2008) e Gontijo e Raia Jr. (2010). No entanto, no Brasil, a elaboração desses modelos, ainda é muito incipiente, não há estudos aprofundados relativos a uma grande diversidade de PGV.

Nesse sentido, Silva (2006) expõe que o maior número de estudos concentra-se nos *shopping centers*. Porém, existe uma diversidade de outros empreendimentos, com diferentes características, que também necessitam de estudos, para que se complemente a bibliografia sobre o assunto. Por isso, em muitos casos, ainda é necessário recorrer a modelos de geração de viagens desenvolvidos em outros países, tais como, os modelos do *Institute of Transportation Engineers* - ITE (ITE, 2008) dos Estados Unidos. No entanto, modelos desenvolvidos para outras realidades são passíveis de resultados insatisfatórios quando aplicados para cidades brasileiras, principalmente, porque as taxas de motorização e os padrões de viagens costumam ser diferentes dependendo do contexto das cidades e dos locais em que os modelos foram desenvolvidos.

Em CET-SP (1983) é apresentada a principal referência no Brasil sobre estudos em PGVs, inclusive hospitais, mas seus estudos foram produzidos para cidades de grande porte como São Paulo. Além disso, o modelo é antigo, produzido em 1983, o que também pode não representar bem as características e a realidade das cidades de porte médio nos tempos atuais. Nesse sentido, Rede-PGV (2006) destaca que, além da importância de se conseguir uma sistematização sobre a abordagem PGV, justifica-se também a elaboração de modelos e parâmetros para análise dos impactos produzidos por esses empreendimentos no sistema viário, de tal forma que se considere a realidade de cada cidade ou local analisado.

A responsabilidade de gestão do tráfego é dos municípios, no entanto, o que se encontra, segundo Cunha (2009), são deficiências na adoção de diretrizes básicas para a avaliação dos impactos negativos futuros causados pela implantação de empreendimentos de grande porte. Silva et al. (2009) também destacam que enquanto o ITE desenvolve modelos de geração de

viagens para mais de 160 usos do solo, o Brasil possui apenas pesquisas acadêmicas e direcionadas para certos tipos de PGVs, como os *shopping centers*, os hipermercados e as unidades de ensino. Em nível nacional, no ano de início desta pesquisa em 2007, por exemplo, não foi verificado um modelo próprio para os PGVs/Hospitais realizado em cidades de porte médio. Os estudos verificados foram direcionados às grandes cidades, tais como, São Paulo (CET – SP, 1983), Belo Horizonte (BHtrans, 2007), Florianópolis (CARQUEJA, 2006) e Goiânia (MACÊDO, 2002).

3. METODOLOGIA

Este trabalho é composto pelas seguintes etapas: a) seleção das cidades e dos hospitais; b) coleta de dados físicos e operacionais; c) estruturação dos dados; d) elaboração dos modelos e) teste dos modelos elaborados; f) resultados e análises finais.

3.1. Seleção das cidades e dos hospitais

As cidades escolhidas situam-se no interior do estado de São Paulo e são classificadas como cidades de porte médio. O estado de São Paulo está situado na região sudeste do país, com uma extensão territorial de 248.209,43 km². Sua divisão territorial jurídico-administrativa é de 645 municípios. Segundo critérios baseados em IPEA (2008) podem ser consideradas cidades de porte médio os municípios brasileiros que possuem população entre 100.000 e 500.000 habitantes. No entanto, existem outros critérios para definir se uma cidade é de porte médio ou não, tais como o desenvolvimento econômico e o grau de urbanização, conforme destacado por Spósito (2007). O critério populacional, por si só, não é determinante na definição de cidade de porte médio, porém, neste trabalho, o aspecto considerado para a escolha das cidades foi somente esse critério.

Com a finalidade de trabalhar as cidades de padrões e portes semelhantes, foram selecionadas as cidades que se encontravam dentro da faixa populacional entre 100.000 e 250.000 habitantes. A cidade com maior população é a cidade de São Carlos, com 221.950 habitantes. Na maioria das cidades escolhidas os serviços representam mais de 40% de seus PIBs e, em todas elas, as taxas de motorização são de aproximadamente um veículo a cada três habitantes.

As cinco primeiras cidades escolhidas (São Carlos, Marília, Sertãozinho, Rio Claro e Jaú) foram utilizadas para a elaboração dos modelos e as duas últimas (Mogi-Guaçu e Araras) para auxiliar no processo de validação dos modelos. No estado de São Paulo existem 49 cidades na faixa demográfica entre 100.000 e 250.000 habitantes, representando 7,59% de todos os municípios paulistas. Considerando as 49 cidades como o universo estatístico para este trabalho, as cinco cidades escolhidas para a elaboração dos modelos representam um percentual de 10,2% desse total.

3.2. Coleta de dados físicos e operacionais

Inicialmente, foi enviado um ofício para os hospitais selecionados para a autorização da pesquisa *in loco* e um questionário para o preenchimento de dados físicos e operacionais (o número de leitos, área total construída, o número de funcionários, entre outros). Após essa primeira etapa, organizaram-se os trabalhos de campo (elaboração dos formulários) dando início às contagens volumétricas em cada entrada dos empreendimentos para medir o fluxo de pessoas que chegavam das 06h00min às 18h00min horas. No questionário encaminhado à administração de cada hospital, foi perguntado o dia típico (que seria o de maior movimento)

para facilitar as contagens volumétricas. Nos hospitais que não responderam essa questão, as contagens volumétricas foram realizadas em todos os dias da semana, de segunda a sexta-feira. O interessante que os dias identificados pelas contagens volumétricas como de maior movimento de pessoas foram os mesmos declarados pelos hospitais que responderam, sendo as segundas e as quartas-feiras.

