



Estimando a distribuição espacial da demanda de funcionários que utilizam transporte coletivo para deslocamentos pendulares. Estudo de caso: empresa em São Luís/MA

Antonio Wagner Lopes Jales, Msc.

VALE S/A

wagner_jales@yahoo.com.br

RESENHA

Previu-se a distribuição espacial de usuários que utilizam transporte coletivo nos deslocamentos pendulares. Utilizou-se procedimento estatístico para identificação da demanda típica e, combinado com um conjunto amostral de usuários georreferenciados por setor/bairro estimou-se o volume de usuários por espaço.

PALAVRAS-CHAVE

Teste ANOVA, Distribuição Espacial, Georreferenciamento, Transporte Coletivo.

1. INTRODUÇÃO

O processo atual de roteirização, feito pelos profissionais que atuam na empresa, ocorre de forma intuitiva, com base no conhecimento empírico de um profissional responsável. As soluções apresentadas são focadas em resolver problemas emergenciais como: o ingresso de novos usuários ou mudanças de endereço dos usuários habituais. Sendo assim, nem sempre as soluções implantadas apresentam menor custo ou garantem o mesmo nível de atendimento para todos os usuários. E dentre as informações necessárias para a roteirização dos veículos de forma lógica e otimizada, os métodos numéricos conhecidos na literatura pressupõem a identificação espacial dos seus usuários.

A inexistência de uma base de usuários georreferenciados, ou uma base de cadastro de usuários inconsistente e desatualizada, ou ainda, quantidades de usuários cadastrados incompatível com o volume médio de usuários transportados, que é apontado diariamente pelas rotas, impede a utilização de tais métodos.

O objetivo do trabalho foi desenvolver um procedimento que permitisse identificar a demanda típica por regime de trabalho, bem como sua distribuição no espaço. O método proposto consistiu em: a) Selecionar um conjunto amostral de usuários por regime de trabalho, identificando o nome do bairro de origem; b) Agrupar os dados amostrais por bairro/setor e normalizá-los, criando então um critério de pesos; c) Caracterizar o volume médio de passageiros transportados em períodos típicos, segregados por regime de trabalho, utilizando o teste ANOVA; d) Distribuir espacialmente o volume de usuários da demanda típica de acordo com o critério de pesos gerados pelo conjunto amostral e; e) Gerar um mapa georreferenciado com o limite dos bairros/setores inserindo os volumes estimados.

2. DIAGNÓSTICO PROPOSIÇÕES E RESULTADOS

2.1. Caracterização do serviço de transporte domiciliar

O serviço de fretamento contínuo é fornecido utilizando ônibus rodoviários com capacidades de 44, 45 e 48 lugares. E as rotas atuais não foram definidas através de um método formal/objetivo. A empresa trabalha em 03 regimes básicos de trabalho: 02 regimes de 8h/dia com entrada às 7h e entrada às 9h (conhecidos como horários Operacional e Administrativo, com 26 e 18 linhas respectivamente) operando apenas em dias úteis. E um regime de 6h/dia chamado de Turno de revezamento, pois possui entradas às 1h, 7h, 13h e 19h todos os dias do mês, com 11 linhas.

2.2. A área de abrangência e o conjunto de dados utilizados

O serviço atende aos quatro municípios da ilha de São Luís; Raposa, Paço do Lumiar, São José de Ribamar e São Luís (capital do estado do Maranhão). Na ilha quase 50% da área pertence à capital, assim como pouco mais de 80% da população. A empresa em estudo encontra-se na capital operando desde os

anos 80, e está instalada fora do perímetro urbano. Inicialmente agruparam-se os bairros em 15 setores conforme figura 01, identificados por letras. Para identificação dos limites dos bairros foi considerado dados da Prefeitura.

