

UMA ANÁLISE DE DESEMPENHO ENTRE MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE VIAGENS BASEADOS EM OPORTUNIDADES INTERVENIENTES

Bruno Morais Lemos

Universidade de Vassouras

Programa de Engenharia de Transportes – PET/COPPE/UFRJ

César Alfonso Parada Sánchez

Marcelino Aurélio Vieira da Silva

Programa de Engenharia de Transportes – PET/COPPE/UFRJ

RESUMO

Este artigo propõe dois modelos de distribuição de viagens baseados em oportunidades intervenientes e para validar a proposta, os modelos têm seu desempenho comparado a outros dois modelos consagrados na literatura. O trabalho também realiza uma análise quanto à forma de se determinar as oportunidades intervenientes, sendo utilizado além da clássica figura geométrica círculo, uma elipse para se determinar as referidas oportunidades a serem consideradas para aplicação nos modelos analisados. Para a realização da pesquisa foram utilizados dados da cidade do Rio de Janeiro, donde obtêm-se a matriz OD observada, os tempos de viagem e as oportunidades intervenientes. Dentre os modelos avaliados neste trabalho, observa-se um melhor resultado em um dos modelos propostos, apresentando um Índice de Dissimilaridade igual a 26,82 e R^2 igual a 0,8500.

ABSTRACT

This paper proposes two models of travel distribution based on intervening opportunities and in order to validate the proposal, the two models have their performance compared to other two models in the literature. The work also performs an analysis on the method to determine the intervening opportunities, being used in addition to the classic geometric shape of the circle, an ellipse to determine those opportunities to be considered for application in the analyzed models. To carry out the research, data from the city of Rio de Janeiro was used, from where the OD matrix observed, travel times and intervening opportunities was obtained. Among the models evaluated in this study, better results are observed in one of the proposed models, presenting a Dissimilarity Index equal to 26.82 and R^2 equal to 0.8500.

1. INTRODUÇÃO

O papel das cidades na distribuição de bens e serviços acentuou-se com o capitalismo, sendo possível verificar a partir deste fato uma integração gradativa das cidades, originando redes de distribuição de bens e serviços (Corrêa, 1989). Essas redes de distribuição acabam por gerar demandas por viagens, que quando realizadas sem uma estrutura de planejamento, podem gerar efeitos colaterais como aumento no trânsito, poluição e tempos de viagem.

Os modelos de distribuição de viagens são ferramentas fundamentais nos processos de planejamento de sistemas de transporte urbanos e interurbanos. Eles são usados para estimar as matrizes de viagem que representam a distribuição de viagens do sistema da rede de transporte, a fim de apoiar na determinação dos níveis de demanda da rota e níveis de serviço (De Grange, *et al.*, 2011). Esses modelos, portanto, são importantes para a previsão de deslocamentos das populações, mas também para fins explicativos, a fim de melhorar os mecanismos de entendimento da viagem (Lenormand, *et al.*, 2016), como utilizados nos modelos entrópicos e gravitacionais.

Dentre tais modelos de predição de viagens, estão os já conhecidos modelos de distribuição agregada de viagens, tais como: fator de crescimento, Fratar, gravitacional, oportunidades intervenientes e gravitacional de oportunidades intervenientes (Ortúzar e Willumsen, 2011).

Este trabalho trata o problema da distribuição de viagens utilizando modelos baseados em oportunidades intervenientes. Observada a importância destes modelos, torna-se fundamental

tratar tais questões, buscando uma melhora na precisão das matrizes estimadas por estes modelos por meio do aperfeiçoamento dos mesmos, bem como realizando um estudo com a pretensão de buscar uma melhor forma para se determinar as oportunidades intervenientes.

Levando em conta o problema da distribuição de viagens, este artigo tem como objetivo apresentar e analisar duas propostas de modelos de distribuição de viagens. A primeira proposta trata-se de uma extensão do modelo gravitacional de oportunidades elaborado por Gonçalves (1992) e a segunda proposta está baseada em uma forma de calibração baseada nos tempos de viagem entre zonas de tráfego (Campos, 2013).

Como maneira de analisar modelos existentes e propostos, será feita uma avaliação da sensibilidade destes modelos no que tange à distribuição das viagens, além de uma análise dos resultados obtidos decorrentes da proposta na variação da forma geométrica utilizada para se determinar as oportunidades intervenientes.

Para se atingir o objetivo apresentado e por sua vez considerar a pertinência de usar os modelos propostos como forma de determinar oportunidades intervenientes, os resultados obtidos foram contrastados com os modelos clássicos de predição.

Os modelos testados foram: Oportunidades intervenientes (Schneider, 1959); Gravitacional de oportunidades (Gonçalves, 1992); Modelo modificado de oportunidades (primeiro modelo proposto) e Modelo modificado de oportunidades com base nos tempos de viagem (segundo modelo proposto).

