

ESTIMATIVA DO TRÁFEGO GERADO EM RODOVIAS FEDERAIS A PARTIR DO MODELO GRAVITACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE VIAGENS

Felipe Amaral
Anderson Rosniecek
Marília Macêdo
Sidney Boaretto da Silva
Paulo César Marques

Programa de Pós-Graduação em Transportes (PPGT)
Universidade de Brasília

RESUMO

O tráfego gerado é o efeito verificado quando melhorias em uma rodovia promovem o aumento do número de viagens, aumentando sua demanda. Deve-se, por isso, calcular a elasticidade da demanda da rodovia para estimar-se a parcela de tráfego gerado nos estudos de viabilidade técnica de rodovias federais brasileiras. Através do estudo de caso de trecho da rodovia BR-330/BA, buscou-se quantificar tal efeito por meio do Modelo Gravitacional de Distribuição de Viagens. Os resultados de elasticidade encontrados mostraram-se entre 70% e 90% inferiores aos obtidos no estudo utilizado como referência para comparação.

ABSTRACT

The generated traffic is the effect verified when improvements in a highway promote an increment on the number of trips, increasing the demand for it. It is therefore necessary to calculate the elasticity of highway demand in order to estimate the share of generated traffic in studies when analyzing technical feasibility of Brazilian federal highways. Through the case study of a stretch from the highway BR-330/BA, this article attempted to quantify the aforementioned effect through the Trip Distribution Gravitational Model. The calculated elasticity results found were 70% and 90% lower than those obtained in the study utilized as reference for comparison.

1. INTRODUÇÃO

A melhoria nas condições de uma determinada rodovia – especialmente aquelas relacionadas com o aumento da capacidade – está diretamente associada com a indução de novas viagens que não existiam na situação em que nenhuma intervenção tenha sido realizada. O fenômeno da variação da elasticidade da demanda por transportes causado por melhorias na infraestrutura é conhecido como tráfego gerado (LEE et al., 1999). A partir de meados do século passado, passou-se a incorporar o tráfego gerado em estudos de tráfego em países como Estados Unidos e Inglaterra, após verificar-se que sucessivas intervenções de construção de novas faixas de rolamento ou implantação de novas rodovias visando solucionar problemas de congestionamento acabavam por atrair mais usuários, de tal forma que dentro de poucos anos os congestionamentos voltavam para a condição anterior.

É de suma importância levar-se em conta o tráfego gerado no dimensionamento de projetos rodoviários de implantação, pavimentação, adequação ou duplicação. Uma vez que a viabilidade de um investimento na área de transportes é diretamente relacionada à previsão de demanda, erros na projeção desta podem provocar distorções na análise de custo-benefício e influenciar governo e setor privado a investirem em projetos decepcionantes em termos de rentabilidade e viabilidade (LANA, B. C. e SOUZA, A. A., 2014).

No entanto, verifica-se que a prática dos estudos de tráfegos realizados em rodovias federais e estaduais no Brasil acaba por não considerar o fenômeno do tráfego gerado ou utiliza valores questionáveis para a caracterização da elasticidade da demanda. Essa primeira situação vai totalmente de encontro às recomendações encontradas na literatura, que, embora saliente em diversos artigos as controvérsias e dificuldades em quantificar o fenômeno, é categórica sobre

a importância de se considerar os impactos de novas viagens originárias de melhoramentos, adequações e expansão da malha viária (Department of Transport, 1994; CERVERO, 2002; MACKIE et al., 2005).

Dentre os estudos que consideraram o tráfego gerado, é frequente a quantificação do fenômeno com a utilização do método proposto na Avaliação *ex Post* do Projeto de Rodovias Alimentadoras de Santa Catarina (DER-SC, 1989), em que se derivou os coeficientes de elasticidades a partir da distribuição de viagens do Modelo Gravitacional com constantes obtidas dos dados pesquisas origem e destino. Ficou demonstrado ser essa a metodologia consagrada a nível nacional para esse tipo de quantificação, embora espelha-se em resultados de regiões de realidades socioeconômicas bastante distintas e intervalos temporais diversos.

Nesse contexto, esta pesquisa buscou, por meio da aplicação estudo de caso de um trecho BR-330/BA, atualizar os valores de elasticidade da demanda de viagens propostos na avaliação *ex post*, haja vista o estudo ter sido elaborado para o contexto de rodovias estaduais, há mais de 30 anos. Para a consecução dos objetivos propostos, além dessa seção introdutória, o artigo é estruturado em outras quatro seções: revisão bibliográfica, estudo de caso, análises dos resultados e conclusões

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste item são apresentados os pressupostos teóricos que envolvem o tráfego gerado e o modelo gravitacional de distribuição de viagens.