3.3. Estruturação dos dados

A partir dos dados coletados eles foram estruturados em planilhas eletrônicas de acordo com o término de cada levantamento de campo. Os levantamentos foram realizados no período entre 2009 e 2011. Somente no final de 2011 que se tinham todos os dados organizados para o início da elaboração dos modelos. As planilhas relativas às contagens volumétricas possuíam dados de viagens (pedestres entrando) a cada 15 minutos para cada entrada dos empreendimentos no período das 06h00min as 18h00min horas. Para cada PGV foi estruturado seus respectivos dados, contendo, os dados físicos e operacionais, as contagens volumétricas e os gráficos para a análise do comportamento das viagens ao longo do dia.

3.4. Processo de elaboração dos modelos

Primeiramente, houve uma seleção das variáveis explicativas baseando-se em análises de trabalhos anteriores (CET-SP, 1983; Macêdo *et. al.*, 2002; ITE, 2008; etc). Apesar de se ter testado outras variáveis que ainda não tinham sido trabalhadas, optou-se por considerar somente as variáveis usadas nos trabalhos analisados, sendo elas, *Área Total Construída - ATC*, *Número de Leitos - NL*, *Número de Funcionários- NF* e *Especialidades Médicas-EM*. Como variáveis dependentes foram consideradas as *Viagens atraídas diárias - Vad*, *Viagens atraídas na hora pico da manhã - Vahpm* e *Viagens atraídas na hora de pico da tarde - Vahpt*. A Tabela 1 apresenta os valores coletados de cada uma dessas variáveis. Os 5 primeiros casos fizeram parte da elaboração dos modelos e os 2 últimos foram usados para testar os modelos.

Tabela 1: Resumo dos dados utilizados na elaboração dos modelos

Casos/Hospitais	Variáveis independentes				Variáveis dependentes		
	ATC	NL	NF	EM	Vad	Vahpm	Vahpt
1-Hosp. de São Carlos	22.000	337	890	43	4711	583	608
2- Hosp. de Marília	19.000	203	748	29	3864	730	424
3- Hosp. de Sertãozinho	10.000	124	396	30	2751	303	285
4- Hosp. de Rio Claro	11.300	167	572	34	3457	340	389
5- Hosp. de Jaú	21762	209	890	33	3690	482	413
6-Hosp. de Mogi-Guaçu	5618	200	555	18	2172	258	245
7-Hosp. de Araras	6500	181	740	36	2061	260	193

Nesta fase, com os dados físicos e operacionais devidamente digitalizados em planilhas eletrônicas, iniciou-se o processo de elaboração dos modelos. Esses modelos foram gerados por meio das relações de cada variável independente (4 variáveis) com as variáveis dependentes (3 variáveis), utilizando as funções de regressões simples lineares, exponenciais, logarítmicas e potência para cada uma dessas combinações, resultando 48 modelos. O *software* utilizado foi o programa dedicado a análise estatística *OriginPro 8*, que possibilita realizar regressões simples, lineares, não lineares e regressões múltiplas. Para este caso, o *software* foi alimentado com os dados extraídos do campo, gerando regressões lineares, gráficos ilustrativos e relatórios com análises estatísticas, que incluem o cálculo do R^2 , R^2 ajustado e o teste *T-Student*. Este artigo faz parte de um trabalho maior onde foram elaborados

outros tipos de modelos matemáticos, inclusive, regressões múltiplas contendo várias correlações entre as variáveis. Porém, neste momento são apresentados somente os modelos de regressões simples.

3.5. Testes e validações

Após o desenvolvimento de todos os modelos, foi testada sua viabilidade por meio dos critérios a seguir: a) valores de R^2 e R^2 -ajustado maiores que 50%; b) validação com erros inferiores a 20% em pelo menos uma das coletas (foram duas); c) apresentar valores teste *T-Student* significativos. A situação ideal seria que os modelos apresentassem todos esses critérios de forma simultânea, porém essa situação não ocorreu, sendo selecionados aqueles modelos que estavam de acordo com pelo menos dois dos critérios pré-estabelecidos com a preponderância do teste de validação e do valor de R^2 .

O teste *T-Student* produz o nível de significância da determinação linear entre as variáveis, em função do tamanho da amostra. Esse teste foi observado em todos os modelos elaborados, porém para resumir o conteúdo apresentado, é exposto neste artigo, somente um deles, que são os testes realizados para os modelos com a variável *NL* (Tabela 2). Nesse caso, foram obtidos valores de *T-Student* satisfatórios para quase todos os modelos. Somente a função exponencial apresentou valores um pouco menos significativos para um de seus valores (R_0).