Este trabalho está estruturado nesta introdução e outras quatro seções. Na seção 2 é realizada uma breve revisão de literatura sobre modelos de distribuição de viagem. A seção 3 apresenta os dados utilizados, duas diferentes maneiras para definição das oportunidades intervenientes e os dois modelos propostos. A seção 4 faz uma análise dos resultados, comparando o desempenho dos modelos utilizados. Uma análise é feita agrupando os resultados por cada forma de definição das oportunidades intervenientes e outra análise é feita realizando uma comparação entre todos os modelos de distribuição de viagens utilizados. Por fim, na seção 5, são feitas as considerações finais, analisando os resultados encontrados e são apresentadas as possibilidades de trabalhos futuros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Provavelmente o primeiro uso de um modelo gravitacional foi feito por Casey em meados dos anos de 1955, que sugeriu tal abordagem para sintetizar viagens de compras e áreas de captação entre cidades na região (Ortúzar e Willumsen, 2011).

Os modelos de distribuição de viagens baseados em oportunidades intervenientes têm seu início com a proposta de Samuel Stouffer, que considera que o número de pessoas indo em uma dada distância é diretamente proporcional ao aumento percentual de oportunidades nesta distância (Stouffer, 1940).

Em meados de 1950 Stouffer reformulou sua teoria de oportunidades intervenientes, testando o modelo revisado com dados do censo de 1940, utilizando para isso 116 fluxos de migração em grandes cidades dos EUA (Stouffer, 1960).

Ao final da década de 1950 Schneider (1959) faz uma revisão teórica sobre distribuição de viagens, contemplando o modelo gravitacional e a teoria de Stouffer. O modelo reformulado por Schneider (1959) é apresentado na Equação 1 e será denominado neste trabalho como Modelo original de oportunidades intervenientes (MOO).

$$P[i/j] = k_i e^{-\lambda w_{ij}} (1 - e^{-\lambda S_j}) , \quad (1)$$

em que:

$P[i/j]$ é a probabilidade de uma viagem que se origina em i , terminar na zona j ;
 k_i é o fator de balanceamento;
 λ é a constante de probabilidade de uma oportunidade ser aceita em um destino;
 w_{ij} é o número de oportunidades que se interpõem entre as zonas i e j ;
 S_j é o número de oportunidades na zona j .

Com o intuito de considerar tanto a impedância quanto as oportunidades intervenientes Gonçalves (1992) desenvolve e testa por meio de uma pesquisa de passageiros de ônibus realizada em oitenta e dois municípios de Santa Catarina-Brasil, um modelo integrado que chama de gravitacional de oportunidades.

O modelo desenvolvido por Gonçalves (1992) é apresentado na Equação 2.

$$T_{ij} = A_i O_i B_j D_j e^{-\beta c_{ij} - \lambda w_{ij}} , \quad (2)$$

em que:

A_i e B_j são denominados fatores de balanceamento e dados pelas Equações 3 e 4.

$$A_i = \left[\sum_j B_j D_j (e^{-\beta c_{ij} - \lambda w_{ij}}) \right]^{-1} \quad (3) \quad B_j = \left[\sum_i A_i O_i (e^{-\beta c_{ij} - \lambda w_{ij}}) \right]^{-1} \quad (4)$$

T_{ij} é o total de viagens entre a zona de origem i e a zona de destino j ;
 O_i é o total de viagens produzidas na origem;
 D_j é o total de viagens atraídas no destino;
 β e λ são parâmetros de impedância;
 c_{ij} é o custo entre i e j , denotado pelo tempo de viagem;
 w_{ij} são as oportunidades intervenientes entre a zona de origem i e de destino j .

Silva e D'Agosto (2013) formulam um modelo de distribuição de viagens (Equação 5), baseado no modelo gravitacional restrito, para estimar a matriz OD do fluxo de exportação de soja no Brasil. O modelo proposto pelos autores, mostra-se promissor apresentado como resultado de sua predição um coeficiente de determinação (R^2) acima de 90%.

Neste modelo (Equação 5) os autores utilizam uma extensão do modelo gravitacional restrito, inserindo expoentes nas variáveis de atração e produção. Com esta proposta espera-se que ao se linearizar a equação, obtenha-se uma melhor performance dos fluxos estimados. Para verificar a precisão do modelo proposto, os autores utilizaram como medida o coeficiente de determinação (R^2) e ao compararem os valores estimados com os valores observados,

verificaram uma melhor performance para os dados quando se apresentam em escala logarítmica.

$$T_{ij} = \alpha \cdot \frac{P_i^\beta A_j^\gamma}{d_{ij}^\delta} \quad (5)$$

em que P_i é a produção da mesorregião i (toneladas/ano);
 A_j é a atração do porto j (toneladas/ano);
 d_{ij} é a distância entre a centroide da mesorregião i e do porto j (km);
 α , β , γ e δ são parâmetros a serem determinados pelo método dos mínimos quadrados.