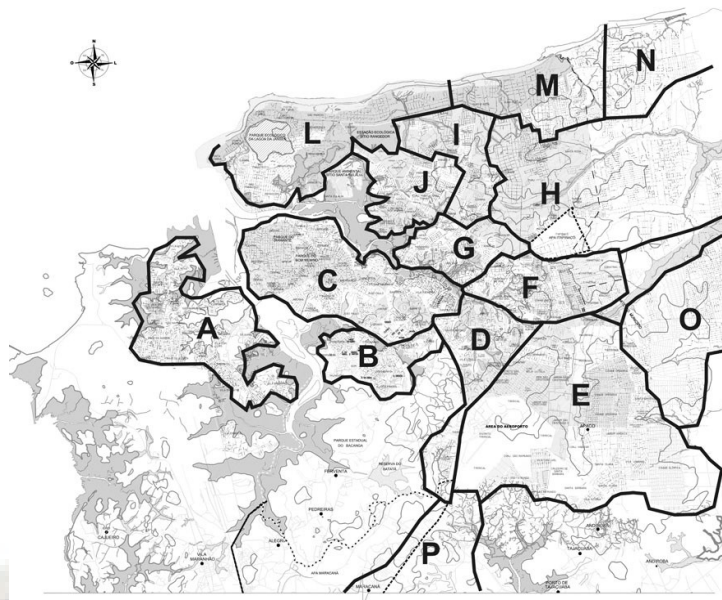


Figura 01: Mapa da cidade de São Luís com a setorização proposta

Alguns setores absorveram também áreas dos demais municípios que compõem a ilha de São Luís: os usuários oriundos do município da Raposa foram agrupados com os usuários do Araçagy; os usuários que moram ao longo da estrada de Ribamar (Laranjal, Mata, Panaquatira, Rio São João, etc.) foram agrupados com o bairro do Maiobão. No total temos 270 bairros agrupados em 15 setores, incluindo a zona rural do município de São Luís.

O conjunto amostral de passageiros consistiu de 677 usuários, sendo 223 do horário administrativo, 258 do horário operacional e 196 do horário de turno, mas por existirem bairros com os quais não foi possível levantar dados amostrais, acrescentou-se uma unidade para todos os bairros. Assim, quando os dados foram normalizados, não houve bairros com dados nulos e também não ficou com peso igual ao peso do bairro que só possuía um usuário no conjunto amostral. Esse recurso foi adotado, pois a possibilidade de haver pelo menos um usuário em cada bairro foi considerada, e fazendo dessa forma, esse usuário influenciaria na previsão de usuários do setor ao qual pertence, ficando então o novo conjunto amostral adaptado. (ficou confuso o entendimento dessas últimas três linhas)

Para avaliar se a decisão de “adaptar” os dados amostrais, para eliminar valores nulos, gerou resultados muito diferentes da amostra inicial, calculou-se o “coeficiente de determinação” (R^2) e o coeficiente de correlação (r de Pearson) entre os pesos calculados com a amostra original e os pesos calculados com a amostra adaptada. Observou-se que os valores de R^2 foram 0,95 para o ADM (pelo menos uma vez no texto dizer que ADM, OPE e TUR), 0,94 para o OPE e 0,91 para o TUR identificando forte correlação entre os dois conjuntos de dados, ou seja, a adaptação feita nos dados da amostra não produziu valores significativamente diferentes da amostra original, se considerar o agrupamento por setores. Sendo assim, pode ser usada tanto um como o outro.

2.3. A geração de “pesos” a partir da amostra

Com base nos dados amostrais estabeleceu-se um critério de “pesos” identificando a relevância relativa de cada setor/bairro, através do percentual de usuários da amostra que habitam em um determinado bairro. Essa identificação foi feita para todos os 03 regimes de acordo com os dados da tabela 1.

Tabela 1: Percentuais de usuários/regime/setor

REF	ÁREA	% POR REGIME			
		ADM	OPE	TUR	MÉDIA
A	BACANGA	6,69%	7,20%	8,80%	7,56%
G	BEQUIMAO	4,06%	3,79%	3,43%	3,76%
P	BR	2,84%	4,92%	4,29%	4,02%
C	CENTRO	12,17%	13,64%	13,52%	13,11%
I	COHAMA	8,11%	6,25%	5,58%	6,65%
F	COHATRA-COHAB	15,21%	15,91%	16,09%	15,74%
B	COROADINHO	4,87%	5,11%	4,72%	4,90%
O	MAIOBÃO	7,10%	6,82%	7,30%	7,07%
M	OLHO D'ÁGUA	1,01%	0,57%	0,86%	0,81%
N	RAPOSA	0,61%	0,57%	0,43%	0,54%
E	SÃO CRISTOVÃO	11,16%	13,26%	11,16%	11,86%
L	SÃO FRANCISCO	3,65%	3,03%	3,00%	3,23%
D	TIRIRICAL-ANIL	8,11%	6,82%	8,15%	7,70%
H	TURU	6,09%	5,49%	5,15%	5,58%
J	VINHAIS	8,32%	6,63%	7,51%	7,49%

