

Modelagem de estimativa de custo de sinalização de trânsito em vias urbanas.

Pedro Oliveira¹; Frederico Rodrigues¹

¹ImTraff Consultoria e Projetos de Engenharia Ltda., Av. Cristiano Machado – nº: 640 sala: 1106 – Bairro: Bairro da Graça – Belo Horizonte (MG), (31) 2516-8001, contato@imtraff.com.br;

SINÓPSE

Estimar os custos de implantação de sinalização viária, antes mesmo da elaboração dos projetos executivos é uma vantagem significativa nas etapas de planejamento da engenharia de tráfego. Neste sentido, este artigo apresenta a calibração de modelo de regressão para previsão de custos estimados de implantação de sinalização de trânsito.

PALAVRAS-CHAVE

Planejamento; Custos; Sinalização; Calibração; Modelo.

INTRODUÇÃO

Em diversas situações de planejamento e gestão de órgão executivos de trânsito que envolvem a implantação de projetos de sinalização viária é importante ter uma estimativa preliminar de custos. Tal antecipação dos custos são necessárias, por exemplo, para definição de dotações orçamentárias, estimativa de medidas mitigadoras de empreendimentos de impacto (Polos Geradores de Viagem) ou até mesmo para cálculos de empenhos financeiros para execução de adequações viárias imediatas.

A prática mais utilizada para antever os custos de execução de sinalização, independentemente de sua complexidade é a elaboração de projetos básicos, que conforme o inciso IX do Artigo 6º da Lei 8.666/93 esse projeto deve ser suficiente para, dentre outros propósitos, permitir a realização do orçamento de execução.

Obviamente a elaboração de um projeto básico demanda dados, análises e um determinado tempo de elaboração que posterga, de certa forma, para estimativas iniciais, o conhecimento dos custos de implantação da sinalização viária para uma determinada área em projeto.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é fornecer uma contribuição para realização da estimativa de custos de implantação de projetos de sinalização viária urbana, antes mesmo da elaboração de qualquer tipo de projeto, baseando-se apenas na magnitude da área de intervenção.

O modelo proposto fora obtido por meio da análise de custos de 14 projetos elaborados e implantados pela Empresa Municipal de Trânsito do município de Betim-MG (TransBetim) nos anos de 2013 e 2014 e espera-se com os modelos calibrados fornecer aos demais órgãos de trânsito a possibilidade de planejar melhor os seus recursos financeiros e embasar as medidas compensatórias solicitadas a empreendedores, atendendo assim, de melhor forma, a sociedade.

CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DE MODELOS DE REGRESSÃO

A econometria pode ser definida com um conjunto de ferramentas estatísticas com o objetivo de entender a relação entre variáveis econômicas através da aplicação de um modelo matemático, deste modo de acordo com Hoffman (2.016) a análise de regressão é o método mais importante da econometria.

Conforme Stevenson (1.986) apud Sell (2.005) a regressão compreende a análise de dados amostrais para saber se e como duas ou mais variáveis estão relacionadas uma com a outra numa população e, tem como resultado uma equação matemática que descreve o relacionamento.

A equação matemática obtida, ou também chamada de modelo de regressão pode ter aspecto, linear, quadrático, cúbico, exponencial, logarítmico, etc. A definição do tipo de curva

a ser estabelecida entre a variável dependente (Y) e independente (X) pode ser obtido por meio da plotagem de diagramas de dispersão conforme ilustrado na Figura 1.