Apesar da proposta de Silva e D'Agosto (2013) tratar-se de um modelo gravitacional aplicado ao transporte de cargas, torna-se importante sua referência, pois como será apresentado na seção 3.3 deste artigo, a essência da proposta apresentada pelos autores (Equação 5) é utilizada como ponto de partida para o primeiro modelo proposto por este artigo. Esta proposta centra-se no fato que uso da Equação 5, permite maior flexibilidade e capacidade de explicar a variabilidade dos dados, pois considera dois novos parâmetros nos expoentes de produção e atração.

Ainda é importante destacar que Silva e D'Agosto (2013), de acordo com sua revisão bibliográfica, optaram por utilizar a distância como impedância, entretanto esta pesquisa seguirá a orientação de Schneider (1959), onde destaca-se que a impedância não é necessariamente a distância geográfica entre origem e destino, podendo ser utilizado também o tempo de viagem.

3. MATERIAIS, DEFINIÇÃO DAS OPORTUNIDADES E MODELOS PROPOSTOS

3.1. Materiais

A pesquisa foi realizada baseada em informações de deslocamentos de pessoas no município do Rio de Janeiro e os dados utilizados para compor a matriz observada de viagens (T_{ij}^*) foram obtidos a partir do Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (PDTU) (PDTU-RMRJ, 2003). O PDTU realizado no ano de 2003 é um estudo criterioso e detalhado sobre o sistema de transporte urbano na Região Metropolitana do Rio de Janeiro-Brasil, elaborado pela Secretaria de Estado de Transportes (SETRANS). Neste trabalho, optou-se por agregar as viagens de acordo com as 33 regiões administrativas existentes na cidade do Rio de Janeiro, conforme mostra a Figura 1.

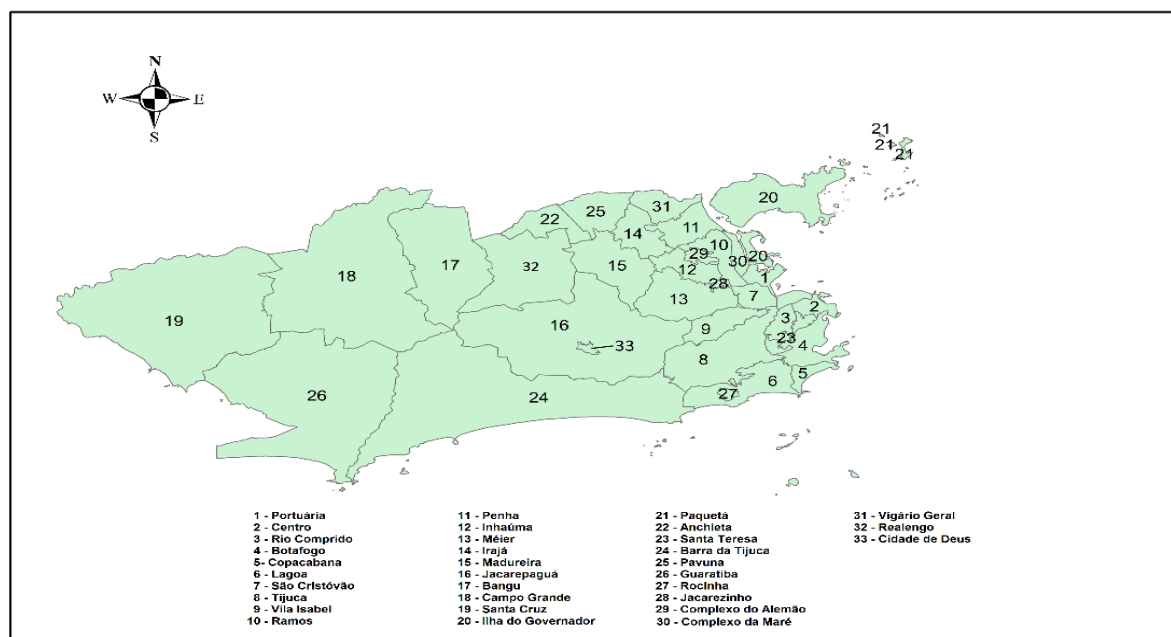


Figura 1: Cidade do Rio de Janeiro em regiões administrativas
Fonte: Autoria própria

Foram consideradas pessoas que se deslocavam da sua residência para o trabalho, no horário de 6h às 10h da manhã, totalizando 1.770.859 viagens. Essa divisão segue as recomendações de Wilson (1970), assim como outros pesquisadores que realizaram seus trabalhos baseados em dados de viagens com este propósito ou em horário de pico, conforme pode ser encontrado nos trabalhos de: Raphael (1998); Dickey e Hunter (1970); Okabe (1977); Rouwendal e Nijkamp (2004); Griffith (2009); De Vries *et al.* (2009); De Grange *et al.* (2011); Gargiulo *et al.* (2012); Simini *et al.* (2012); Masucci *et al.* (2013); Nazem *et al.* (2011, 2013, 2015) e Lenormand *et al.* (2014, 2016).