2.4. Caracterização da demanda típica de passageiros transportados por regime

Diariamente, a fiscalização da operação aponta o número de passageiros transportados por rota, e com base nesses dados foi possível identificar o volume de passageiros transportados. Como tais dados sofrem variações em função dos dias da semana em que foram coletados ou em função dos meses, procedeu-se com a análise de variância para que pudesse caracterizar a média mensal do volume de usuários transportados em dias típicos.

2.4.1. Considerações sobre o teste ANOVA

A análise de variância ou ANOVA é utilizada para comparação de médias e de variâncias amostrais de mais de duas populações diferentes, feito através de teste de hipóteses, onde na hipótese nula (H_0) afirma-se que todas as populações possuem a mesma média, na hipótese alternativa afirma-se que pelo menos uma das populações não tem média igual as demais e para rejeição ou não da hipótese nula é necessário que se pré-estabeleça o nível de significância do teste.

A distribuição F é utilizada para aceitar ou rejeitar a hipótese nula onde, o F crítico é o F calculado considerando a variância *entre* cada amostra e a variância *dentro* de cada conjunto amostral. A primeira “é proveniente das populações serem diferentes, denominada variabilidade *entre*” (LAPPONI, 2006) onde quanto maior for esse valor “mais forte é a evidência das médias das populações serem diferentes” (LAPPONI, 2006); e a segunda condição de variabilidade é dentro de cada conjunto amostral. “Quanto maior for a variabilidade dentro, maior será a dificuldade para concluir se as médias das populações são diferentes” (LAPPONI, 2006).

O teste em questão é útil para o nosso problema, pois permitiu avaliar se as variações temporais geram volumes médios diferentes, sendo possível responder algumas questões como: As médias de “volume de usuários transportados/dia” variam com o passar dos meses? Quais são os meses considerados típicos? Os diferentes dias da semana possuem volumes médios diferentes? Quais são os dias da semana considerados típicos?

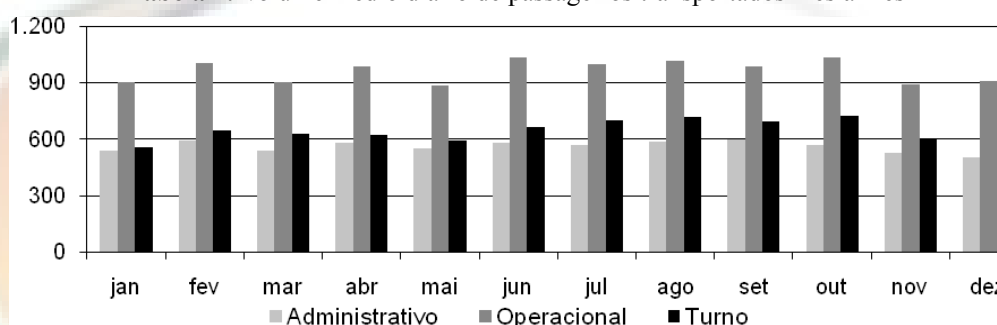
Para aplicação do teste assumiu-se 03 premissas indicadas por LAPPONI (2005); a) As populações têm a mesma variância e são retiradas de populações com distribuição normal; As amostras são aleatórias e independentes. Para checar o atendimento da primeira premissa, utilizou-se uma regra prática sugerida por DEVORE (2006) que diz que “se o maior s [variância amostral] não for maior que duas vezes o menor, é razoável supor que σ^2 [variância da população] iguais”.

b) Assumir que as amostras pertencem a uma população normalmente distribuída. Nesse caso, a hipótese nula de normalidade ao nível de confiança de 95% através do teste *Kolmogorov-Smirnov* não foi rejeitada, e para realização de tal teste, utilizou-se o aplicativo MINITAB® e, c) A terceira premissa é atendida considerando a própria origem da variável de análise, aonde o fato de um usuário vir em um dia da semana ou em um mês específico não o impede nem o desobriga de vir nos demais dias/meses.