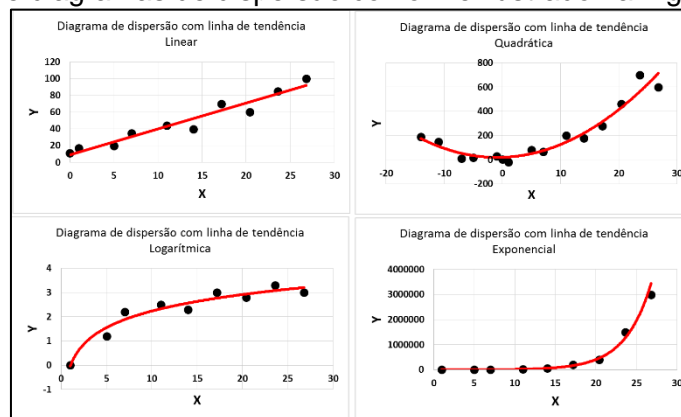


Figura 1: Exemplo de diagramas de dispersão com linha de tendência

A análise estatística tratada neste artigo será realizada por meio da regressão linear simples, que como será mostrada adiante foi o tipo de curva que melhor se aproximou dos pontos representados no diagrama de dispersão.

A regressão linear simples, resulta em uma equação do tipo $y = a + bx$, em que y (variável dependente) é explicada por apenas uma variável independente (x). Neste caso, os coeficientes, angular (b) e linear (a) são estimados de modo que a relação funcional entre x e y seja obtida com um mínimo de erro possível.

Um dos métodos comumente utilizados para estimar os coeficientes “a” e “b” denomina-se Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) que se baseia na estimativa de uma equação que as distâncias dos pontos do diagrama de dispersão à curva do modelo matemático sejam as menores possíveis.

Pelo método MMQ a soma de quadrados das distâncias entre os pontos do diagrama e os respectivos pontos na curva da equação estimada é minimizada, de modo ilustrado na Figura 2.

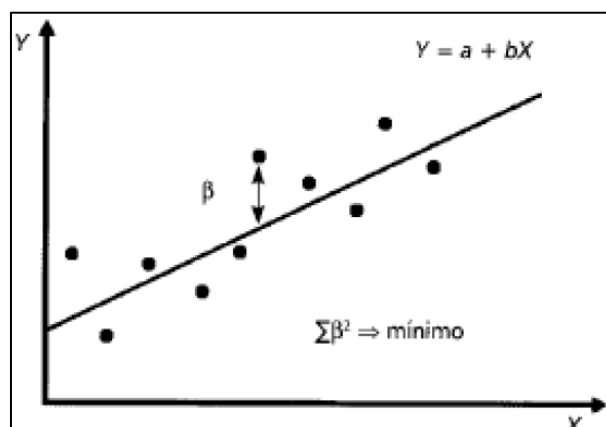


Figura 2: Mínimos Quadrados

Para avaliação da qualidade de um modelo obtido por meio de regressão linear simples são avaliados alguns parâmetros descritos em seguinte:

- Coeficiente de correlação (R múltiplo ou r Pearson): Mede o grau da correlação linear entre duas variáveis quantitativas. É um índice adimensional com valores situados ente -1,0 e 1.0. Segundo Freitas (2.009) o valor do r de Pearson acima de 0,70 (positivo ou negativo) indica uma forte correlação, de 0,30 a 0,70 (positivo ou negativo) indica correlação moderada e, de 0 a 0,30 (positivo ou negativo) fraca correlação.
- Coeficiente de determinação (R^2): Indica a proporção da variação de Y que é explicada pela regressão. O valor de R^2 varia no intervalo de 0 a 1. Valores próximos de 1 indicam que o modelo proposto é adequado para descrever o fenômeno;

- Erro-padrão de estimativa: É calculada a partir da raiz quadrada da variância residual (S^2) podendo ser considerada como um desvio padrão que mede a dispersão em torno da reta de regressão.

Além da análise dos parâmetros apresentados devem ser realizados testes de hipótese que de acordo com Queiroz (2.011) são realizados a fim de determinar se hipóteses feitas sobre estes parâmetros são suportadas por evidências obtidas a partir de dados amostrais.

Para avaliação do modelo obtido foi aplicado o teste T com a distribuição t de *Student* de significância do coeficiente angular e o teste F com a distribuição *Snedecor* para avaliação de significância do modelo linear.