Tabela 2: Testes estatísticos dos modelos com a variável *NL*

Coef.	R. Linear			R. Potência			R. Log			R. Exp.						
	V.Ref	a	b	-	V.Ref	a	b	c	V.Ref	a	b	c	V.Ref	y0	A	R0
ltol	2,353	6,999	6,994	-	2,353	3,549	9,562		2,353	8,140	12,820	-	2,920	7,774	7,030	2,203
P	0,100	0,006	0,006	-	0,100	0,038	0,002		0,100	0,003	0,001	-	0,100	0,016	0,019	0,158

V. Ref= valor de referência-T-Student; P=Probabilidade de coeficiente = zero (H_0 – hipótese nula); Coef. = Coeficientes

O coeficiente de determinação (R^2) demonstra a curva de ajustamento entre as variáveis explicativas e as variáveis dependentes, ele varia de 0 a 1, quanto mais próximo de 1 mais explicativo é o modelo. Nas Tabelas 3, 4 e 5 mostram os valores de R^2/R^2 -ajustado e os testes de validações de todos os modelos elaborados. Como resultado das análises realizadas com base nos critérios estabelecidos, observou-se que alguns modelos foram aprovados no teste de validação, mas apresentaram resultados de R^2 baixos, R^2 – ajustado menor que 50% e teste *T* pouco significativo como, por exemplo, os modelos elaborados com a variável *EM*. Os modelos elaborados com a variável *ATC* também foram validados e apresentaram valores de R^2/R^2 -ajustados mais satisfatórios em relação à variável *EM*, verificar a Tabela 3.

Tabela 3: Validações dos modelos com a variável- Vad

Casos	Vad	R. Linear			R. Potência			R. Log			R. Exp.			
		Teste	Erro %	R^2/R^2 Aj.	Teste	Erro %	R^2/R^2 Aj.	Teste	Erro %	R^2/R^2 Aj.	Teste	Erro %	R^2/R^2 Aj.	
ATC	6	2172	2568	18,23	0,67/	2321	6,84	0,67/	2082	4,15	0,67/	-10552	-120,58	0,70/
	7	2061	2656	28,86	0,56	2471	19,88	0,56	2307	11,96	0,57	-4961	-141,54	0,41
NL	6	2172	3625	66,89	0,94/	3701	70,39	0,97/	3724	71,45	0,98/	3752	72,74	0,98/
	7	2061	3461	67,92	0,92	3521	70,83	0,96	3533	71,42	0,97	3549	72,19	0,96
NF	6	2172	3277	50,87	0,88/	3243	49,30	0,87/	3560	63,90	0,88/	3165	45,71	0,92/
	7	2061	3912	89,81	0,84	3854	86,99	0,83	3964	92,33	0,71	3765	82,67	0,84
EM	6	2172	2140	1,45	0,59/	2082	4,13	0,59/	2130	1,95	0,59/	2130	1,93	0,59/
	7	2061	3911	89,77	0,45	3940	91,17	0,45	3912	89,83	0,18	3894	88,93	0,18

Para a variável dependente (Vahpm) não foram obtidos bons resultados. No geral, os modelos apresentaram valores de R^2 baixos, R^2 -ajustados menores que 50%, *T-Student* insatisfatórios e não foram validados. Somente, os modelos elaborados com a variável *ATC* tiveram resultados um pouco melhores, apresentando validação (ver Tabela 4).

Tabela 4: Validações dos modelos com a variável- Vahpm

Casos	Hpm	R. Linear			R. Potência			R. Log			R. Exp.			
		Teste	Erro %	$R^2/R^2Aj.$	Teste	Erro %	$R^2/R^2Aj.$	Teste	Erro %	$R^2/R^2Aj.$	Teste	Erro %	$R^2/R^2Aj.$	
ATC	6	258	229	11,29	0,57/	208	19,51	0,58/	105	59,48	0,62/	285	10,42	0,53/
	7	260	249	4,17	0,43	232	10,90	0,44	158	39,18	0,49	297	14,09	0,37
NL	6	258	476	84,61	0,34/	590	128,79	0,38/	518	100,75	0,49/	569	120,62	0,53/
	7	260	452	73,83	0,12	565	117,49	0,17	489	88,24	-0,02	544	109,20	0,07
NF	6	258	403	56,29	0,58/	410	59,02	0,58/	413	60,22	0,59/	394	52,66	0,55/
	7	260	531	104,18	0,44	538	106,79	0,44	538	106,86	0,18	510	96,27	0,40
EM	6	258	437	69,51	0,01/	435	68,67	0,005/	438	69,70	0,009/	429	66,32	0,011/
	7	260	495	90,22	-0,32	493	89,62	-0,32	494	90,18	-0,98	487	87,20	-0,32

Em relação às validações dos modelos elaborados para as viagens atraídas na hora pico da tarde - Vhpt (Tabela 5), alguns modelos elaborados com a variável *ATC* foram validados e, mais uma vez, os valores relacionados aos outros testes foram mais baixos, principalmente, os valores de R^2 -ajustado. Por outro lado, os modelos elaborados com as variáveis *NL*, *NF* e *EM* apresentaram ótimos índices de correlação e testes *T-Student* significativos, apesar de não terem sido validados.

Tabela 5: Validações dos modelos com a variável- Vahpt

Casos	Hpt	R. Linear			R. Potência			R. Log			R. Exp.			
		Teste	Erro %	$R^2/R^2Aj.$	Teste	Erro %	$R^2/R^2Aj.$	Teste	Erro %	$R^2/R^2Aj.$	Teste	Erro %	$R^2/R^2Aj.$	
ATC	6	245	250	2,11	0,57/	223	9,06	0,57/	180	26,58	0,57/	252	2,77	0,57/
	7	193	263	36,48	0,43	242	25,64	0,43	214	10,87	0,42	265	37,5	0,15
NL	6	245	412	63,24	0,98/	416	69,62	0,98/	429	74,96	0,97/	420	71,59	0,98/
	7	193	385	99,30	0,97	387	100,39	0,98	397	105,81	0,96	391	102,42	0,96
NF	6	245	356	45,33	0,79/	351	43,09	0,78/	374	52,48	0,74/	341	39,31	0,83/
	7	193	454	135,29	0,72	449	132,63	0,71	463	140,06	0,65	442	129,13	0,78
EM	6	245	138	43,76	0,74/	171	30,40	0,75/	29	88,06	0,71/	137	43,89	0,83/
	7	193	464	140,20	0,65	466	141,38	0,66	470	143,65	0,61	463	140,08	0,47