2.4.2. Aplicação do teste ANOVA para análise da variação mensal.

Observando a tabela 4, destacam-se quedas significativas nos meses de Janeiro, Março, Novembro e Dezembro. Nos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro têm-se a concentração das férias dos funcionários, em razão das festas de fim de ano e das férias escolares dos filhos dos funcionários, provocando assim redução do efetivo em atividade. E, o que talvez possa justificar a aparente redução observada em Março é o feriado prolongado do carnaval, quando parte dos funcionários também planeja suas férias para coincidir com tal feriado. Observa-se, nos regimes “Operacional” e “Turno” queda significativa no mês de Maio sem explicação aparente.

Tabela 4: Volume médio diário de passageiros transportados mês a mês



Para estruturação do teste ANOVA em relação aos meses, foram organizados dados em 03 esquemas diferentes. No primeiro foram incluídos todos os meses do ano, no segundo esquema retirou-se os meses de Janeiro, Maio e Dezembro (típicos de férias) e no terceiro esquema retirou-se o mês de Novembro, conforme tabela 6. O critério utilizado para a escolha dos meses que compuseram os diferentes esquemas de teste foi à avaliação preliminar realizada a partir da tabela 5.

Tabela 5: Esquemas utilizados para realização do teste ANOVA para os meses

Esquemas	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2		X	X	X		X	X	X	X	X	X	
3		X	X	X		X	X	X	X	X		

Adotou-se um grau de significância (α) de teste de 1% para testar as seguintes hipóteses:

H₀: Todos os meses apresentam valores médios iguais

H_a: Pelo menos um dos meses apresenta valor médio diferente dos demais

Avaliando os resultados do teste ANOVA para os meses (tabela 6), observa-se que a única situação em que não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula é o Esquema 3, para o horário Administrativo. Nos demais esquemas não há evidências suficientes para afirmarmos que os diferentes meses apresentam valores médios iguais com significância de 1%.

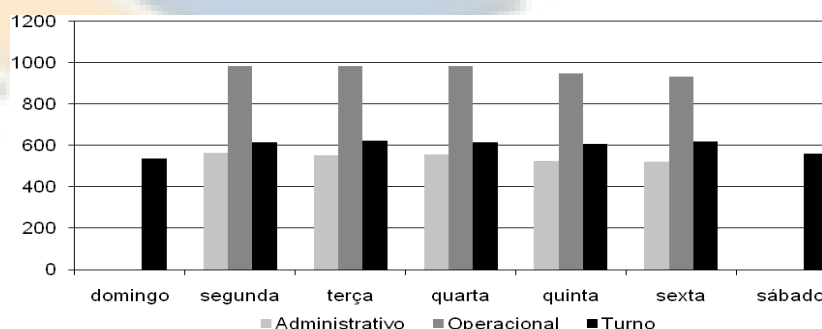
Tabela 6: Resultados dos Testes ANOVA para os meses

	Esquema 1	Esquema 2	Esquema 3
Administrativo			
F	9,09	3,31	2,73
valor-P	0,000%	0,148%	1,048%
F crítico	2,32	2,61	2,75
Teste de Hipóteses	Rejeitar Ho	Rejeitar Ho	Não Rejeitar Ho
Operacional			
F	15,13	13,03	8,29
valor-P	0,000%	0,000%	0,000%
F crítico	2,32	2,61	2,75
Teste de Hipóteses	Rejeitar Ho	Rejeitar Ho	Rejeitar Ho
Turno			
F	32,192	27,941	18,16
valor-P	0,000%	0,000%	0,000%
F crítico	2,324	2,613	2,75
Teste de Hipóteses	Rejeitar Ho	Rejeitar Ho	Rejeitar Ho
8h			
F	13,31	8,95	4,56
valor-P	0,000%	0,000%	0,012%
F crítico	2,32	2,61	2,75
Teste de Hipóteses	Rejeitar Ho	Rejeitar Ho	Rejeitar Ho