- Teste T: Em um modelo de regressão linear simples do tipo $y = a + bx$, é feita a inferência sobre o coeficiente angular (b) para se ter a verificação da existência ou não da associação linear entre as variáveis envolvidas dado um nível de confiança α (neste artigo de 95%). Como hipótese nula tem-se $H_0: b = 0$ e hipótese alternativa tem-se $H_1: b \neq 0$. O critério de rejeição da hipótese nula é se T calculado da regressão for maior que o valor de t (tabelado) para $n-2$ graus de liberdade (em que n representa o número de observações) e se o P-valor associado ao teste for menor do que α .

- Teste F: Do mesmo modo como o teste T, como hipótese nula tem-se $H_0: b = 0$ e hipótese alternativa tem-se $H_1: b \neq 0$. Se não rejeitamos H_0 , concluímos que não existe relação linear significativa entre as variáveis explicativa (X) e dependente (Y).

Os coeficientes estimados são também submetidos as análises de intervalo de confiança (IC95%) em que os parâmetros devem estar contidos neste intervalo.

Por fim, conforme Rodrigues (2007) uma outra forma também para avaliação de modelos calibrados é aplica-los aos próprios objetos/dados de estudo, adotando-se assim a metodologia do erro médio absoluto percentual, que pode ser obtido pela Equação 1:

$$E_{ma}\% = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|X_{ci} - X_{ri}|}{X_{ri}} \times 100\%}{n} \quad (1)$$

Onde:

$E_{ma}\%$ = erro médio absoluto percentual

X_{ri} = Medida real;

X_{ci} = Medida obtida a partir do modelo calibrado;

n = total de observações

Para estimativa dos parâmetros da regressão e testes do modelo foi utilizado o Microsoft Office Excel por meio da função de ferramentas de análise de regressão.

O modelo calibrado para previsão dos custos de implantação de sinalização viária foi submetido a todos os critérios de avaliação listados apresentando resultados satisfatórios de desempenho.

DEFINIÇÃO DA VARIÁVEL EXPLICATIVA

A variável independente (explicativa) definida para calibração da equação por meio de regressão linear foi o somatório do comprimento em metros lineares (MLin) das vias a serem sinalizadas conforme ilustrado na Figura 3.

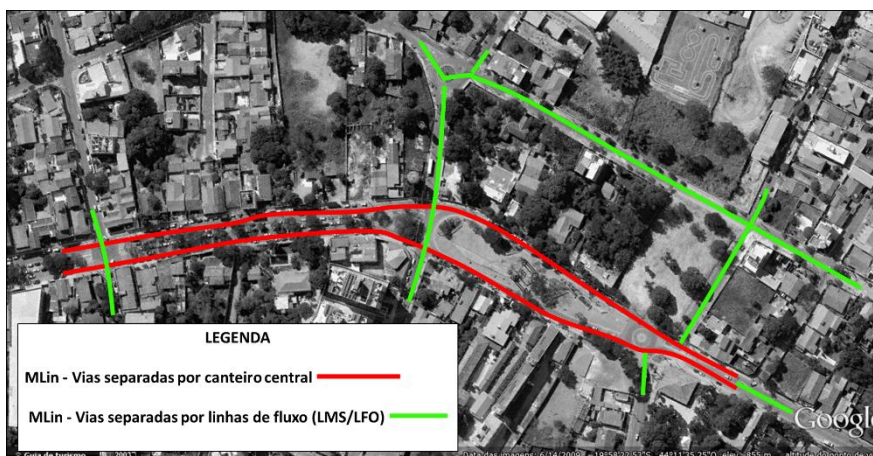


Figura 3: MLin das vias a serem sinalizadas

Destaca-se que vias separadas por canteiros centrais, praças, etc, devem ser consideradas como duas vias, já vias onde a segregação é feita por linhas de fluxos opostos (LFO's ou LMS's) podem ser consideradas como uma só.

Para a variável MLin foi obtido um coeficiente de correlação (R múltiplo) = 0,96 o que mostra para a variável escolhida forte grau de correlação permitindo-se a utilização desta como incógnita explicativa do modelo de regressão linear.