Os modelos elaborados com a variável *NL* apresentaram R^2 com índices de correlação muito próximos de 1 (em torno de 0,96) e bons resultados do teste *T* em sua maioria. Isso poderia destacá-los como ótimos modelos, porém eles não foram validados (Observar a Tabela 5 acima). Os modelos que mais apresentaram validação foram os modelos elaborados com a variável *ATC*, entretanto, seus valores de R^2 e R^2 /ajustado foram mais baixos. Além disso, nem todos os resultados do teste *T* foram significativos.

Talvez a discrepância no porte dos hospitais escolhidos para o processo de validação em relação aos outros hospitais possa ter influência nesses resultados. Os hospitais utilizados no processo de elaboração dos modelos tinham certo padrão em relação às suas variáveis explicativas. Já os hospitais que fizeram parte do procedimento de validação apresentaram certa incoerência em relação a esses hospitais, ora com *ATC* menor, ora com *NF* e *NL* maiores. Além disso, o porte e as características das cidades escolhidas para a elaboração dos

modelos também possa ter influenciado. A cidade em que se localiza determinado hospital exerce certa influência na região. Em Marília e Jaú, por exemplo, verificou-se que 33% das viagens ao hospital eram de pessoas vindas das cidades do entorno.

4. RESULTADOS E ESCOLHA DOS MODELOS ELABORADOS E TESTADOS

A partir dos critérios apresentados no item anterior foram selecionados 32 modelos dos 48 que foram elaborados. Os modelos selecionados são considerados aqueles possíveis de serem utilizados em estudos de novos PGVs/hospitais. Para melhor entendimento, foram escolhidas algumas figuras deles para serem apresentados nos itens a seguir.

4.1 Modelos escolhidos para as viagens atraídas diárias - Vad

Na Tabela 6 verifica-se que somente dois modelos para a variável dependente - *Vad* foram desconsiderados por este trabalho. Em relação à variável *ATC* foram selecionadas as seguintes funções: linear, potência e logarítmica. Todas elas foram validadas por meio dos trabalhos de campo, além de apresentarem testes estatísticos satisfatórios. A função exponencial foi rejeitada porque ela se encaixou somente dentro de um dos critérios estabelecidos ($R^2 > 50\%$).

Em relação aos modelos com a variável *NL* todos foram considerados satisfatórios, porque tiveram ótimos índices de R^2 / R^2 -ajustado (média de 0,96/0,95) e testes *T* significativos, apesar de não terem sido validados. Como no caso anterior, embora os modelos elaborados com a variável *NF* não foram validados, eles apresentaram ótimos índices de R^2 (em média 0,86) e teste *T-Student* significativos em relação a 4 dos modelos. Somente o modelo exponencial que não foi selecionado porque, apesar de apresentar um valor de R^2 e R^2 -ajustado satisfatórios, ele não foi validado e não apresentou teste *T* significativo. Os modelos elaborados com a variável *EM* foram escolhidos porque foram validados pelos trabalhos de campo e apresentaram valores de R^2 maiores que 50%. Nas Figuras 1 e 2 podem ser visualizados os modelos *NL* e *NF*, ambos com ótimos resultados de R^2 .

Tabela 6: Regressões simples – Vad

Va/Re	Linear	Potência	Logarítmica	Exponencial
ATC	$Vad = 2005,85 + 0,1 \cdot ATC$	$Vad = 56,66 \cdot ATC^{0,43}$	$Vad = 1546,73 \cdot \ln(ATC) - 11272,11$	$Vad = 4096,63 - 312978,18 \cdot e^{-5,45E-4 \cdot ATC}$
NL	$Vad = 1899,30 + 8,63 \cdot NL$	$Vad = 261,7 \cdot NL^{0,5}$	$Vad = 1921,59 \cdot \ln(NL) - 6456,72$	$Vad = 5465,51 - 5574,33 \cdot e^{-0,0059 \cdot NL}$
NF	$Vad = 1373,41 + 3,43 \cdot NF$	$Vad = 73,18 \cdot NF^{0,6}$	$Vad = 660,44 \cdot \ln(NF) - 335,62$	$Vad = 2466,96 + 108,8 \cdot e^{0,00335 \cdot NF}$
EM	$Vad = 369,76 + 98,37 \cdot EM$	$Vad = 145,78 \cdot EM^{0,92}$	$Vad = 114949,2 \cdot \ln(EM + 1133,57) - 808133,75$	$Vad = 819528,52 - 819165,86 \cdot e^{-1,20E-4 \cdot EM}$

