

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E  
GESTÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

DIVO ALEJANDRO REHBEIN

**OS IMPACTOS DAS FORMAS DE EXPANSÃO DAS REGIÕES  
ADMINISTRATIVAS DO DISTRITO FEDERAL NA MOBILIDADE E NO MEIO  
AMBIENTE**

BRASÍLIA

2019

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E  
GESTÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

DIVO ALEJANDRO REHBEIN

**OS IMPACTOS DAS FORMAS DE EXPANSÃO DAS REGIÕES  
ADMINISTRATIVAS DO DISTRITO FEDERAL NA MOBILIDADE E NO MEIO  
AMBIENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Departamento de Economia da Universidade de Brasília, como parte das exigências para a obtenção do título de bacharel.

Orientador: Prof. Doutor Moisés de Andrade Resende Filho

BRASÍLIA  
2019

DIVO ALEJANDRO REHBEIN

**OS IMPACTOS DAS FORMAS DE EXPANSÃO DAS REGIÕES  
ADMINISTRATIVAS DO DISTRITO FEDERAL NA MOBILIDADE E NO MEIO  
AMBIENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Departamento de Economia da Universidade de Brasília, como parte das exigências para a obtenção do título de bacharel.

Brasília, 19 de julho de 2019

BANCA EXAMINADORA

---

Prof Dr. Moisés de Andrade Resende Filho  
Universidade de Brasília

---

Prof Dr. Leandro Gonçalves do Nascimento  
Universidade de Brasília

## RESUMO

Com base em Camagni (2002), estimou-se o impacto das formas de expansão das Regiões Administrativas no custo de mobilidade no meio ambiente no Distrito Federal (DF), medido enquanto Índice de Impacto da Mobilidade. Estimativas mínimos quadrados ordinários e ponderados com inferência robusta para heterocedasticidade de um modelo de regressão com dados das 31 Regiões Administrativas do DF em 2015, indicam que maior distância do Plano Piloto, menor densidade populacional e menor razão entre empregos e residentes aumentam, *ceteris paribus*, o custo da mobilidade no meio ambiente. As estimativas também indicam que cidades satélites surgidas a partir de invasão, doação de lotes ou assentamento de favelas, *ceteris paribus*, têm maior custo da mobilidade no meio ambiente, ou seja, consomem mais meios de transporte motorizados e, conseqüentemente, geram maior custo ambiental. Palavras-chave: Mobilidade Urbana; Sustentabilidade Urbana; Economia Urbana; Transporte; Espraiamento Urbano.

## ABSTRACT

Based on Camagni (2002), I estimated the impact of the expansion forms of the Administrative Regions on the cost of mobility on the environment in the Federal District (DF), as measured by the Mobility Impact Index. Linear regression ordinary and weighted least squares estimates with heteroskedasticity-robust inference with data from the 31 DF's Administrative Regions in 2015 indicate that greater distance from "Plano Piloto", lower population density and lower jobs to resident ratio, *ceteris paribus*, increase the cost of mobility on the environment. Estimates also indicate that satellite cities that emerged from either land invasion or donation or slum settlement, *ceteris paribus*, have higher cost of mobility on the environment, i.e., consume more motorized transportation and, thus, create greater environmental costs

Keywords: Urban Mobility; Urban Sustainability; Urban Economics; Transport; Urban Sprawl.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1. Expansão Urbana	9
2.2. Índice de Impacto da Mobilidade	10
3. METODOLOGIA	13
3.1. Modelo Econométrico	13
3.2. Dados	14
4. RESULTADOS	16
4.1. Análise Descritiva	16
4.2. Resultados Esperados	18
4.3. Resultados	19
5. CONCLUSÃO	22
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

## 1. INTRODUÇÃO

Diversos fatores influem na decisão do consumidor de migrar do centro urbano para a periferia, como qualidade ambiental, congestionamentos, insegurança, aumento da renda, custo de transporte e de preço dos imóveis residenciais, os quais precisam competir com imóveis comerciais (CAMAGNI, 2002). Há ainda fatores não ligadas ao urbanismo, como a preferência do consumidor por espaços maiores e inovação tecnológica, que diminuem as barreiras geográficas e possibilitam a moradia em lugares antes impossíveis (GORDON, 1997). Como consequência disto, o crescimento urbano que se dava de forma compacta com alta densidade demográfica, tem passado a ocorrer de forma espraiada com baixa densidade demográfica, mesmo quando sequer há crescimento populacional da cidade. De fato, tem havido uma expansão urbana de baixa densidade demográfica com a população, que antes residia em áreas densas perto dos centros comerciais, migrando para a periferia (MENDIOLA, 2015).