PADRÃO E CRITÉRIOS ADOTADOS NA IMPLANTAÇÃO E NOS PROJETOS DESENVOLVIDOS

De acordo com os manuais brasileiros de sinalização de trânsito a TRANSBETIM adota os padrões legais nos desenvolvimentos dos projetos, a saber:

- Padrão da sinalização vertical
 - i. Placas de regulamentação: R-1 (Parad0a obrigatória): Lado de 25 cm;
 - ii. Placas de regulamentação (circular sem informação complementar): Diâmetro de 50 cm;
 - iii. Placas de advertência (quadrada sem informação complementar): Lado de 45 cm;
 - iv. Placas de advertência e regulamentação com informação complementar: 50 x 75 (cm)
 - v. Placas de serviço auxiliar (S-14) ponto de embarque e desembarque: Lado de 25 cm;
- Padrão da sinalização horizontal
 - i. Largura das linhas divisoras de fluxo, bordos e de canalização: 0,12 cm com espessura de 1 a 1,5 (mm);
 - ii. Largura das linhas de retenção e faixas de pedestres: 0,40 cm com espessura de 1,5 mm;
 - iii. Cadência de linhas seccionadas divisoras de fluxo: 4 x 2 (m);
 - iv. Cadência de linhas de continuidade: 1 x 1 (m)

Já na etapa de implantação do projeto tem-se os seguintes critérios da TransBetim.

- Critérios de implantação da sinalização vertical
 - i. Placas: Confeccionadas em aço com 3 mm de espessura e o fundo, tarjas, letras e símbolos impressos em película;
 - ii. Fixação das placas nos suportes: Parafuso, porcas e arruelas (não é utilizado abraçadeiras). Quando fixadas em postes de iluminação pública é utilizada fita perfurada de aço juntamente com parafuso, porcas e arruelas.
 - iii. Suporte das placas: Aço galvanizado de 2 polegadas com alturas de 3,5m ou 4,0m para fixação em um mesmo suporte de 1 ou 2 placas respectivamente.

- Critérios de implantação da sinalização horizontal
 - i. Marcas longitudinais (LFO's, LMS's, LBO) e canalização (LCA, ZPA's): Tinta acrílica;
 - ii. Marcas transversais (LRE, FTP, etc): Laminado Elastoplástico.

A TransBetim não adota nas marcas transversais o material termoplástico extrudado ou aspergido uma vez que para a aplicação deste material ser rentável por parte do fornecedor, e tenha um bom custo benefício por parte do contratante, deve se ter longos trechos a serem sinalizados e, por outro lado também, devem ser implantados em locais onde a interrupção do tráfego ou o desvio possam ocorrer sem grandes perturbações, o que, no caso do ambiente urbano da cidade de Betim, não é viável.

COLETA DE DADOS

No ano de 2013 e 2014 foram elaborados pela Empresa Municipal de Transporte e Trânsito de Betim – MG (TRANSBETIM) 157 projetos de sinalização viária em vias urbanas (arteriais, coletoras e locais). Destes, em conjunto com os técnicos e gerentes do órgão, selecionou-se 14 para obtenção dos modelos de regressão linear, pois estes projetos possuem entre eles similaridades como:

- i. Mesmo padrão e diretriz de sinalização adotada pelos projetistas;
- ii. Mesmo critério de material utilizado na sinalização horizontal e vertical;
- iii. Revitalização total da sinalização horizontal quando existente;
- iv. Reaproveitamento dos suportes de sinalização vertical existente e substituição de placas;
- v. Não envolvem sinalização indicativa e semafórica;
- vi. Total controle de custo;
- vii. Foram pagos tendo a mesma base de cálculo dos valores licitados.