2.4.3. Aplicação do teste ANOVA para análise da variação diária.

De acordo com a tabela 7, para o regime Administrativo, tem-se a segunda-feira com dia de maior média e a sexta-feira com dia de menor média, para o regime de Turno, observa-se os fins-de-semana como dias de menor média. Diferentemente do que ocorre no horário Administrativo, no horário Operacional tem-se o maior valor de média na terça-feira, decréscimo da média até se chegar à sexta-feira.

Tabela 7: Volume médio diário de passageiros transportados por dia da semana



Pelo que foi observado na avaliação da tabela 8, determinou-se 03 esquemas para a realização do teste ANOVA para variações da média do volume de passageiros transportados ao longo da semana.

Tabela 8: Esquemas utilizados para realização do teste ANOVA para os dias da semana

Esquemas	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
1	X	X	X	X	X	X	X
2	X	X	X	X	X		
3		X	X	X			

Adotou-se um grau de significância (α) de teste de 1% para testar as seguintes hipóteses:

Ho: Todos os dias apresentam valores médios iguais

Ha: Pelo menos um dos dias apresenta valor médio diferente dos demais

Com a aplicação do teste ANOVA (tabela 9), observa-se que nos regimes de trabalho de 8h não há evidências suficientes, para afirmar que todos os dias da semana possuem a mesma média de passageiros transportados e, ao excluir os dados de segunda-feira e de sexta-feira tais evidências são observadas para um grau de confiança de 99%. Em relação ao regime de Turno, onde se trabalha todos os dias da semana, as evidências não são suficientes para afirmar que todos os 07 dias da semana apresentam a mesma média, mas ao eliminar o sábado e o domingo do teste não se rejeitou a hipótese nula.

Tabela 9: Resultados dos Testes ANOVA para os dias da semana.

	Esquema 1	Esquema 2	Esquema 3
Administrativo			
F		6,03	4,51
valor-P		0,012%	1,252%
F crítico		3,40	4,75
Teste de Hipóteses		Rejeitar Ho	Não Rejeitar Ho
Operacional			
F		5,90	4,48
valor-P		0,016%	1,318%
F crítico		3,40	4,77
Teste de Hipóteses		Rejeitar Ho	Não Rejeitar Ho
Turno			
F	12,643	0,750	
valor-P	0,000%	55,885%	
F crítico	2,855	3,399	
Teste de Hipóteses	Rejeitar Ho	Não Rejeitar Ho	
8h			
F		6,92	4,56
valor-P		0,003%	1,201%
F crítico		3,40	4,75
Teste de Hipóteses		Rejeitar Ho	Não Rejeitar Ho

Calculando a média de usuários nos dias típicos dos meses típicos têm-se os seguintes valores (tabela 10).

Tabela 10: Dados de volume de passageiros transportados/dias típicos

	Administrativo	Operacional	Turno
MÉDIA	544,89	972,18	615,70
DESVIO	56,09	86,79	73,44

2.5. Distribuição espacial de passageiros transportados.

Considerando os pesos encontrados por bairro/setor e a média de passageiros transportados nos dias típicos dos meses típicos, tem-se os valores apresentados na tabela 11. Assumindo um indicador operacional chamado de “Taxa de Ocupação”, que nada mais é que a divisão do número de passageiros

transportados pelo número de poltronas disponíveis, igual a 80% tem-se a previsão de poltronas por bairro/setor.