Esse fenômeno de suburbanização passa a ocorrer a partir da segunda metade do século XX nas cidades estadunidenses, suscitando estudos para entender os impactos desta mudança espacial nas áreas urbanas. Na Europa, o fenômeno de suburbanização somente começou a ser estudado quando se percebeu o crescimento da área urbana não acompanhado de crescimento populacional. De fato, de 1985 a 2005 houve um aumento de 20% da área urbana na Europa enquanto a sua população cresceu apenas 6% (TRAVISI, 2005).

A redução da densidade demográfica pode levar a perdas de economias de aglomeração e fazer com que a cidade perca seu papel fundamental enquanto local de inovação e trocas. Ademais, a menor densidade demográfica nas cidades pode gerar um custo ambiental devido ao aumento da área necessária para população e devido ao aumento da demanda por meios de transporte, já que a área residencial se torna mais distante da área comercial (TRAVISI, 2005).

Enquanto se observa o crescimento da periferia das cidades em um modelo de crescimento de baixa densidade demográfica, em Brasília, isto ocorre sem queda na densidade na região central, a qual já tem baixa densidade demográfica em virtude das restrições impostas por seu Plano Urbanístico (BRITO, 2009). De fato, desde a criação da capital do Brasil, observa-se um crescimento populacional nas Regiões Administrativas (RAs) do seu entorno (fenômeno de suburbanização), devido à

imposição de limites de crescimento da área construída na região central (BRITO, 2009).

A capital do Brasil foi fundada em 21 de abril de 1960 incorporando centros urbanos já existentes como Planaltina e Brazlândia. No planejamento de Brasília já era previsto a criação de centros periféricos ao Plano Piloto de acordo com as necessidades de fixação da população. O Plano Piloto não poderia comportar o aumento populacional, pois possui áreas de preservação e há limitação no que tange ao número máximo de andares por edifício. Assim, surgiu a necessidade de novos núcleos urbanos, como Taguatinga e Núcleo Bandeirante, para alocar os trabalhadores da construção da nova capital (PDAD, 2014). Mesmo após a construção destes núcleos urbanos, o fluxo migratório para Brasília continuou intenso, o que culminou no surgimento de invasões no Plano Piloto e em outras áreas do Distrito Federal. Somente em 1964 é decretado a separação do Distrito Federal em 8 regiões administrativas com administradores responsáveis. Atualmente, há 31 regiões administrativas, criadas por motivos que vão da doação de lotes até programas para erradicação de favelas no Plano Piloto (BRITO, 2009; COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL, 2012).

O presente estudo objetiva estimar o impacto das formas de expansão, por exemplo, a suburbanização ou redução na densidade populacional, das Regiões Administrativas no custo de mobilidade no meio ambiente no Distrito Federal (DF), sabendo que DF é caracterizado pelo uso de transporte individual, que representa 94% de toda sua frota, enquanto o ônibus correspondem apenas a 0,7% (BERTUCCI, 2011).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, faz-se uma revisão da literatura no sentido de caracterizar a evolução da definição do que seria expansão urbana, desde sua origem nos Estados Unidos no século XX até estudos que buscam medir o impacto da queda de densidade, o que leva a perdas de economias de aglomeração, devido ao espraiamento urbano. Em seguida, é realizada uma revisão de trabalhos que investigaram empiricamente os efeitos da suburbanização na mobilidade urbana e para o meio ambiente.

### 2.1. Expansão Urbana

Os Estados Unidos da América (EUA) passaram de um país agrícola para um país urbano ao longo do século XX, tal que foi nos EUA que se realizaram os primeiros estudos sobre expansão urbana. Inicialmente, a migração para os centros urbanos criou cidades com alta densidade demográfica. Porém, no decorrer do século XX há uma tendência de a população se deslocar para os subúrbios (MCKEE, 1977). A popularização dos automóveis particulares teve papel fundamental no início da suburbanização estadunidense, fazendo com que as suas consequências fossem levadas em conta no Plano Regional da Área Metropolitana de Nova Iorque de 1929, o qual se preocupava com a redução das áreas usadas para a agricultura. Porém, apenas a partir da segunda metade do século XX que o termo *sprawl*, espraiar em tradução livre, entrou para a literatura ao ser citado por Herbert Gans, ao criticar a região de Levittown. Mesmo com críticas de autores como Herbert Gans, os subúrbios tiveram um rápido crescimento nos anos de 1950 e 1960 devido à incentivos fiscais do governo e ao novo sistema de rodovias, o qual facilitava o acesso (THE FEDERAL TRANSIT ADMINISTRATION, 1998).