3.2. Definição das oportunidades intervenientes

Definir oportunidades intervenientes é provavelmente a parte mais difícil no desenvolvimento de aplicações práticas para as oportunidades ou modelos híbridos. Essas oportunidades além de estarem relacionadas com a separação espacial, também são influenciadas por aspectos de comportamento dos indivíduos. Uma maneira de incorporar esses aspectos nos modelos de oportunidades intervenientes e gravitacional de oportunidades é através de uma definição adequada dessas oportunidades (Almeida e Gonçalves, 2001).

As oportunidades intervenientes utilizadas nesta pesquisa foram obtidas a partir de dados disponibilizados pelo Instituto Pereira Passos (BDA RIO, 2010) e foram consideradas como oportunidades intervenientes número de empregos disponibilizados na região de estudo.

Para se definir as oportunidades intervenientes Stouffer (1940) propõe um procedimento conforme a seguir: (1) Conecta-se as duas cidades por uma linha reta; (2) Desenha-se um círculo com esta linha como diâmetro; (3) Contam-se as oportunidades dentro deste círculo.

Este trabalho adota o procedimento supracitado proposto por Stouffer (1940), diferenciando-se por não utilizar o diâmetro, mas o raio do círculo como distância entre a origem e o destino

(Figura 2). Justifica-se a opção de utilizar o raio, pois ao utilizar o diâmetro não se considera as oportunidades que estão próximas da origem, porém fora do círculo.

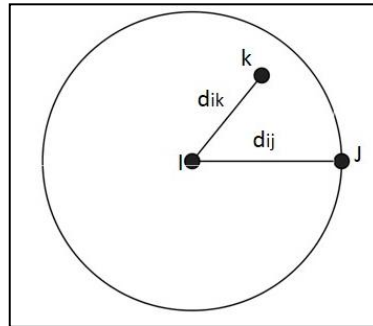


Figura 2: Figura geométrica círculo para definição das oportunidades
Fonte: Autoria própria

Torna-se oportuno explicitar a adaptação realizada por este trabalho do método proposto por Stouffer (1960), sendo utilizado nesta pesquisa também a figura geométrica da elipse para delimitar as oportunidades intervenientes (Figura 3).

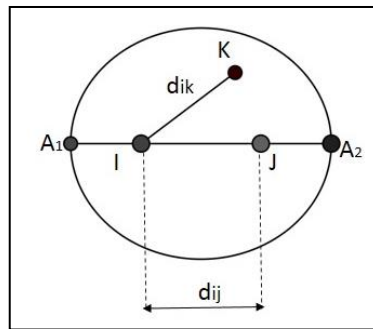


Figura 3: Figura geométrica elipse para definição das oportunidades
Fonte: Autoria própria

Ao utilizar o raio do círculo como distância entre origem e destino, considera-se as oportunidades intervenientes que estão a uma distância d_{ik} menor que d_{ij} em qualquer sentido a partir da origem i (Figura 2).

Ao utilizar a elipse, a origem i e destino j foram considerados os focos da elipse e k um ponto qualquer dentro da área delimitada pela referida figura geométrica (Figura 3).

3.3. Primeiro modelo proposto

Conforme mencionado na introdução deste trabalho, o primeiro modelo proposto trata-se de uma modificação modelo gravitacional de oportunidades apresentado por Gonçalves (1992) (Equação 2) e inspirado no princípio da proposta apresentada por Silva & D'Agosto (2013) (Equação 5). Este trabalho o denomina como Modelo modificado de oportunidades intervenientes (MMO).

Esta alteração é feita por meio da inserção de parâmetros nas variáveis de produção (O_i) e atração (D_j). A mudança proposta pode ser verificada na Equação 6.

$$T_{ij} = A_i O_i^\alpha B_j D_j^\theta e^{-\beta c_{ij} - \lambda w_{ij}} \quad (6)$$

Em que α e θ são parâmetros inseridos no modelo proposto, calibrados pelo método dos mínimos quadrados e as demais variáveis foram explicadas quando apresentada a Equação 2.

3.4. Segundo modelo proposto

O segundo modelo proposto por este trabalho trata-se de uma forma de calibração do MMO (Equação 6) e é baseado nos tempos de viagem entre zonas de tráfego para se definir o fator de fricção referente a estes tempos (Campos, 2013). Portanto, trata-se de uma variação do MMO e será denominado neste trabalho como Modelo modificado de oportunidades com base nos tempos de viagem (MMOT).