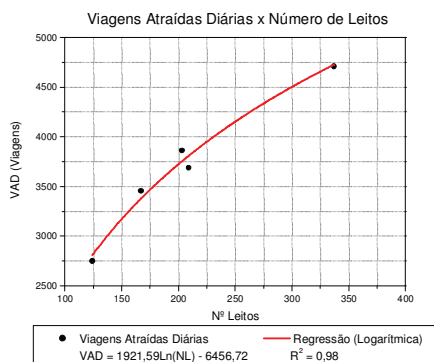


Figura 1: Modelo função log. - NL

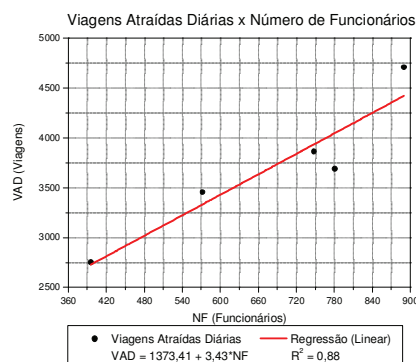


Figura 2: Modelo função linear - NF

4.2 Modelos escolhidos para as viagens na hora de pico da manhã - Vahpm

Os modelos elaborados com a variável dependente *Vahpm*, de forma geral, não obtiveram bons desempenhos. Porém, diante dos critérios estabelecidos, foram selecionados três modelos com a variável *ATC*, pois, apesar deles não terem apresentado teste *T* significativos, eles foram validados pelos trabalhos de campo com erros inferiores a 20%. Além disso, apresentaram valores de R^2 maior que 50%. Visualizar esses e todos os outros modelos na Tabela 7. A Figura 3 representa o modelo potência com a variável *ATC*.

Tabela 7: Regressões simples – Vhpm

Va/Re	Linear	Potência	Logarítmica	Exponencial
ATC	$V_{hpm} = 99,67 + 0,023 \cdot ATC$	$V_{hpm} = 0,32 \cdot ATC^{0,75}$	$V_{hpm} = 367,35 \cdot \ln(ATC) - 3067,05$	$V_{hpm} = 220,26 \cdot e^{4,58E-5 \cdot ATC}$
NL	$V_{hpm} = 220,29 + 1,28 \cdot NL$	$V_{hpm} = 60,48 \cdot NL^{0,43}$	$V_{hpm} = 120,38 \cdot \ln(NL - 109,91) - 23,88$	$V_{hpm} = 623,86 - 2984,68 \cdot e^{-0,02 \cdot NL}$
NF	$V_{hpm} = 20,27 + 0,69 \cdot NF$	$V_{hpm} = 1,08 \cdot NF^{0,94}$	$V_{hpm} = 647,01 \cdot \ln(NF + 317,1) - 3967,48$	$V_{hpm} = 181,09 \cdot e^{0,0014 \cdot NF}$
EM	$V_{hpm} = 380,09 + 3,18 \cdot EM$	$V_{hpm} = 258,65 \cdot EM^{0,18}$	$V_{hpm} = 3908,66 \cdot \ln(EM + 1214,89) - 27380,57$	$V_{hpm} = 378,31 \cdot e^{0,007 \cdot EM}$

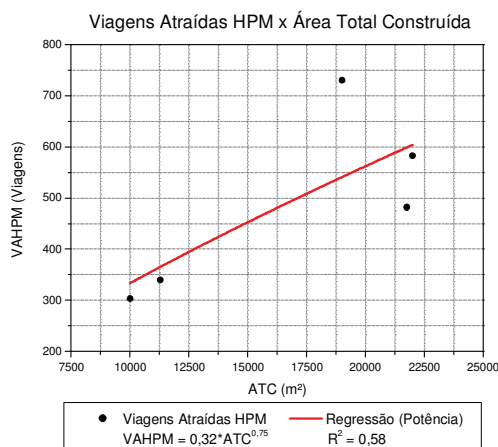


Figura 3: Modelo função potência – ATC

4.3 Modelos escolhidos para as viagens na hora de pico da tarde - Vahpt

Os modelos elaborados com a variável *Vahpt* apresentaram bons resultados (Tabela 8). Em relação à variável explicativa *NL* obtiveram-se resultados de R^2 , R^2 -ajustado médio de 0,97 e testes *T*- significativos. Assim, apesar deles não terem sido validados, eles foram considerados viáveis, especialmente, pelo seu ótimo desempenho em relação aos outros testes. O único modelo que foi totalmente rejeitado foi a função exponencial/*EM*, pois, esse modelo, apresentou baixos valores de R^2 e de R^2 – ajustado, teste *T* não significativo e não apresentou validação. As Figuras 4 a 7 mostram 4 modelos (uma para cada variável explicativa).

Tabela 8: Regressões simples – Vahpt

Va/Re	Linear	Potência	Logarítmica	Exponencial
ATC	$V_{hpt} = 165,91 + 0,015 \cdot ATC$	$V_{hpt} = 1,49 \cdot ATC^{0,58}$	$V_{hpt} = 233,92 \cdot \ln(ATC) - 1839,73$	$V_{hpt} = 27656,1 - 27491,1 \cdot e^{-5,63E-7 \cdot ATC}$
NL	$V_{hpt} = 122,2 + 1,45 \cdot NL$	$V_{hpt} = 9,16 \cdot NL^{0,72}$	$V_{hpt} = 314,96 \cdot \ln(NL) - 1240,1$	$V_{hpt} = 1383,52 - 1326,35 \cdot e^{-0,0016 \cdot NL}$
NF	$V_{hpt} = 61,91 + 0,53 \cdot NF$	$V_{hpt} = 1,53 \cdot NF^{0,86}$	$V_{hpt} = 311,94 \cdot \ln(NF) - 1597,56$	$V_{hpt} = 156,93 \cdot e^{0,0014 \cdot NF}$
EM	$V_{hpt} = -188,01 + 18,1 \cdot EM$	$V_{hpt} = 2,58 \cdot EM^{1,45}$	$V_{hpt} = 636,23 \cdot \ln(EM) - 1809,7$	$V_{hpt} = 225485,85 - 225674,75 \cdot e^{-8,04E-5 \cdot EM}$