Os primeiros estudos estavam mais interessados no fenômeno do espraiamento urbano. McKee (1977) afirma que este fenômeno pode acontecer de três formas, quais sejam: com a construção de residências em áreas de 3 a 5 acres, o que permite manter áreas verdes, mas a um custo elevado para prover serviços municipais devido a distância entre as residências; por meio do crescimento axial ao longo das principais rotas de acesso da cidade; e por último, o que mais ocorria nos Estados Unidos no período em que o artigo foi escrito, por meio da expansão do tipo *leap-frog development*, caracterizada por um crescimento relativamente compacto,

mas cercado por uma área não povoada. The Federal Administration (1998) afirma que a densidade demográfica é relativa e deve ser analisada em relação a determinado país ou região, ou seja, uma região que é considerada de baixa densidade no Japão pode ser considerada de alta densidade, caso se localizasse nos Estados Unidos. Logo, o espraiamento urbano é caracterizado por uma densidade demográfica baixa relativa e por ser uma expansão dispendiosa.

Os estudos subsequentes se voltaram para medir o impacto causado pelo espraiamento das cidades. Por exemplo, Carruthers (2003) analisou o impacto do espraiamento nos serviços públicos, como custos de transportes, rodovias, coleta de lixo, policiamento das áreas, construção de novas escolas e bibliotecas. Para isto, analisou 283 condados estadunidenses no período de 1982 a 1992, enquanto corte transversal, e, com base em análise de regressão, concluiu que o espraiamento urbano aumenta os custos dos serviços públicos prestados, como já esperado.

## **2.2. Índice de Impacto da Mobilidade**

Camagni (2002) analisa o custo ambiental decorrente da expansão urbana na região metropolitana de Milão, Itália. Para tanto, utiliza, como variável dependente do modelo de regressão, o Índice de Impacto da Mobilidade (*impmob*), calculado com base em uma tabela com o peso médio de cada tipo de modal e o tempo gasto no deslocamento entre cada área do entorno e o centro de Milão. O autor classifica as áreas que cresceram no entorno de Milão de acordo com suas características quanto ao formato e a região em que se desenvolveu. Com base nesta classificação, busca medir o consumo de terra em cada área pré-determinada e, ao discriminar entre área residencial e área comercial, encontra, como esperado, que regiões com menor densidade demográfica consomem menos terra, sendo assim mais eficientes no uso de seus recursos. Em seguida, Camagni (2002) parte para um estudo da demanda por mobilidade e seus custos. Para isto, utiliza as áreas anteriormente definidas que possuem rendas homogêneas e as cinco variáveis independentes descritas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Variáveis independentes da regressão em relação ao impacto na mobilidade

Variável Independente	Definição da Variável
<i>Crescpop</i>	Crescimento demográfico no período do estudo
<i>Dens</i>	Razão entre os residentes e a área construída
<i>dist</i>	Distância entre o centro da região e o de Milão
<i>empres</i>	Razão entre empregos e residentes da área
<i>idade</i>	Idade média das construções da região

Fonte: Camagni, 2002.

Com base em estimativas de mínimos quadrados ponderados (MQP) de seu modelo de regressão, Camagni (2002) estima uma relação inversa entre densidade populacional (*dens*) e o Índice de Impacto da Mobilidade (*impmob*), ou seja, regiões com maior densidade demográfica têm menor custo ambiental, pois podem priorizar modais de transporte público em detrimento de transporte privado. Camagni (2002) ainda faz uma comparação entre o transporte público e o por automóvel particular e demonstra que quanto maior for o tempo gasto em transporte público, maior é o consumo de transporte via automóvel particular. Porém este resultado varia conforme o formato da região analisada, já que cidades com maior densidade demográfica possuem, por exemplo, viagens mais rápidas.