De acordo com Campos (2013), dada uma matriz de viagens atuais e uma matriz respectiva de tempos de viagem, utiliza-se o seguinte procedimento:

- i. Agrupa-se as zonas de tráfego segundo um conjunto de intervalos de tempo a partir das duas matrizes de dados atuais (número de viagens entre zonas de tráfego e tempo de viagem entre zonas). Onde T_k corresponde ao total de viagens realizadas dentro do intervalo de k minutos;
- ii. Arbitra-se um valor inicial para o fator de fricção $F_k^0 = 1,00$;
- iii. Calcula-se a distribuição com base nestes valores utilizando a Equação 7.

$$F_k^n = F_k^{n-1} \frac{T_k^0}{T_k^n} \quad (7)$$

em que k é número de intervalos de tempos considerados, tomando-se como base o valor zero e o maior tempo de viagem observado;

T_k^0 é o total de viagens observadas por intervalo k ;

T_k^n é o total de viagens calculadas por intervalo k na iteração $n-1$;

- iv. Prosseguem-se as iterações até que os valores calculados T_k^n sejam aproximadamente iguais aos valores observados.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Esta seção tem por objetivo apresentar e analisar o desempenho dos resultados obtidos por meio dos modelos de distribuição de viagens avaliados (Equações 1, 2, 6 e 7). Como faz parte da metodologia adotada utilizar duas formas geométricas (círculo e elipse) para determinar as oportunidades intervenientes, optou-se por apresentar os referidos resultados conforme subseções subsequentes (4.1 e 4.2), de acordo com a forma geométrica utilizada. Por fim, será realizada a comparação entre esses resultados.

Para se avaliar o desempenho dos modelos de distribuição de viagens abordados, este trabalho utilizará o Coeficiente de determinação (R^2) e Índice de Dissimilaridade (ID).

O ID é uma estatística que mede a porcentagem de viagens que necessitam ser realocadas entre os pares de origem-destino, no intuito que a matriz de viagem estimada coincida com a observada (Gonçalves, 1992).

4.1. Oportunidades definidas pelo círculo

Nesta seção serão apresentados os resultados das matrizes estimadas, utilizando as oportunidades intervenientes (empregos) delimitadas pela figura geométrica círculo.

A Tabela 1 apresenta os valores encontrados para os expoentes de cada modelo utilizado.

Tabela 1: Valores encontrados para os expoentes - círculo

Modelo / Expoente	λ	β	α	θ
MOO (Schneider, 1959)	$5,70265 \cdot 10^{-6}$	-	-	-
MGO (Gonçalves, 1992)	$-7,648 \cdot 10^{-7}$	-0,0131146068	-	-
MMO (modelo proposto 1)	$-1,1970 \cdot 10^{-6}$	-0,0146112164	0,7580253855	0,721603621

Os valores dos expoentes utilizados para o MMOT não são apresentados na Tabela 1 pois são os mesmos utilizados pelo MMO, evitando-se assim a redundância.

A Tabela 2 apresenta os resultados (ID e R²) que avaliam a capacidade de cada modelo explicar a matriz observada.

Tabela 2: Desempenho dos modelos - círculo

	MOO (Schneider, 1959)	MGO (Gonçalves, 1992)	MMO	MMOT
ID	30,29	35,30	32,28	27,22
R ²	0,7561	0,6033	0,7075	0,8316

Ao observar a Tabela 2, fica evidente que a aplicação do MGO apresentou o pior desempenho e que o MMOT (modelo proposto 2) apresenta o melhor desempenho. Ainda é importante registrar que o MMO (modelo proposto 1), apresenta um melhor desempenho que o MGO (Gonçalves, 1992).

A Figura 4 mostra o percentual de distribuição de viagens em relação ao tempo de viagem, para os quatro modelos de distribuição de viagens testados neste trabalho, comparando-os com as viagens observadas.

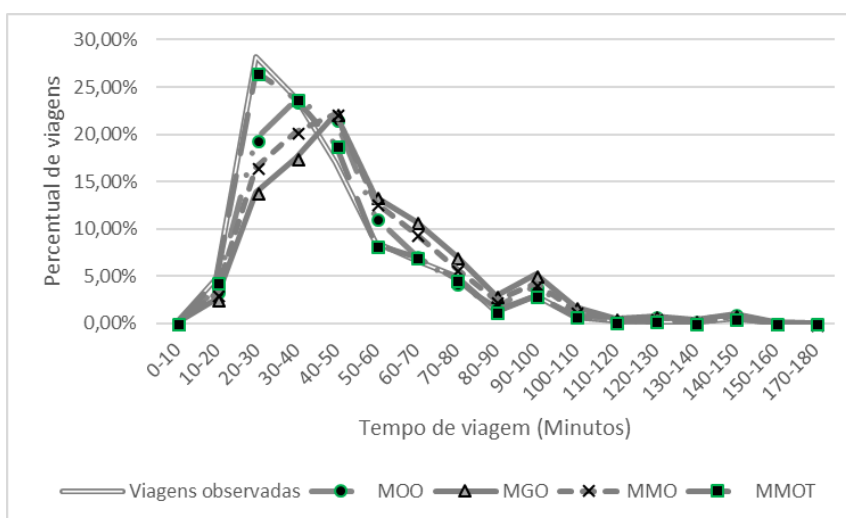


Figura 4: Comparação entre viagens estimadas x observadas - círculo

4.2. Oportunidades definidas pela elipse

Nesta seção serão apresentados os resultados das matrizes estimadas, utilizando as oportunidades intervenientes (empregos) delimitadas pela figura geométrica elipse.