Dos 14 projetos selecionados têm-se os dados básicos demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1: Coleta de implantação dos projetos de sinalização viária

Projeto	MLin (m)	Custo Total
A	266	R\$ 5.078,66
B	470	R\$ 9.600,59
C	540	R\$ 10.500,47
D	642	R\$ 11.423,44
E	921	R\$ 14.027,46
F	1050	R\$ 16.066,47
G	1000	R\$ 22.213,51
H	1202	R\$ 29.184,00
I	1518	R\$ 30.266,00
J	1465	R\$ 37.309,03
K	2471	R\$ 41.496,25
L	2013	R\$ 46.629,00
M	3110	R\$ 79.213,00
N	6840	R\$ 110.279,00

O custo total mostrado na Tabela 1 envolve somente o material e mão de obra da implantação da sinalização horizontal, vertical e dispositivos auxiliares (tachas e tachões), não contabiliza custo de obras de ajustes geométricos, massa asfáltica ou concreto para implantação de *traffic*

calmings e, como informado anteriormente, não envolve implantação de semáforos e placas especiais (indicativas) que normalmente possuem valores consideravelmente elevados. Destaca-se que a análise dos projetos permitiu ainda obter os seguintes percentuais de participação dos elementos contemplados:



Figura 4: Repartição dos Custos em implantação de projetos viários

Fica claro que o maior custo dos projetos de sinalização urbana é em relação à sinalização horizontal.

OBTENÇÃO DO MODELO

Através dos dados obtidos demonstrados na Tabela 1 foi obtido o diagrama de dispersão (nuvem de pontos) de custo de implantação de sinalização viária em relação à extensão linear.

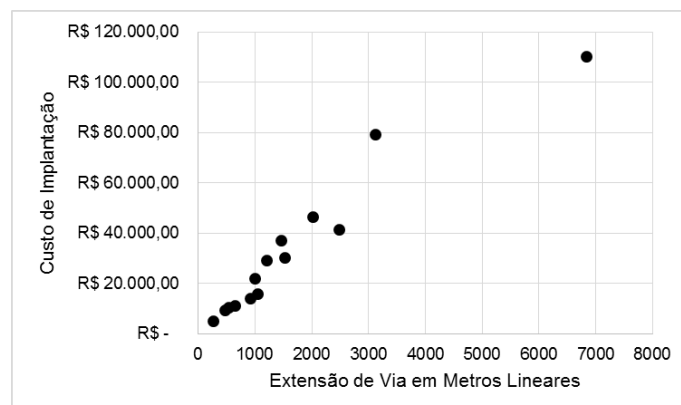


Figura 5: Diagrama de dispersão

É possível verificar uma clara tendência linear no aumento do custo de implantação em relação ao aumento da extensão linear da área de implantação, deste modo fica claro o uso da técnica de regressão linear simples para o modelo de estimativa.

Para aplicação da técnica de regressão linear foi utilizada a ferramenta de análise de dados do software Microsoft Office Excel que possui como dados de entrada o intervalo da lista de valores das variáveis X e Y e definição do nível de confiança (fixado em 95%).

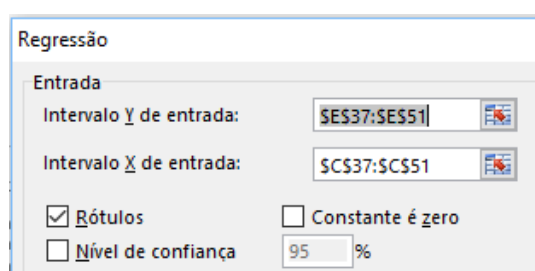


Figura 6: Dados de entrada para regressão linear Microsoft Office Excel

A equação obtida a partir do processo de calibração é, portanto, apresentada a seguir.