Travisi (2005) faz uma aplicação baseada em Camagni (2002) a sete regiões metropolitanas da Itália e introduz três novidades, quais sejam: analisa as regiões durante os anos de 1981 a 1989, período conhecido pelo alto crescimento econômico italiano, o qual gerou mudanças estruturais devido a desregulamentação, o que levou a mudança nos modais em uso; faz uma análise por corte transversal, conseguindo inferir se há grandes diferenças na forma que o modelo explica o impacto da mobilidade nas diversas regiões; por último, usa o método *Causal Path Analysis* (CPA), que consiste em um diagrama formado por diversas variáveis, sendo o limite direito a variável endógena que será determinada por variáveis intermediárias, as quais são determinadas pelas variáveis exógenas do modelo. Desta forma, Travisi (2005) busca entender o impacto na mobilidade e, para tanto, utiliza as variáveis na Tabela 2.

**Tabela 2** – Variáveis independentes utilizadas nas regressões

Variável Independente	Definição da Variável
<i>dist</i>	Distância entre o centro da comunidade e da cidade
<i>rural</i>	Razão entre a área rural e a área total
<i>dens</i>	Densidade demográfica
<i>suptot</i>	Área Total
<i>north</i>	<i>Dummy</i> caso a região fique no norte da Itália
<i>centre</i>	<i>Dummy</i> caso a região fique no centro da Itália
<i>mixite</i>	Razão entre empregos e residentes na região
<i>growth</i>	Crescimento populacional entre 1981 e 1991
<i>metro</i>	<i>Dummy</i> caso seja uma região metropolitana
<i>polyc</i>	<i>Dummy</i> caso seja uma região policêntrica
<i>compub</i>	Razão do tempo entre transporte privado e público
<i>sharepub</i>	Razão de mercado entre transporte privado e público
<i>selfcont</i>	Razão entre passageiros da comunidade que se deslocam saindo da comunidade e os que se deslocam dentro ou fora

Fonte: Travisi, 2005.

Como visto na Tabela 2, as regressões de Travisi (2005) possuem um maior número de variáveis, sendo parte delas variáveis *dummy* que possibilitam considerar as características espaciais das regiões, se são metropolitanas ou policêntricas e de acordo com a localização. O autor faz uma análise apenas das áreas urbanas individualmente em três regressões, sendo duas por mínimos quadrados ordinários e uma por mínimos quadrados generalizados e obtém diversos resultados contraditórios entre cidades, porém tem como principais resultados que os coeficientes que medem a distância da comunidade até a cidade foram sempre negativos e pequenos em termos de valores absoluto, ou seja, as comunidades mais afastadas das cidades criam uma maior independência. Além disso, assim como Camagni (2002), observa que o aumento da densidade demográfica diminui o impacto da mobilidade.

Observa-se que o espraiamento urbano é um dos maiores problemas urbanos da atualidade (TRAVISI, 2005) e que este pode ocorrer em diferentes épocas, devido as características diferentes dos países e cidades, como o caso dos Estados Unidos que começou a estudar estes casos principalmente após a segunda metade do século XX e a Europa, a qual começou a estudar apenas a partir do século XXI (THE FEDERAL TRANSIT ADMINISTRATION, 1998; MENDIOLA, 2015). Além disso, o espraiamento urbano gera impacto de diversas formas, seja aumentando o gasto com serviços públicos (CARRUTHERS, 2003) ou dificultando a mobilidade (CAMAGNI, 2002; TRAVISI, 2005; MENDIOLA, 2015).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Modelo Econométrico

Com base em Camagni (2002), o modelo econométrico no presente trabalho é:

$$impmob_i = \beta_0 + \beta_1 dist_i + \beta_2 dens_i + \beta_3 crescpop_i + \beta_4 empres_i + \beta_5 T1 + \beta_6 T2 + \beta_7 T3 + \beta_8 T4 + \beta_9 T5 + u_i \quad (1)$$

em que o subscrito  $i$  denota a Região Administrativa (RA) e há três tipos de variáveis, quais sejam: geográfica, distância ao Plano Piloto ( $dist$ ); socioeconômicas, densidade populacional ( $dens$ ), crescimento populacional ( $crespop$ ) e razão entre empregos e residentes da área ( $empres$ ); e morfológicas, cinco variáveis *dummy* para definir o tipo de expansão urbana (T1 a T5).  $u$  é o termo de erro aleatório.