2.1. TRÁFEGO GERADO

Historicamente, estimativas de demanda de projetos rodoviários baseavam-se tão somente no tráfego existente à época de elaboração do projeto, principalmente quando se tratavam de rodovias cuja capacidade encontrava-se esgotada. Os impactos do tráfego gerado somente passaram a ser considerados quando o tráfego existente não era suficiente por si só para justificar o projeto almejado. (MACKIE et al., 2005)

Após implementadas as melhorias rodoviárias, sob uma perspectiva econômica, diminui-se para o usuário o custo, conseqüentemente aumentando sua demanda. Diante de várias opções de deslocamento, como rodovias diferentes, modais de transporte variados, horário das viagens, destinos, frequência de viagens, entre outros, o fator preponderante da escolha do usuário é sempre o custo (ZHAO et al., 2011).

Diversos aspectos estão contemplados dentro do custo de utilização: valor do combustível, custos operacionais e de manutenção do veículo, pedágios e impostos, despesas com possíveis multas. Outrossim, o tempo despendido no deslocamento entre origem e destino e a segurança da via também devem ser considerados como custo.

Visando melhorias rodoviárias não efêmeras e avaliações de viabilidade de projetos acuradas, deve-se estipular a elasticidade da demanda, ou seja, a alteração que a quantidade demandada sofre em relação ao aumento ou redução do preço/custo para o usuário, de forma que o volume de tráfego estipulado não seja subdimensionado ou superdimensionado. No caso do tráfego gerado, a elasticidade representa o percentual de mudança na demanda para cada aumento percentual da capacidade da rodovia (CERVERO, 2002).

Restam, contudo, questionamentos a respeito do nível e sob que circunstâncias o fenômeno do tráfego gerado ocorre (CERVERO, 2002). Quantificar seu impacto na malha e consequentemente na avaliação de viabilidade de obras rodoviárias é laborioso, pois diversos fatores podem ser considerados, tais como: redução dos custos para o usuário; impactos socioeconômicos, como o desenvolvimento e enriquecimento da região afetada; impactos ambientais como poluição sonora e do ar; aumento da frequência de viagens na rodovia; mudanças de destino e rota em função da melhoria; mudanças entre modais por parte do usuário. Recorre-se, assim, a modelagens que ajudem na estimativa do mesmo.

Foram identificados na literatura internacional uma variedade de estudos para estimativa da elasticidade da demanda em função dos custos de transporte com aplicação de diversas metodologias. He e Zhao (2013) listam a utilização de análise comparativa, modelos de elasticidade, modelos de curva de crescimento, modelos econométricos e o modelo gravitacional em estudos do gênero.

Essa última metodologia é de grande interesse dentro do contexto nacional. O único trabalho identificado do gênero no Brasil utilizou o modelo gravitacional para estimativa. Nesse trabalho, intitulado Estudo de Avaliação Ex Post (DER-SC, 1989), realizado pelo Departamento de Estradas e Rodagem de Santa Catarina, foi utilizado o modelo gravitacional para estimativa do tráfego gerado em rodovias alimentadoras do estado. Além disso, A indisponibilidade de séries históricas de medições, sobretudo de volume de veículos, dificulta a aplicação de outros modelos.

2.2. O MODELO GRAVITACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE VIAGENS E O TRÁFEGO GERADO

Modelos são aproximações em que se buscam representações da realidade. No caso de transportes, a modelagem possibilita a estimativa do número de viagens entre um par de origem/destino com base numa matriz de geração e atração de viagens. Os modelos matemáticos para distribuição de viagens podem ser enquadrados em dois grandes grupos, sendo os modelos de fatores de crescimento e os modelos sintéticos. De acordo com Bruton (1979) citado por Lima (1993), os modelos de fatores de crescimento adotam uma taxa de crescimento extraída da área de influência, e projetada para os anos seguintes. Já os modelos sintéticos buscam entender os fatores que causam os movimentos, bem como os relaciona a comportamentos físicos. Vários são os modelos sintéticos utilizados atualmente, sendo o Modelo Gravitacional o mais recente, e foco das discussões do presente artigo.

Da Lei da Gravitação Universal, de Isaac Newton, 1686, tem-se que “duas partículas materiais se atraem com uma força diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas, estando a força dirigida segundo a reta que as une”. Matematicamente:

$$F_{ij} = \delta \cdot \frac{m_i \cdot m_j}{d_{ij}^2} \quad (1)$$

Onde F_{ij} é a Força entre as partículas de massas m_i e m_j que estão separadas a uma distância d_{ij} , e δ é uma constante.