A Tabela 3 apresenta os valores encontrados para os expoentes de cada modelo utilizado.

Tabela 3: Valores encontrados para os expoentes - elipse

Modelo / Expoente	λ	β	α	θ
MOO (Schneider, 1959)	$8,88670 \cdot 10^{-6}$	-	-	-
MGO (Gonçalves, 1992)	$-1,9438 \cdot 10^{-6}$	-0,0127029185	-	-
MMO (modelo proposto 1)	$-1,3674 \cdot 10^{-6}$	-0,0191869962	0,727795323	0,683407699

Os valores dos expoentes utilizados para o MMOT não são apresentados na Tabela 3 pois são os mesmos utilizados pelo MMO, evitando-se assim a redundância.

A Tabela 4 apresenta os resultados (ID e R²) que avaliam a capacidade de cada modelo explicar a matriz observada.

Tabela 4: Desempenho dos modelos - elipse

	MOO (Schneider, 1959)	MGO (Gonçalves, 1992)	MMO	MMOT
ID	38,25	36,61	34,45	26,82
R ²	0,4587	0,5508	0,6293	0,8500

Ao observar a Tabela 4, é possível notar que no caso da utilização da elipse para se determinar as oportunidades intervenientes, o MOO apresentou o pior desempenho. Entretanto, novamente o MMOT (modelo proposto 2) apresenta o melhor desempenho e repete-se o fato do MMO (modelo proposto 1), apresentar um melhor desempenho que o MGO (Gonçalves, 1992).

A Figura 5 mostra o percentual de distribuição de viagens em relação ao tempo de viagem, para os quatro modelos de distribuição de viagens testados neste trabalho, comparando-os com as viagens observadas.

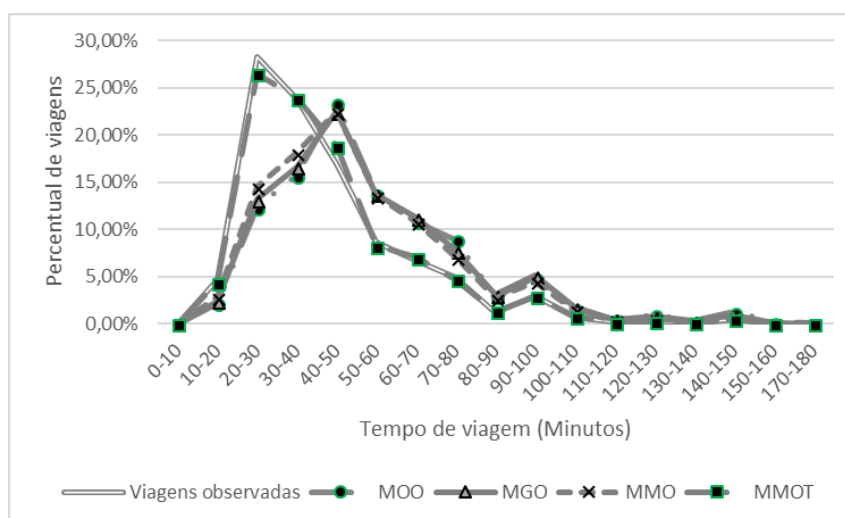


Figura 5: Comparação entre viagens estimadas x observadas - elipse

4.3. Comparação dos resultados

As Tabelas 2 e 4 apresentam os resultados (ID e R^2) dos modelos de distribuição de viagens analisados nesta pesquisa (MOO, MGO, MMO e MMOT). A Figura 6 resume graficamente estes resultados.