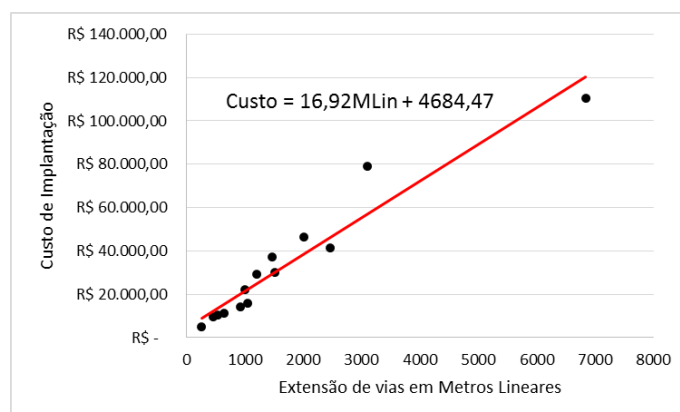


Figura 7: Equação calibrada por regressão linear simples

$$CT = 16,92MLin + 4684,47 \quad (2)$$

Onde:

CT = Custo total de implantação de sinalização viária em R\$;
MLin = Extensão em metros lineares das vias a serem sinalizadas.

AVALIAÇÃO DO MODELO OBTIDO

A tabela a seguir apresenta o resumo dos resultados obtidos com a aplicação da ferramenta de análise de dados do software utilizado.

Tabela 2: Análise de Regressão

R múltiplo	0,9607
R ²	0,9230
Erro-padrão de Estimativa	R\$ 8577,03
Observações	14

Como informado anteriormente a variável explicativa (MLin) possui forte grau de correlação com a variável dependente (custos de implantação). Verifica-se que o coeficiente de determinação estatística (R²) apresentou valor bastante satisfatório em que 92,30% da amostra é explicada pelo modelo. Já o erro padrão de estimativa não apresentou valores tão baixos quanto o esperado em vista dos valores encontrados para o R múltiplo e R², no entanto isso não invalida o uso do modelo.

Além desses parâmetros forem realizados os devidos testes de hipótese cujos resultados são discutidos em seguinte.

Na avaliação do teste F, é visto na Tabela 3 que como F (143,89) é maior que f tabelado_(0,95;1;12) (4,75) e P-valor (0,00) é menor que α (0,05) rejeitamos H₀ com um nível de confiança de 95% e concluímos que a variável explicativa tem correlação com a variável resposta.

Tabela 3: Análise Teste F

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>P-valor</i>
Regressão	1	10585282404	10585282404	143,89	4,86E-08
Resíduo	12	882785258,3	73565438,2	<i>F tabelado (0,95;1;12)</i>	α
Total	13	11468067663		4,75	0,05

Por sua vez o teste T aplicado ao coeficiente angular nos permite rejeitar H_0 com um nível de 95% de confiança e concluir que a variável explicativa tem associação linear com a variável dependente uma vez que T (12,00) é maior que t tabelado (2,18) e P -valor (0,00) é menor que α (0,05).

Tabela 4: Análise do teste T

	Coeficientes	T	t tabelado (0,95;12)	P -valor
MLin	16,92	12,00	2,18	4,86E-08

Por fim, o intervalo de confiança (95%) para o coeficiente angular é [13,84 , 19,99] e o coeficiente está inserido nesse intervalo.

As análises feitas permitem concluir que o modelo é valido para estimativa de custos em função do metro linear das vias a serem sinalizadas.

Por fim, a comparação entre os dados reais e estimado pelo modelo calibrado apontou uma diferença percentual de 26,32%, tal valor pode ser explicado pelo fato do Erro-padrão de Estimativa não ter apresentado valores tão baixos quanto o esperado. O gráfico seguinte apresenta a comparação entre os valores de custos reais e estimados pelo modelo.