Mello (1975) citado por Lima (1993) relacionou a Lei da Gravitação ao planejamento de transportes, com a afirmação de que o espaço geográfico está vinculado a um contexto socioeconômico, nos quais as distâncias entre eles demandam custos de transportes, que, por

sua vez, geram forças que podem aglomerar grandezas, no caso de baixos custos de deslocamentos, ou forças que dificultam as interações, quando tratar-se de custos elevados de deslocamento. Desta forma, a analogia com a Lei da Gravitação pode ser escrita da seguinte forma:

$$T_{ij} = k \cdot \frac{O_i \cdot D_j}{C_{ij}^\beta} \quad (2)$$

Onde T_{ij} é o número de viagens entre os pares de Origem e Destino O_i e D_j que estão separadas a uma distância (custo de transporte) C_{ij} , e k é uma constante. Pode-se observar que as massas foram substituídas pelo número de viagens geradas pela origem O_i e número de viagens com destino a D_j , e a distância entre estes dois pontos pode ser geométrica adicionada de fatores associados aos custos para transpor a distância (impedância). O quadrado da impedância foi substituído por β , pois trata-se de uma constante de calibração. A equação pode ser reescrita e linearizada, conforme a seguir:

$$T_{ij} = k \cdot O_i \cdot D_j \cdot C_{ij}^{-\beta} \quad (3)$$

$$T_{ij} = \ln k + \ln O_i + \ln D_j - \beta \ln c_{ij} \quad (4)$$

Os parâmetros k e β podem ser obtidos com regressão linear, mas a equação deve atender as Equações de Consistência, nas quais os somatórios das linhas e colunas da matriz de viagens são iguais ao total de viagens geradas e atraídas, respectivamente, o que gera a consistência de fluxo. Para isso, inserem-se os fatores de balanceamento A_i e B_j . Além destes, WILSON (1967, apud BEZ, 2000) introduziu a restrição com relação ao custo generalizado, no qual o custo total do sistema (C) é o somatório dos custos entre as origens e destinos multiplicados pelo número de viagens. Assim, temos que:

$$T_{ij} = A_i \cdot B_j \cdot O_i \cdot D_j \cdot f(c_{ij}) \quad (5)$$

Onde:

$$A_i = \left[\sum_j B_j \cdot D_j \cdot f(c_{ij}) \right]^{-1} \quad (6)$$

$$B_j = \left[\sum_i A_i \cdot O_i \cdot f(c_{ij}) \right]^{-1} \quad (7)$$

E o custo pode ser determinado pela percepção linear, geralmente utilizado onde as distâncias são menores:

$$f(c_{ij}) = e^{-\beta c_{ij}} \quad (8)$$

Ou pela percepção logarítmica, geralmente utilizada onde as distâncias são maiores:

$$f(c_{ij}) = e^{-\beta \cdot \ln c_{ij}} \quad (9)$$

Para o tráfego gerado, Valente (2017) apresenta a seguinte equação:

$$T_{ij} = k \cdot \frac{(P_i \cdot P_j)^\alpha}{C_{ij}^\beta} \quad (10)$$

Observa-se a analogia com a Lei Gravitacional já apresentada, bem como com as deduções subsequentes aplicadas a modelagem de tráfego, porém com introdução do α , que, juntamente

com β e k formam as constantes de ajustamento da equação. T_{ij} é o número de viagens entre os centros i e j , e c_{ij} é o custo da viagem entre i e j . Ao derivar o número de viagens em relação aos custos tem-se:

$$T_{ij} = k \cdot (P_i \cdot P_j)^\alpha \cdot C_{ij}^{-\beta} \quad (11)$$

$$\frac{dT_{ij}}{dC_{ij}} = k \cdot (P_i \cdot P_j)^\alpha \cdot [C_{ij}^{-\beta-1} * (-\beta)] \quad (12)$$

$$\frac{dT_{ij}}{dC_{ij}} = -\beta \cdot k \cdot (P_i \cdot P_j)^\alpha \cdot C_{ij}^{-\beta} \cdot C_{ij}^{-1} \quad (13)$$

$$\frac{dT_{ij}}{dC_{ij}} = -\beta \cdot T_{ij} \cdot C_{ij}^{-1} \quad (14)$$

A elasticidade (ε) é um conceito econômico que mede a variação percentual na quantidade demandada de um bem dado uma variação percentual no preço deste bem. Aplicado ao transporte, podemos realizar a analogia com o custo de transportes C_{ij} associado ao tráfego T_{ij} (demanda). Assim, pela definição de demanda, tem-se:

$$\varepsilon = \frac{\frac{\Delta T_{ij}}{T_{ij}}}{\frac{\Delta C_{ij}}{C_{ij}}} \quad (15)$$

$$\varepsilon = \frac{C_{ij}}{T_{ij}} \cdot \frac{\Delta T_{ij}}{\Delta C_{ij}} \quad (16)$$