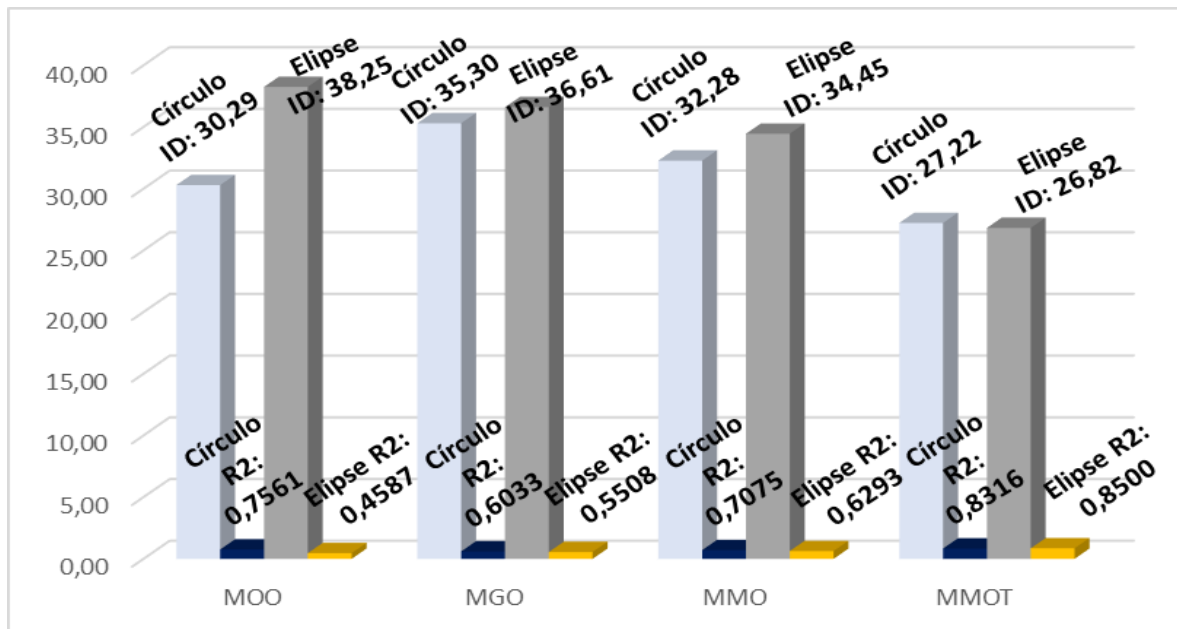


Figura 6: Comparação por modelo de distribuição de viagens

Ao se comparar todos os resultados apresentados, verifica-se que o MOO (Schneider, 1959) apresenta melhores resultados (ID e R^2) quando comparados ao MGO (Gonçalves, 1992) para a figura geométrica círculo, porém os resultados se invertem quando observamos a figura geométrica elipse. Por outro lado, o MMO (modelo proposto 1) apresentou melhores resultados (ID e R^2) com relação ao MGO (Gonçalves, 1992), em ambas figuras geométricas.

Também é possível observar que nas figuras geométricas (círculo e elipse), a aplicação do MMOT proporcionou uma melhora nos resultados quando comparados ao desempenho do MMO.

Tanto o pior quanto o melhor resultado apresentados foram encontrados quando se utilizou a figura geométrica elipse. Observa-se que o pior resultado (ID=38,25 e $R^2=0,4587$) foi encontrado nos resultados do MOO (Schneider, 1959), sendo considerados resultados insatisfatórios, e o melhor resultado encontrado ID=26,82 e $R^2=0,8500$) com a aplicação do MMOT (modelo proposto 2), neste caso sendo considerados resultados satisfatórios.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que o objetivo proposto foi atingido, dado que foram apresentados dois modelos de distribuição de viagens (MMO e MMOT), tendo sido eles comparados aos modelos clássicos de Schneider (1959) e Gonçalves (1992).

Os parâmetros α e θ que foram incorporados ao modelo desenvolvido por Gonçalves (1992), sendo eles partes fundamentais do primeiro modelo proposto e tendo proporcionado uma maior

sensibilidade na predição de viagens, acrescentando 17% de certeza nos resultados na figura circular e 54% na figura geométrica elíptica.

Quanto à avaliação dos modelos propostos, percebe-se que o Modelo modificado de oportunidades com base nos tempos de viagem (MMOT), obteve melhores resultados quando comparados aos demais modelos (MOO, MGO e MMO), proporcionando um coeficiente de determinação de 0,8316 para a área circular e 0,8500 para a área elipsoidal. Nessa perspectiva, pode-se concluir que os modelos propostos têm potencial como variação na forma de estimar as oportunidades intervenientes em um estudo de distribuição de viagens.