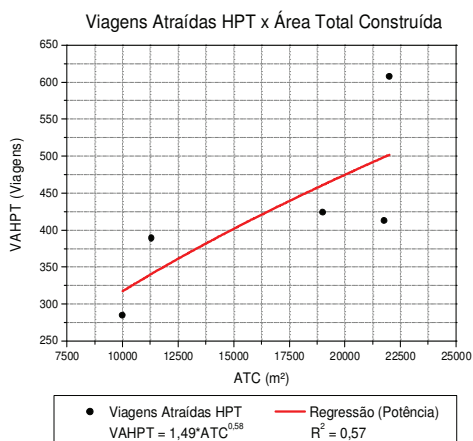


Figura 4: Modelo função potência

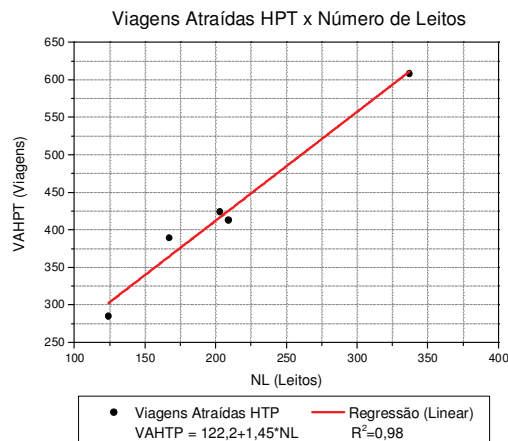


Figura 5: Modelo função linear - NL

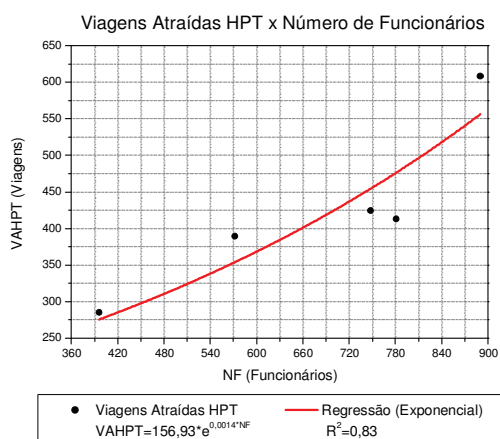


Figura 6: Modelo função exp. – NF

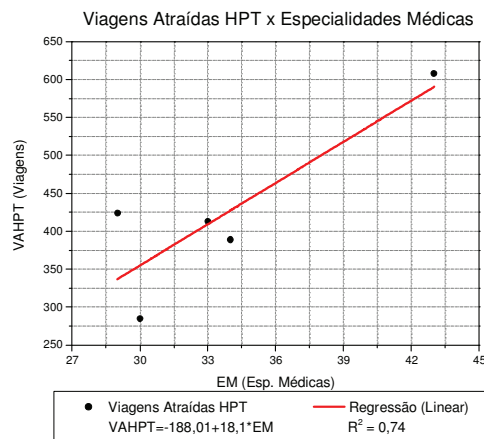


Figura 7: Modelo função linear – EM

5. APLICABILIDADE E COMPARAÇÕES DOS MODELOS DESENVOLVIDOS

Após a demonstração dos modelos gerados anteriormente, foram selecionados 6 modelos deles e 6 modelos do ITE (2008) com a finalidade de aplicá-los e compará-los com o volume de viagens dos dois hospitais usados no processo de validação (hospitais 6 e 7). A Tabela 9 apresenta os modelos brasileiros que foram selecionados para as viagens atraídas na hora de pico da tarde - *Vahpt* e para as viagens atraídas diárias - *Vad*.

Tabela 9: Modelos brasileiros selecionados

Variáveis independentes	Viagens hora de pico da tarde (Vahpt)	R ²	Viagens atraídas diárias (Vad)	R ²
ATC	Vahpt = 1,49 (atc) ^{0,58}	0,57	Vad = 56,66 (atc) ^{0,43}	0,67
NL	Vahpt = 122,2 + 1,45(nl)	0,98	Vad = 1921,6 ln(nl) - 6456,72	0,98
NF	Vahpt = 156,93 * e ^{0,0014(nf)}	0,83	Vad = 1373 + 3,43 (nf)	0,88

Tabela 10 expõe os modelos selecionados a partir dos manuais do ITE (2008). Assim como anteriormente, o primeiro grupo representa os modelos elaborados para as viagens na hora de pico da tarde - *Vahpt* e o segundo para as viagens atraídas diárias - *Vad*.

Tabela 10: Modelos selecionados ITE (2008)

Variáveis independentes	Viagens hora de pico da tarde (Vahpt)	R ²	Viagens atraídas diárias (Vad)	R ²
ATC	$V_{ghpt} = 0,85(atc) + 213,52$	0,71	$V_{gd} = 10,13 (ms) + 2191,79$	0,88
NL	$Ln (V_{ghpt}) = 0,89Ln(nl) + 0,93$	0,72	$V_{gd} = 7,42 (nc) + 1733,31$	0,69
NF	$V_{ghpt} = 0,37(nf) + 83,93$	0,72	$V_{gd} = 4,40 (ne) + 711,46$	0,77

Fonte: ITE (2008)

Ao considerar os modelos do ITE nas análises, houve a necessidade de segregar as viagens por modos de transportes e, para fins de comparação, avaliar somente as viagens realizadas por veículos particulares. O ITE trabalha somente com os fluxos de veículos particulares em suas contagens volumétricas e, na maioria dos trabalhos brasileiros, são computadas todas as viagens, entre elas, pedestres, bicicletas, ônibus e motos. Por esse motivo, as comparações e o cálculo dos erros em relação aos resultados do ITE foram considerados somente as viagens por carros particulares. Já os cálculos dos erros relacionados à aplicação dos modelos elaborados consideraram-se todas as modalidades de transportes (viagens totais).