Para o limite do custo tendendo a zero:

$$\varepsilon = \frac{C_{ij}}{T_{ij}} \cdot \frac{dT_{ij}}{dC_{ij}} \quad (17)$$

$$\varepsilon = \frac{C_{ij}}{T_{ij}} \cdot -\beta \cdot \frac{T_{ij}}{C_{ij}} \quad (18)$$

$$\varepsilon = -\beta \quad (19)$$

Ou seja, o coeficiente $-\beta$ pode ser entendido como a demanda ε , quando as variações de custos forem pequenas. Com isso, a equação do tráfego gerado, nessas condições, pode ser tida como:

$$\Delta T_{ij} = -\beta * T_{ij} * \frac{\Delta C_{ij}}{C_{ij}} \quad (20)$$

3. ESTUDO DE CASO

Para a análise do tráfego gerado, foi escolhido como objeto de intervenção os estudos de tráfego da rodovia BR-330/BA, elaboradas no âmbito do Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) para adequação e melhoramento da capacidade viária, desenvolvido pelo DNIT.

Os estudos de tráfego foram elaborados com o apoio do *software* VISUM para modelagem da alocação do tráfego na rede viária. O modelo construído foi utilizado como base para a avaliação do tráfego gerado. Nos itens seguintes, são descritas as principais características da rodovia e das intervenções avaliadas e a metodologia utilizada para a determinação da elasticidade da demanda de transportes e para a determinação e análise do tráfego gerado no trecho estudado.

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA RODOVIA ESTUDADA

A BR-330 é uma rodovia diagonal brasileira que passa pelos estados da Bahia, Maranhão e Piauí. Segundo o Sistema Nacional de Viação – SNV, o trecho estudado entre os municípios de Seabra e Jequié, ambos no estado da Bahia, possui 336,0 km de extensão. A maior parte do trecho é composta por segmentos planejados ou assentados em leito natural. Os segmentos pavimentados são coincidentes, principalmente, com as rodovias estaduais BA-026 e BA-130 (DNIT, 2017).

Por se tratar de um trecho essencialmente planejado, o EVTEA da BR-330 prevê a incorporação das rodovias estaduais BA-142, BA-148, BA-245 e BA-407 à malha rodoviária federal, além dos segmentos já coincidentes da BA-026 e BA-130. Nesses trechos são consideradas melhorias no traçado existente, tais como revitalização de pavimento, alargamento de acostamentos e obras de arte especiais, adequações de raios e interseções e implantação de faixas adicionais. É o caso dos segmentos homogêneos 02D-E, 04A-D, 06C-G, 07B-C). Também são previstas a implantação de segmentos não existentes, tais como 02F-H, 03, 04E-I, 06A-B, 07. Na Figura 1 é apresentado um recorte do modelo usado para o estudo de tráfego do EVTEA com a identificação da segmentação proposta para os estudos de tráfego.