Tabela 11: Aplicação da planilha com pesos para previsão da quantidade de poltronas

SETOR	PESOS			MÉDIA DE PAS/DIA			POLTRONAS DISP. (80%)		
	%ADM	%OPE	%TUR	%ADM	%OPE	%TUR	ADM	OPE	TUR
BACANGA	6,69%	7,20%	8,80%	36,47	69,97	54,17	46	87	68
BEQUIMAO	4,06%	3,79%	3,43%	22,11	36,83	21,14	28	46	26
BR	2,84%	4,92%	4,29%	15,47	47,87	26,42	19	60	33
CENTRO	12,17%	13,64%	13,52%	66,32	132,57	83,24	83	166	104
COHAMA	8,11%	6,25%	5,58%	44,21	60,76	34,35	55	76	43
COHATRAC-COHAB	15,21%	15,91%	16,09%	82,89	154,67	99,09	104	193	124
COROADINHO	4,87%	5,11%	4,72%	26,53	49,71	29,07	33	62	36
MAIOBÃO	7,10%	6,82%	7,30%	38,68	66,29	44,92	48	83	56
OLHO D'ÁGUA	1,01%	0,57%	0,86%	5,53	5,52	5,28	7	7	7
RAPOSA	0,61%	0,57%	0,43%	3,32	5,52	2,64	4	7	3
SÃO CRISTOVÃO	11,16%	13,26%	11,16%	60,79	128,89	68,70	76	161	86
SÃO FRANCISCO	3,65%	3,03%	3,00%	19,89	29,46	18,50	25	37	23
TIRIRICAL-ANIL	8,11%	6,82%	8,15%	44,21	66,29	50,21	55	83	63
TURU	6,09%	5,49%	5,15%	33,16	53,40	31,71	41	67	40
VINHAIS	8,32%	6,63%	7,51%	45,32	64,44	46,24	57	81	58
				544,89	972,18	615,7	681	1.215	770

Através do TransCAD® foi possível visualizar os pesos através de um mapa da cidade. (Figura 2)

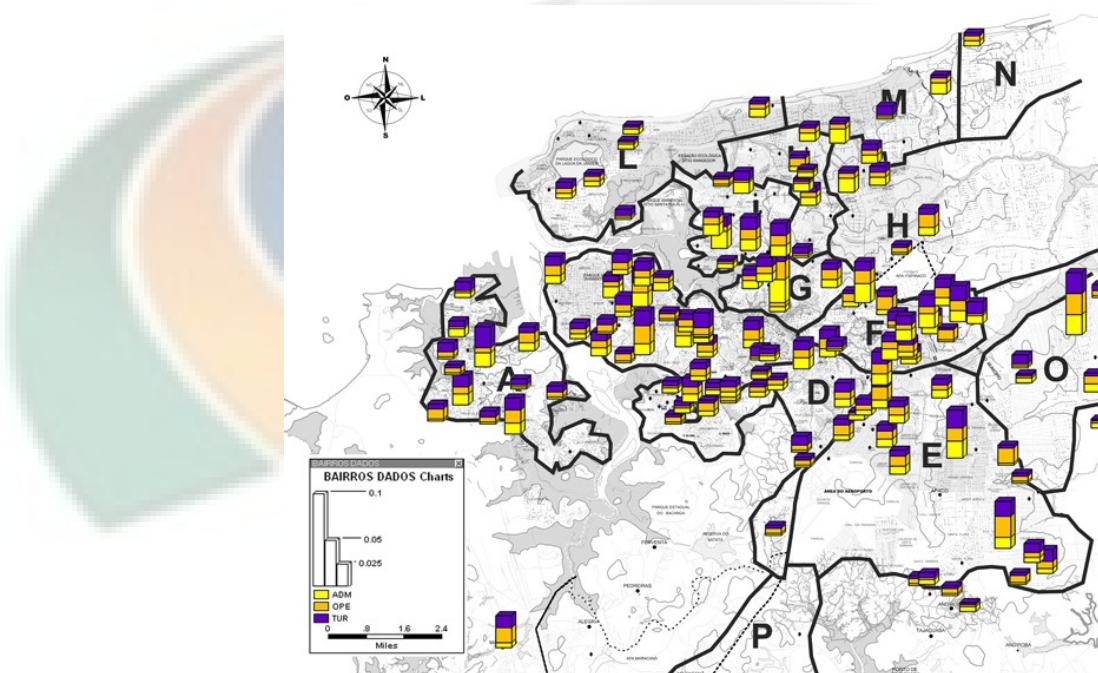


Figura 02: Mapa da cidade de São Luís com a setorização proposta

3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Em relação aos dias da semana, para os regimes de 8h/dia, terças, quartas e quintas podem ser considerados dias típicos. Como os dados consideram todos os dias da semana do ano, independente do mês, ficou mais clara a identificação períodos típicos, pois as variações mensais observadas foram agrupadas por dia da semana. A redução na média do volume de passageiros transportados nas sextas-feiras pode ser explicada pelo fato de que mais pessoas utilizam o carro nesse dia da semana, esse dado é confirmado pelo problema de superlotação dos estacionamentos nas dependências internas da empresa e