Além disso, as unidades da variável *ATC* que estavam m² foram transformadas em pés quadrados para se adequar às fórmulas elaboradas pelo ITE que utilizam essa unidade de medida. Foi necessário também considerar apenas o percentual de viagens de chegada aos empreendimentos dos modelos ITE (2008), especialmente, porque nas fórmulas propostas por este artigo, considerou-se somente o fluxo de chegada. A segregação do fluxo de entrada dos veículos nos modelos do ITE foi possível porque no trabalho deles são apresentados os percentuais do fluxo de entrada e de saída. Em relação a este artigo, o fluxo de veículos foi obtido por meio de levantamento dos dados que permitiu a segregação das viagens por modos de transportes.

5.1. Resultados e análises das aplicações dos modelos

Os resultados da aplicação dos modelos apresentados no item anterior podem ser visualizados na Tabela 11 e 12. Primeiramente, são mostrados os resultados referentes às viagens da hora de pico da tarde e, em seguida, na Tabela 12, são apresentados os resultados das viagens atraídas diárias. Verifica-se que, somente o modelo com a variável *ATC* (grupo 2), apresentou erros inferiores a 20%, sendo justamente os modelos elaborados com essa variável que mais tiveram desempenho no processo de validação de dados (ver a Tabela 11).

Tabela 11: Resultados das viagens atraídas na hora de pico da tarde – Vahpt

Grupo 1: Resultados aplicações dos modelos ITE (2008)		Grupo 2: Resultados aplicações modelos elaborados		Grupo 3: Dados de viagens			
Hospitais	Variáveis	Resultados		Hora de pico da tarde		Hora de pico da tarde	
		Viagens	Erros (%)	Viagens	Erros (%)	Totais	Automóveis
6	ATC	124	2,47	223	-8,97	245	121
	NL	141	16,52	412	68,16		
	NF	144	19,00	341	39,18		
7	ATC	136	41,66	242	25,38	193	96
	NL	129	34,37	385	99,48		
	NF	179	86,45	442	129,01		

Já os modelos do ITE, nesse caso, apresentaram resultados satisfatórios. Mas isso não quer dizer que apresentaria esse mesmo resultado em hospitais brasileiros com portes maiores em que o número de viagens na hora pico, muitas vezes, ultrapassaria os valores estimados pelos

modelos do ITE. Os resultados dos modelos elaborados (Tabela 12/grupo 2) tiveram dois modelos com resultados satisfatórios, erros inferiores a 20%, novamente para a variável ATC para os dois casos. Em relação aos resultados dos modelos/ITE obteve-se erro inferior a 20% também em relação à variável ATC somente para o caso 6.

Tabela 12: Resultados das viagens atraídas diárias - Vad

Grupo 1: Resultados aplicações dos modelos ITE (2008)		Grupo 2: Resultados modelos elaborados				Grupo 3: Dados de viagens	
Hospitais	Variáveis	Resultados		Hora de pico da tarde		Hora de pico da tarde	
		Viagens	Erros (%)	Viagens	Erros (%)	Totais	Automóveis
6	ATC	1234	14,68	2321	6,86	2172	1076
	NL	1608	49,44	3725	71,5		
	NF	1576	46,46	3277	50,87		
7	ATC	1276	24,97	2471	19,89	2061	1021
	NL	1538	50,63	3533	246,03		
	NF	1983	94,22	3911	283,05		

Neste trabalho, constatou-se que, as variáveis mais explicativas (*NL*, *NF*) do ponto de vista dos valores de R^2 , R^2 -ajustado e testes T , foram os modelos que não obtiveram bons desempenhos no processo de validação. Por outro lado, as variáveis que mais foram validadas (*ATC* e *EM*) não apresentaram bons resultados, principalmente, em relação aos valores do R^2 -ajustado. Talvez o baixo número de amostras e a discrepância entre os hospitais usados para o processo de validação e os usados na elaboração dos modelos possam ter tido influência nesses resultados. Assim, apesar dos modelos selecionados neste trabalho serem recomendados, aconselha-se cautela em seu uso, é indispensável verificar mais de um modelo com variáveis diferentes para a observação dos resultados.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho, por meio da sua proposta, conseguiu atingir seu objetivo principal- a elaboração de modelos de atração de viagens para PGVs/hospitais. Para a elaboração desses modelos, este estudo considerou todo um contexto social relacionado ao tipo de PGV estudado. Os hospitais, no que se refere à PGVs, são locais onde cuidados médicos são oferecidos às pessoas, por isso, eles apresentam características de demanda distintas de outros PGVs. Eles têm a função social de dar assistência à saúde de uma comunidade local ou regional, permitindo que a sua área de influência ultrapasse os limites do município. Assim, os modelos elaborados, por este trabalho, foi uma iniciativa no processo de explicar as viagens atraídas por esses PGVs.