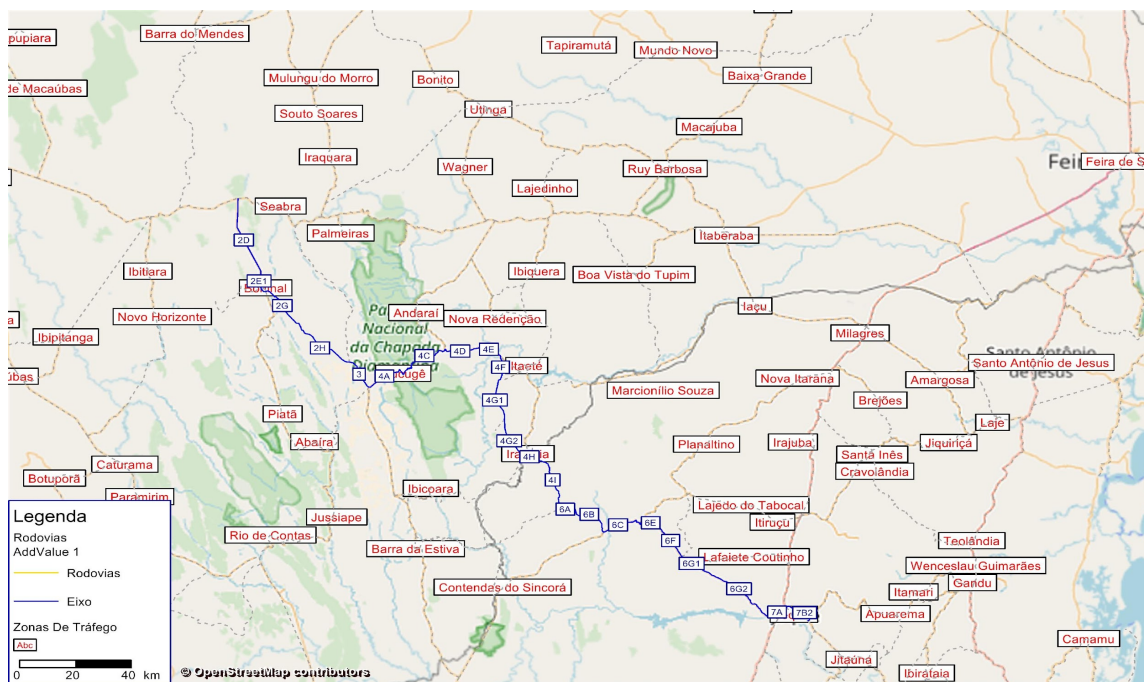


Figura 1: Recorte do Modelo de Tráfego da BR-330/BA

Fonte: Elaboração própria

3.2. METODOLOGIA DE ANÁLISE

A primeira etapa para aplicação do Modelo Gravitacional para a distribuição das viagens no trecho avaliado consistiu na identificação das zonas de tráfego. Cada zona é uma simplificação da distribuição de viagens de uma determinada região por meio de um ponto geográfico, também conhecido como centroide, por onde as viagens geradas ou atraídas se concentram. A divisão da área estudada em zonas de tráfego tem por finalidade agrupar os dados das viagens para simplificar o processo de tratamento, distribuição e alocação do tráfego (DNIT, 2006).

De acordo com o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (DNIT, 2006), a delimitação das zonas de tráfego foi feita por aproximações sucessivas em áreas anelares. Os principais polos de geração e atração de viagens, aqueles diretamente interceptados ou com ligações diretas ao eixo estudado da BR-330/BA, formaram a primeira área anelar. Denominada de Área de Influência Direta (AID), essas zonas foram selecionadas a nível de sedes municipais. Constituem a AID 13 municípios: Andaraí, Ibicoara, Iramaia, Itaeté, Jequié, Lafaiete Coutinho, Lajedo do Tabocal, Maracás, Mucugê, Palmeiras e Seabra, todos no estado da Bahia.

As zonas de tráfego no entorno da AID, formam a Área de Influência Indireta (AII). O primeiro nível da AII, formado também por importantes polos de atração e geração de viagens, foram agrupados no nível de municípios. A medida que as zonas de tráfego se afastavam da área de influência direta, elas foram agrupadas em microrregiões, mesorregiões e estados.

Em síntese, além dos 13 centroides da AID, compõem a AII, 113 centroides a nível municipal, todos localizados no estado da Bahia. O agrupamento de microrregiões é formado por 34 centroides nos estados de Bahia e Minas Gerais. A nível de mesorregiões, são 30 centroides e 19 centroides a nível estadual, abrangendo as demais regiões brasileiras. O arquivo georeferenciados com os centroides das zonas de tráfego serviu como dado de entrada para a construção do modelo de tráfego.

Posteriormente, procedeu-se com a identificação de pesquisas de tráfego para distribuição de viagens dentro da área de influência. Para tanto, foram utilizados os dados da Pesquisa Nacional de Tráfego (PNT).

Realizada no ano de 2011, por meio de uma parceria entre o Ministério dos Transportes e o Exército Brasileiro, a pesquisa foi realizada em 120 postos de contagem instalados em trechos das rodovias federais, abrangendo 24 estados em localizados em todas as regiões do Brasil. Na ocasião foram realizadas pesquisas de contagem volumétrica e classificatória (CVC) e pesquisas de origem e destino (OD). Esta coleta de dados foi um insumo fundamental para a conclusão dos estudos da versão 2011 do Plano Nacional de Logística e Transportes – PNLT (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2014).

A escolha por essa fonte de dados, se deu, sobretudo, pela abrangência da pesquisa, que engloba quase todos os estados brasileiros e principais rodovias federais. Dessa forma, dispõe-se de uma base de dados única, que possibilita a aplicação da metodologia descrita neste estudo de caso para demais estudos de tráfego em outras regiões para quantificação do tráfego gerado.

Os postos de pesquisas utilizados no estudo de caso foram selecionados de acordo com a proximidade com a rodovia estudada, pois julgou-se serem os mais representativos para captação de viagens com origens e destinos a área de influência. Dentre os postos de pesquisa localizados na Bahia, foram selecionados o posto P7, P9 e P10, localizados no km 503 da BR-101, km 789 da BR-116 e km 334 da BR-242.