pelo aumento no volume médio de veículos que circulam na cidade. Em relação ao horário de Turno, temos uma redução na média dos volumes nos sábados e domingos, isso pode ocorrer, pois nos fins de semana se concentram apenas atividades essenciais ou, é possível considerar também que devido à falta de uma fiscalização igual aos dias úteis, os motoristas não preenchem corretamente os Diários de Bordo.

4. CONCLUSÕES

O objetivo da previsão de usuários por bairro/setor auxilia nas próximas etapas do processo de planejamento. Além de permitir uma visão integrada de toda a demanda, permite estimar o número de poltronas que precisa ser disponibilizada para cada região da cidade e por consequência, pré-dimensionar o número de veículos a serem utilizados em todo sistema.

A partir dos resultados gerados, a equipe responsável pela gestão realizou nova roteirização, utilizando o mesmo método anterior, mas agora com o conhecimento adquirido, observa-se redução aproximada de 20% no custo operacional com a redução da quilometragem das rotas e redução no número de veículos utilizados. Antes, em alguns casos, o usuário morador de um determinado bairro que voltasse para o mesmo local deveria pegar outra rota, com a visualização da demanda no espaço apoiando a nova roteirização foi possível eliminar tal problema, tornando a operação mais simples e lógica.

A identificação de dias típicos permitiu que as intervenções na operação ganhassem flexibilidade em função do dia da semana, a exemplo disso, reduziu-se a frota utilizada para realizar a distribuição interna às sextas-feiras. Foi possível eleger a “sextas-feiras” como dia de implantação de mudanças, pois assim a probabilidade de falhas é menor do que num dia típico, ganhando tempo para correções.

Faz-se necessário realizar a validação dos dados previstos para cada bairro, isso pode ser feito apontando a quantidade de usuários que utilizam o transporte domiciliar por bairros em dias típicos, testando a correlação entre dados observados e dados previstos. Deve-se utilizar critérios mais objetivos para a setorização, tornando compatível com o que é praticado pelos órgãos públicos, bem como testar a construção de modelos regressivos com dados urbanos (densidade populacional, serviços existentes, quantidade de linhas de ônibus, etc.). Para a previsão, deve-se utilizar também informações internas da empresa como, a quantidade de funcionários admitidos, demitidos, de licença ou férias, na composição de tais modelos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

OLIVEIRA, M. V. T., (2004) A natureza dos padrões de Variação Espaço-Temporal do Volume Veicular em Ambiente Urbano: Estudo de caso em Fortaleza, Fortaleza-CE. Dissertação de Mestrado Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes. UFC, Fortaleza-CE.

DEVORE J. L. (2006) Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências. Ed. Pioneira Thomson Learning Ltda., São Paulo.

LAPPONI, J. C. (2005) Estatística Usando o Excel. Laponi Treinamento, São Paulo.

TRIOLA, M. F. (1998) Introdução à Estatística. Editora LTC, 7ª Edição. Rio de Janeiro, RJ.

LABGEO (2002), Universidade Estadual do Maranhão – Laboratório de Geoprocessamento, 2002.

MAIA, F. V. B. (2007) Calibração e Validação de Modelos de Meso e Microsimulação do Tráfego para a Avaliação de Intervenções Tático-Operacionais na Malha Viária Urbana. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 104 fl.



USP (2008), Conceitos Básicos de Amostragem, Aulas 3 e 4, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Transportes. EESC – USP.

DEVORE J. L. (2006) Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências. Ed. Pioneira Thomson Learning Ltda., São Paulo.