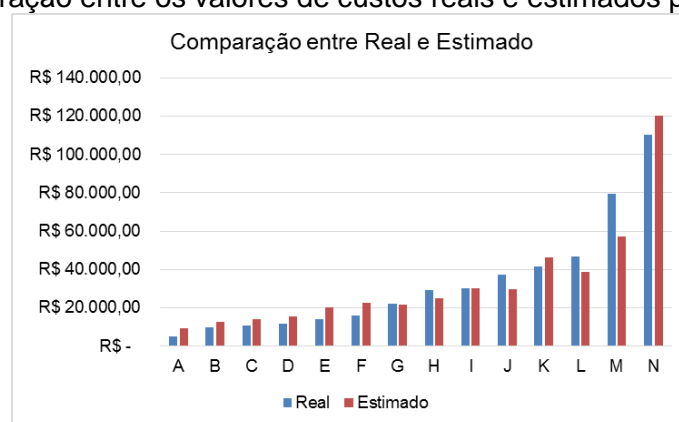


Figura 8: Comparação entre Real e Estimado

ATUALIZAÇÃO DO PREÇO EM RAZÃO DE AJUSTES ANUAIS

Os projetos tidos como fonte para desenvolvimento deste artigo, que foram executados nos anos de 2013 e 2014 tiveram como base a planilha de orçamento do ano de 2008.

Com isso, após calcular o preço dos projetos com as equações obtidas neste artigo, a atualização dos valores deve ser feita por meio dos fatores do INCC (Índice Nacional de Custo da Construção).

$$\text{Preço no ano do orçamento} = \text{Preço calculado} \times \text{Fator de ajuste INCC} \quad (3)$$

Onde:

A título de simplificação, a Tabela 5 apresenta os valores de fatores de ajuste INCC calculado para o ano de 2.017

Tabela 5 – Cálculo de Fatores de ajuste anual

Ano do orçamento	Fator de ajuste INCC	Modelo calibrado para o ano do orçamento
2017	1,84	31,13 x Mlin + 8619,42

CONCLUSÕES

A partir da investigação de 14 projetos elaborados, implantados e pagos pela TRANSBETIM, na cidade de Betim – MG nos anos de 2013 e 2014, foi possível obter o modelo de previsão de custos de implantação de sinalização viária em função da extensão em metros lineares das vias a serem sinalizadas uma vez que esta variável apresenta forte grau de correlação com os custos envolvidos. As análises estatísticas mostraram resultados satisfatórios para o coeficiente de determinação estatística R^2 (92,30%), no entanto valor relativamente alto de Erro-padrão de Estimativa que acarretou em 26,32% de erro médio absoluto percentual. Como continuidade do presente trabalho, sugere-se que sejam estudados os custos de sinalização semafórica e indicativa, para agregar estes elementos ao presente modelo. Neste aspecto, também pode ser investigado os custos de intervenções geométricas, como canteiro, ilhas, pavimentação e implantação de *traffic calmings* como ondulações transversais e faixas elevadas.

REFERÊNCIAS

SILVA, L. R. (2006). **Metodologia de delimitação da Área de Influência dos Pólos Geradores de Viagens para estudos de Geração de Viagens – Um estudo de caso nos supermercados e hipermercados**. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação T.DM 006A/2006, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 169p.

Freitas, Gabriel Vendresculo de. (2009) **Metodologia de delimitação de área de influência e elaboração de modelo de geração de viagens para supermercados de cidade de médio porte** / Gabriel Vendresculo de Freitas. – São Carlos: UFSCar, 2010. 148 f.

Rodrigues, Frederico. (2007) **Development of a Predict Traffic Noise Model in highways: A Comparison with a Appraised Model, International Congress and Exposition on Noise Control Engineering - Inter-noise. 2007.**

Sell, Isair (2.005) **Utilização da regressão linear como ferramenta de decisão na gestão de custos**. IX Congresso Internacional de Custos - Florianópolis, SC, Brasil - 28 a 30 de novembro de 2005.

Queiroz, Marcela Pinto Ferreira de (2.011). **Testes de Hipóteses em Regressão Beta Baseados em Verossimilhança Perfilada Ajustada e em Bootstrap** / Marcela Pinto Ferreira de Queiroz – Recife: O autor, 2011.

Hoffman, Rodolfo (2016). **Análise de regressão: uma introdução à econometria [recurso eletrônico]** / Rodolfo Hoffmann. - - Piracicaba: ESALQ/USP, 2015.