Na sequência, procedeu-se para cada posto selecionado com a expansão das pesquisas de origem e destino. Foram utilizados os coeficientes obtidos dos resultados das contagens volumétricas e classificatórias realizadas paralelamente a execução das pesquisas OD em cada posto. Os resultados foram agrupados em uma única matriz de origem e destino.

Como as entrevistas de OD foram registradas por município, foi necessário proceder com o agrupamento dos resultados de acordo o zoneamento de tráfego. Nessa etapa do estudo, também foram eliminadas as viagens com origem e destino dentro de uma mesma zona de tráfego, que representam o tráfego local, não configurando o objeto do estudo de tráfego, nem do presente estudo de caso, que é avaliar o tráfego de longa distância. O tratamento dos dados resultou em uma matriz constituída por 1.248 pares de origem e destino e 9.568 viagens, distribuídas em veículos leves, veículos de carga e ônibus.

Após o tratamento dos dados, foi possível obter o número total de viagens entre as zonas de tráfego consideradas e o número total de viagens geradas e atraídas por zonas de tráfego, correspondendo, respectivamente, às variáveis T_{ij} , O_i e D_j , do modelo gravitacional de distribuição de viagens, representado pela Equação 2.

Ainda de acordo com essa equação, a última variável a ser obtida foi a distância entre as zonas de tráfego (C_{ij}). Para estimar tal valor, recorreu-se ao recurso do VISUM de matriz *skim*. Esse tipo de matriz descreve diversas propriedades de um modelo de tráfego para uma zona de origem i e para uma zona de destino j , como, por exemplo, impedâncias e tempos de viagem. Neste caso, a propriedade utilizada foi a distância entre os centroides, resultando no menor caminho entre os pontos dentro da malha que compõem a rede. Para construção da rede viária o software foi alimentado com os arquivos *shapes* georreferenciados e propriedades da malha rodoviária federal e das principais rodovias estaduais.

De posse dos dados de distribuição das viagens e as respectivas distâncias entre as zonas de tráfego, foi possível calcular as constantes k , α , β da Equação 2. Recorreu-se a linearização da Equação 10 com aplicação de logaritmos. Dessa forma, aplicou-se ao método regressão linear dos mínimos quadrados para obtenção dos valores das constantes. Esse procedimento foi aplicado para cada tipo de veículo divididos em leves, ônibus e de carga. Essa divisão seguiu o realizado no estudo *ex post* (DER-SC, 1989), utilizado como referência para comparação dos dados. Os dados obtidos são apresentados na seção seguinte.

Os valores de elasticidade encontrados foram aplicados à Equação 20 para quantificação do tráfego gerado. Recorreu-se ao modelo de tráfego para obtenção das demais variáveis. Fez-se uso do recurso de matriz *skim* do VISUM para a estimativa dos tempos de viagem entre as zonas de tráfego para os cenários situação existente e com projeto (implantação das intervenções estudadas). A diferença entre os tempos de viagens foi multiplicada pela matriz OD utilizada para o carregamento da rede.

A matriz OD do tráfego gerado foi carregada no modelo de tráfego obtendo-se os volumes do tráfego gerado para cada segmento homogêneo estudado da BR-330/BA. Por fim, esses valores foram acrescidos as parcelas normal e desviado do tráfego, obtendo-se o volume total do estudo.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos foram comparados da seguinte forma: para a situação com projeto sem a consideração da parcela do tráfego gerado; e para a situação com projeto e considerando o tráfego gerado estimado através das elasticidades obtidas no estudo *ex post* (DER-SC, 1989).

As regressões realizadas para correlacionar a distribuição de viagens das pesquisas de origem e destino com o Modelo Gravitacional resultaram nos constantes apresentadas na **Tabela 1** a seguir para cada tipo de veículo considerado, leves, cargas e ônibus.

Tabela 1: Constantes Modelo Gravitacional

Tipo Veículo	Constantes Obtidas			
	k	α	β	r ²
Veículos Leves	0,277	0,365	0,083	0,408
Veículos Pesados	0,289	0,365	0,090	0,409
Ônibus	0,658	0,358	0,099	0,538

Fonte: Elaboração própria

A partir dos resultados das regressões, foram obtidas as seguintes elasticidades por tipo de viagem.

- Veículos leves: $\varepsilon = -0,083$;
- Veículos pesados: $\varepsilon = -0,090$;
- Ônibus: $\varepsilon = -0,099$.

Os coeficientes de determinação (r²) resultante das regressões ficaram em 0,408, 0,409 e 0,538, respectivamente, para veículos leves, veículos pesados e ônibus.