Por meio da proposta metodológica apresentada, foi possível elaborar 48 modelos que foram analisados por meio de testes estatísticos e validações de trabalhos de campo para poderem ser considerados aproveitáveis, o que resultou em 32 modelos. Apesar dos objetivos terem sido alcançados, esse trabalho reconhece a limitação do baixo número de amostras. Porém, ele foi realizado dentro das condições possíveis de trabalho, uma vez que, os PGVs escolhidos não foram localizados em apenas uma cidade, como é na maioria das vezes e, sim em 7 cidades diferentes do estado de SP. De maneira geral, os modelos obtidos e selecionados foram satisfatórios, entretanto a sua utilização deve ser cautelosa, é sempre bom observar um contexto amplo quando se trata de estudos de demanda. O tamanho da cidade, os aspectos sócio-econômicos e a função social do empreendimento devem ser considerados, na tentativa de não gerar resultados imprecisos no momento da realização de estudos para a implantação

de novos PGVs. Para o avanço das pesquisas nessa área, este trabalho recomenda a adoção de um número maior de amostras, com a finalidade de melhorar a precisão dos modelos. Há também a necessidade de estudar a influência de outros hospitais públicos ou de centros especializados de saúde na demanda dos hospitais escolhidos. Além disso, diante de uma possibilidade, seria interessante elaborar modelos que considerasse a origem espacial das viagens.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Rede-PGV nos levantamentos de dados e a bolsa cedida pela CAPES.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BHTRANS (2008). *Roteiro básico para elaboração de relatório de impacto na circulação – RIC: Hospitais*. Diretoria de Planejamento. Belo Horizonte, 2007. 12 p. Disponível em: <<http://www.bhtrans.pbh.gov.br/Bhtrans/bhtrans/imgs/Roteiro%20B%C3%A1sico%20-%20RIC%20Hospitais%20novembro%202007.pdf>>. Acesso em: 4 abr. 2008.
- CARQUEJA, H. L. (2006) *Estudo da geração de viagens e de parâmetros para o dimensionamento de estacionamento e meio-fio para Hospitais na grande Florianópolis*. 234 f. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso), UFES – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC. 223 p.
- CET – SP (1983) *Polos Geradores de Tráfego*. – *Boletim Técnico n° 32*. Prefeitura de São Paulo, São Paulo – SP. Companhia de engenharia de tráfego de São Paulo.
- CUNHA, R. F. F. (2009) *Uma sistemática de avaliação e aprovação de projetos de Polos geradores de Viagens (PGVs)*. 266. f. Dissertação (Mestrado), COPPE-UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.
- GONTIJO, G. A. S.; RAIJA JR. A. A. (2010) *Processo metodológico para elaboração de modelos de atração de viagens em hospitais públicos brasileiros*. In: XVI Congresso Pan-Americano de Engenharia de Tráfego e Transportes e Logística. Anais. Lisboa, Portugal.
- IPEA (2011). *População e PIB das cidades médias crescem mais que no resto do Brasil, 2008*. Instituto de pesquisa e economia aplicada. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/sites/000/2/pdf_release/32_release_PIBdascidades.pdf>. Acesso em: 23 maio 2011.
- ITE (2008) *Trip generation: An Informational Report of the Institute of Transportation Engineers: User's Guide*, Vol. 1a 3. 8th Edition. Washington, D.C – USA. Institute of transportation engineers.
- KNEIB, E. C. TACO, P. W; DA SILVA; P. C. M. (2006) *Identificação e avaliação de impactos na mobilidade: Análise aplicada a Polos geradores de viagens*. In: PLURIS - Planejamento Urbano e Regional, Integrado e Sustentável, Anais. Braga, Universidade do Minho. V. 1. p. 1 - 12.
- MACÊDO, M. H.; FILIZOLA, I M; AMARAL E SOUZA, E. (2002) *Polos Geradores de Tráfego: Estudo de um Agrupamento de Clínicas Médicas*. In: XVIII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, *Anais*. Natal, v. 02, p. 273-286..
- RAIA JR, A. A, ROBLES, D. G, DA SILVA, G. A., e RIOS, M. F. (2008) *Levantamento dos impactos promovidos pela implantação do PGV Hospital – Escola de Engenharia de São Carlos*. In: 2º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento, Urbano, Regional, Integrado, Sustentável, PLURIS, Anais. Santos – SP.
- REDE-PGV (2006) REDE-PGV. *Qualidade de vida e ambiental: Desenvolvimento e Mobilidade Sustentáveis*. Programa de Engenharia de Transportes – PET. COPPE/UFRJ Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rede ibero-americana de estudo em Polos Geradores de Viagens.
- REDE-PGV (2010). *O que é um PGV*. Disponível em: <http://redpgv.coppe.ufrj.br/index.php?option=com_content&view=article&id=32&Itemid=59&lang=br> . Acesso: em 9 nov. 2010. Rede ibero-americana de estudo em Polos Geradores de Viagens.
- SILVA, L. R. (2006) *Metodologia de delimitação da Área de Influência dos Polos Geradores de Viagens para estudos de Geração de Viagens – Um estudo de caso nos supermercados e hipermercados*. 184 f. Dissertação (Mestrado em Transportes) Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília, DF.
- SILVA, P. V. C., MUNIZ, J. PORTUGAL, L. da S. (2009) *Levantamento de dados para a determinação de Taxas de Geração de Viagens em Mega Empreendimentos*. Programa de Engenharia de Transportes – COPPE/ UFRJ. VII Rio de Transportes.
- SPÓSITO, M. E. B. (2007). *Cidades médias: espaços em transição*, 1 ed. São Paulo: Expressão popular, 632 p.