Para trabalhos futuros, serão realizados estudos baseados nas áreas das figuras geométricas com a intenção de identificar e analisar as possíveis oportunidades intervenientes que se possam melhor explicar a matriz de viagens. Além do estudo relacionado à definição das oportunidades intervenientes, também serão avaliados novos métodos de predição de viagens, como por exemplo a utilização do sistema Neuro-Fuzzy.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, L. M. W., Goncalves, M. B. (2001). A Methodology to Incorporate Behavioral Aspects in Trip Distribution Models with an Application to Estimate Student Flow. *Environment and Planning A*, 33, 1125-1138.
- BDA RIO (2010) *Banco de dados agregado*. Instituto Pereira Passos. Disponível em <http://portalgeo.rio.rj.gov.br/bdario/>. Acesso em 08 fev. 2017.
- Campos, V.B.G. (2013). Planejamento de transportes: conceitos e modelos. Rio de Janeiro: Interciência.
- Corrêa, R.L. (1989). A Rede Urbana. São Paulo: Ática
- De Grange, L., Ibeas, A. e González, F. (2011) A Hierarchical Gravity Model with Spatial Correlation: Mathematical Formulation and Parameter Estimation. *Networks and Spatial Economics*, 11(3), 439-463. doi: 10.1007/s11067-008-9097-0
- De Grange, L., Ibeas, A. e González, F. (2011) A Hierarchical Gravity Model with Spatial Correlation: Mathematical Formulation and Parameter Estimation. *Networks and Spatial Economics*, 11(3), 439-463. doi: 10.1007/s11067-008-9097-0
- De Vries, J., Nijkamp, P. e Rietveld, P. (2009) Exponential or power distance-decay for commuting? an alternative specification. *Environ. Plan. A* 41, 461–480.
- Dickey, J. W. e Hunter, S. P. (1970) Grouping of travel time distributions. *Transportation Research*, 4(1), 93–102. [https://doi.org/10.1016/0041-1647\(70\)90079-1](https://doi.org/10.1016/0041-1647(70)90079-1)
- Gonçalves, M. B. (1992) Desenvolvimento e teste de um novo modelo gravitacional – de oportunidades para distribuição de viagens. Tese. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- Griffith, D. A. (2009) Modeling spatial autocorrelation in spatial interaction data: empirical evidence from 2002 Germany journey-to-work flows. *J. Geogr. Syst.* 11, 117–140.
- Lenormand, M., Bassolas, A. e Ramasco, J. J. (2016) Systematic comparison of trip distribution laws and models. *Journal of Transport Geography*, pp. 158-169.
- Lenormand, M., Bassolas, A. e Ramasco, J. J. (2016) Systematic comparison of trip distribution laws and models. *Journal of Transport Geography*, pp. 158-169.
- Lenormand, M., Huet, S. e Gargiulo, F. (2014) Generating French virtual commuting network at municipality level. *J. Transp. Land Use* 7, 43–55.
- Masucci, A., Serras, J., Johansson, A. e Batty, M. (2013) Gravity versus radiation models: on the importance of scale and heterogeneity in commuting flows. *Phys. Rev. E* 88, 022,812
- Nazem, M., trépanier, M., e Morency, C., 2011, *Demographic Analysis of Route Choice for Public Transit*. *Transportation Research Record*, 2(2217), 71-78.
- Nazem, M., Trépanier, M. e Morency, C. (2013) Integrated Intervening Opportunities Model for Public Transit Trip Generation-Distribution: A Supply-dependent Approach. *Transportation Research Record*, 1(2350), 47-57. doi: 10.3141/2350-06.
- Nazem, M., Trépanier, M. e Morency, C. (2015) Revisiting the destination ranking procedure in development of an Intervening Opportunities Model for public transit trip distribution. *Journal of Geographical Systems*, 17(1). <https://doi.org/10.1007/s10109-014-0203-1>

- Okabe, A. (1977) Formulation of The Intervening Opportunities Model for housing location choice behavior. *Journal of Regional Science*, 17(1). <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.1977.tb00470.x>
- Ortúzar, J. D., Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport*. 4th Edition. John Wiley & Sons, Chichester.
- PDTU-RMRJ (2003) *Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana do Rio de Janeiro*. Disponível em <http://www.pdtu.rj.gov.br/>. Acesso em 08 fev. 2017.
- Raphael, S. (1998) Intervening opportunities, competing searchers, and the intrametropolitan flow of male youth labor. *Journal of Regional Science*, 38(1).
- Rouwental, J. e Nijkamp, P. (2004) Living in two worlds: a review of home-to-work decisions. *Growth Chang.* 35, 287–303.
- Schneider, M. (1959) Gravity Models and Trip Distribution Theory. *Regional Science Association*, 1, 51-56.
- Silva, M. A. V; D’Agosto, M. A. (2013) A model to estimate the origin–destination matrix for soybean exportation in Brazil. *Journal of Transport Geography*, 26, 97-107. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.08.011>
- Simini, F., González, M. C., Maritan, A., Barabasi, A. L. (2012) A universal model for mobility and migration patterns. *Nature* 484, 96–100.
- Stouffer, S. A. (1960) Intervening Opportunities and Competing Migrants. *Journal of Regional Science*, 2, 1-26.
- Stouffer, S.A. (1940) Intervening opportunities: a theory relating mobility and distance. *Am. Sociol. Rev.* 5, 845–867.
- Wilson, A. G. (1970) Advances and Problems in Distribution Modelling. *Transportation Research*, 4, 1-18.

Bruno Morais Lemos (bruno.lemos@pet.coppe.ufrj.br)

César Alfonso Parada Sanchez (cesar.alfonso@pet.coppe.ufrj.br)

Marcelino Aurélio Vieira da Silva (marcelino@pet.coppe.ufrj.br)

Programa de Engenharia de Transportes do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Av. Horácio Macedo, 2030, Centro de Tecnologia - bloco H. Cidade Universitária – Ilha do Fundão. Rio de Janeiro, RJ.