Os valores de elasticidade encontrados mostraram-se inferiores aos obtidos no estudo *ex post* para rodovias alimentadores de Santa Catarina. A saber as elasticidades encontradas neste estudo foram (DER-SC, 1989):

- Veículos leves: $\varepsilon = -0,888$;
- Veículos pesados: $\varepsilon = -0,600$;
- Ônibus: $\varepsilon = -0,326$.

A diferença mais significativa ocorreu para a classe de veículos leves, a qual observou-se uma variação de quase 90% entre as elasticidades. Para as classes de veículos pesados e ônibus, verificou-se uma diferença de 85% e 70%, respectivamente.

Apesar das divergências verificadas entre as elasticidades, os resultados mostraram-se muito próximos ao limite inferior do intervalo encontrado na literatura. No levantamento realizado por Cervero (2002), foram identificados 13 estudos com o emprego de diversas metodologias

para estimativa da demanda gerada de tráfego. Os valores encontrados situavam-se dentro do intervalo de 0,10 a 1,00.

Portanto, nessa etapa do estudo, as elasticidades estimadas foram consideradas válidas para o prosseguimento do estudo de caso e, na sequência, os volumes do tráfego gerado foram calculados para a situação com projeto.

O tráfego gerado encontrado entre os segmentos 2C ao 2H, 3, 4A e 4B obtiveram os maiores volumes. Esses segmentos são coincidentes com o trecho a ser pavimentado entre os municípios de Boninal e Mucugê. Portanto, reduções significativas nos tempos de viagem entre as zonas de tráfego adjacentes são esperadas, estando diretamente associado ao tráfego gerado na região.

O volume do tráfego gerado nesses segmentos variou entre 14 e 16 veículos por dia (vpd). Com exceção dos segmentos 2D e 2E, o volume era composto predominantemente por veículos leves. Nos demais segmentos, a parcela do volume relativa ao tráfego gerado permaneceu entre 2 a 9 vpd, quase que na sua maioria formada por veículos leves.

A parcela do tráfego gerado calculada mostrou-se bem inferior aos volumes estimados no estudo *ex post*. De modo geral, os volumes por segmento homogêneo ficaram entre 8 a 11% dos valores de referência.

Em média, o tráfego gerado correspondeu a 0,9% da parcela normal e desviada, atingindo o valor de máximo de 2,4%, próximo a região entre Boninal e Mucugê. Já na situação de tráfego gerado através da elasticidade estimada no estudo *ex post*, o tráfego gerado foi, em média, 10,5% do tráfego normal e desviado, obtendo o seu máximo valor de 26,6%.

Embora os valores estimados para elasticidade tenham respaldo dentro dos limites conhecidos pela literatura, avaliou-se que o percentual do tráfego gerado sobre o volume total do tráfego ficou aquém das expectativas. Ao tráfego gerado, são esperadas taxas de crescimento de 5% a 25% do tráfego total (CAL Y MAYOR e CÁRDENAS, 2007). Dessa forma, era previsto que o percentual do tráfego gerado ficasse próximo ao limite superior, principalmente pelas reduções nos tempos de viagem em das intervenções propostas na BR-330/BA, sobretudo a implantação de novos segmentos, o que resultou na redução de tempos de viagens.

5. CONCLUSÃO

Os resultados das elasticidades encontrados mostraram-se entre 70% e 90% inferiores aos obtidos no estudo *ex post*. O tráfego gerado obtido a partir da elasticidade calculada no estudo de caso correspondeu, em média, a 0,9% do tráfego total nos segmentos avaliados. Em contrapartida, o tráfego gerado estimado a partir dos valores de referência foi em média 10,5%, chegando a 26,6% em alguns segmentos.

Esperava-se que a aplicação da regressão dos dados da pesquisa do PNT possibilitasse a caracterização da demanda de viagens em função das distâncias viajadas para diversas regiões e contextos socioeconômicos brasileiros. Todavia, os resultados encontrados não se mostraram tão claros quanto a aplicabilidade da metodologia proposta.

Diante dos dados encontrados, foram levantados alguns aspectos da metodologia utilizada, que, potencialmente, podem ter interferido nos resultados da regressão. O primeiro aspecto levado em consideração diz respeito ao número de postos de pesquisa utilizados para a regressão do Modelo Gravitacional. Para a realização do estudo de caso foram selecionados três postos próximos a área estudada. Acredita-se que a quantidade de pares e viagens captadas por essas pesquisas não tenham sido suficientes para representação da distribuição de viagens na região de interesse, impactando negativamente na qualidade da regressão, evidenciado pelos valores de r^2 próximos de 0,50.

Sugere-se, então, a análise da distribuição de viagens a partir de uma área mais abrangente do que a dos postos de pesquisa considerados. Nesse intuito, podem ser utilizados postos de pesquisa do PNT dentro dos limites estaduais ou dentro regiões mais amplas para a regressão do Modelo Gravitacional. Na Avaliação Ex Post, por exemplo, foram realizadas pesquisas de OD em 19 postos dentro do estado.

Possivelmente, a distribuição das viagens de zonas de tráfego pode ter interferido nos resultados da regressão, embora sua aplicação seja recomendada para estudos de tráfego. Distorções quanto às distâncias viajadas e distribuições de viagens dentro de uma zona de tráfego compostas por um grande número de polos de atração e geração de viagens podem ter ocorrido. Mesmo essas zonas tendo uma relevância menor no total de viagens, deve-se avaliar a suas implicações na regressão do Modelo Gravitacional.

Como pôde-se verificar ao longo deste trabalho, o tráfego gerado é responsável por uma parcela significativa no volume total de tráfego, o que reforça a sua relevância para o planejamento e gestão das rodovias federais. Evidenciou-se também que variações na elasticidade da demanda podem levar a sensíveis mudanças nos volumes de tráfego gerado. Portanto, é de grande importância a utilização de valores de elasticidade atuais e condizentes com o contexto socioeconômico avaliado.

Portanto, recomenda-se que sejam avaliadas as premissas questionadas na metodologia aplicada que possam ter influenciado negativamente os resultados obtidos. Espera-se que dessa forma seja possível validar o uso do método para futuros estudos de tráfego.

REFERÊNCIAS

- BEZ, E. T. (2000) *Um Estudo sobre os Métodos de Calibração de Alguns Modelos de Distribuição de Viagens*. Florianópolis: UFSC.
- CAL Y MAYOR R. R.; CÁRDENAS J. G. (2007) *Ingeniería de Tránsito - Fundamentos y aplicaciones*. 8a edición. Cidade do México. México.
- CERVERO, R. (2002) Induced Travel Demand: Research Design, Empirical Evidence, and Normative Policies. *Journal of Planning Literature - J PLAN LIT*. 17. P. 3-20.
- DEPARTMENT OF TRANSPORT. (1994) *Trunk roads and the generation of traffic*. The Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment. London: HMSO.
- DER-SC – Departamento de Estradas e Rodagem do Estado de Santa Catarina. (1989) *Avaliação Ex Post – Projeto: Estadas Alimentadoras*. [S.I.].
- DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT. (2006) *Publicação IPR-726 – Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – Escopos Básicos/Instruções de Serviço*. 3ª Edição. Rio de Janeiro.
- DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. (2013) *Sistema Nacional de Viação. Versão 201706A*. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/sistema-nacional-de-viacao>>. Acesso em: 25 nov 2017.

- HE, N.; ZHAO, S. (2013) Discussion of Basic Elasticity Models Applied to Induced Traffic in China. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.10.
- LANA, B. C.; SOUZA, A. A. (2014) *Análise do fluxo de veículos e do cronograma de investimentos em concessões rodoviárias*. Belo Horizonte: UFMG.
- LEE, D., KLEIN, L., CAMUS, G., (1999) *Induced traffic and induced demand*. *Transportation Research*
- LIMA, M. L. P. (1993) *Utilização de Modelos Gravitacionais Entrópicos de Distribuição de Viagens como uma Generalização do Problema de Transportes da Programação Linear*. Florianópolis: UFSC.
- MACKIE, P.; N., J.; LAIRD, J. (2005) *Treatment of induced traffic*. Transport Notes series; no. TRN 11. Washington, DC: World Bank.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (2014) *Pesquisa Nacional de Tráfego – PNT*. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/conteudo/1452-pesquisa-nacional-de-trafego-pnt.html>>. Acesso em: 19 nov 2017.
- Record 1659, 68–75.*
- VALENTE, A. 2017. *Sistemas de Transporte – Notas de Aula*. Florianópolis: UFSC.
- ZHAO S., HE N. (2011) Elasticity-based Model Applies in the Forecasting of Highway Induced Traffic. *J Transpn Sys Eng & IT*, 2011, 11(3), 1-7.

Felipe do Amaral Costa (felipeamaralcosta@gmail.com)
Anderson Rosniecek (anderson7897@hotmail.com)
Marília Macêdo de Melo (mariliamacedomelo@gmail.com)
Sidney Boaretto da Silva (sidney.silva@dnit.gov.br)
Paulo Cesar Marques da Silva (paulocmsilva@gmail.com)
Anexo SG-12, 1º andar, Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro - Asa Norte, Brasília, DF, Brasil.