A variável dependente do modelo (1),  $impmob$ , é o Índice de Impacto da Mobilidade, definido com base em Traversi (2005) como:

$$impmob_i = \frac{\sum_{kj} m_{kj} w_{kj}}{\sum_{kj} m_{kj}} \quad (2)$$

em que  $impmob_i$  é o impacto da mobilidade na região  $i$ ,  $m_{kj}$  é a quantidade de passageiros que fizeram o trajeto da região  $i$  até o centro pelo modal  $k$  e ao tempo no intervalo  $j$  e  $w_{kj}$  é o peso deste modal neste intervalo de tempo. O peso do modal é dado de acordo com a tabela 3, a qual foi usada por Camagni (2002) e Traversi (2005). A variação do peso do modal de acordo com intervalo de tempo segue a proporção do peso por minuto e considera que a viagem leva em média 18 minutos no menor intervalo e 60 no maior. Além disso, o metrô fora considerado exceção, mantendo assim o peso nos menores intervalos.

**Tabela 3** – Peso por modal e tempo de viagem

Tempo	Modal (k)	Peso por modal	Peso por modal e tempo ( $w_{kj}$ )		
			0-30 min	31-60 min	>60 min
	A pé ou bicicleta	0	0	0	0
	Carro privado	1	0,4	1	1,33
	Motocicleta	0,33	0,13	0,33	0,44
	Ônibus	0,33	0,13	0,33	0,44
	Metrô	0,2	0,2	0,2	0,27

Fonte: Camagni, 2002.

Além disso, dado que a hipótese a ser testada é se as diferentes formas de expansão urbana observadas no Distrito Federal explicam a diferença de transporte usado e, conseqüentemente, o custo ambiental e de uso da terra devido ao transporte,

é necessário adicionar no modelo (1) outras variáveis *dummy* a fim de definir como determinada região surgiu. Em linha com Camagni (2002) e considerando as peculiaridades da construção do Distrito Federal e de suas regiões, foram criadas no presente trabalho cinco variáveis *dummy* de modo a melhor classificar as regiões administrativas, quais sejam: T1 é a região que era habitada antes da construção (Brazlândia, Gama, Planaltina e Sobradinho); T2 é a região do desenvolvimento devido as construções de Brasília (Candangolândia, Núcleo Bandeirante, Paranoá e São Sebastião); T3 é a região construída para ser moradia de servidores públicos que vieram para Brasília (Cruzeiro, Guará, Lago Norte e Lago Sul); T4 é a região de desenvolvimento devido a invasões ou doação de lotes (Estrutural, Itapoã, Riacho Fundo II, Santa Maria, Sobradinho II e Varjão); T5 é a região que surgiu para assentar famílias das favelas que surgiram (Ceilândia, Recanto das Emas, Riacho Fundo, Samambaia e Taguatinga). Além disso, o Plano Piloto e as que surgiram a partir de outras (Águas Claras, Fercal, Jardim Botânico, Park Way, SIA, Sudoeste/Octogonal e Vicente Pires) não foram classificadas em nenhuma das cinco categorias, devido as suas características divergirem das regiões anteriores.

### **3.2. Dados**

Os dados usados são da Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios - PDAD 2013 e 2015. Porém, a PDAD não informa sobre o tempo de deslocamento dos moradores em sua pesquisa, até 2015, portanto foi necessário complementar a base com estimativas para medir a distância entre as regiões administrativas e o centro urbano, Plano Piloto, e o tempo de duração de uma viagem, considerando o horário de pico de final de tarde. As estimativas do Google Maps foram realizadas no dia 23 de abril de 2019. Além disso, as áreas das regiões metropolitanas e a área ocupada de cada região é definida de acordo com estudo de Jatobá (2017), realizado para a CODEPLAN.

Para a construção do Índice de Impacto da Mobilidade foi considerado como premissa de que toda viagem é realizada em direção ao centro urbano e de que o tempo de traslado de uma moto é o mesmo de um carro, devido a limitação da base de dados. A partir disto, o *impmob* é calculado conforme definido em (2) e tendo pesos dos modais definidos na Tabela 3. A Tabela 4 demonstra os valores utilizados no cálculo, obtendo o *impmob* ao somar o produto da fatia de mercado pelo peso do modal.

**Tabela 4** – Peso por modal e tempo de viagem

Modal	Ônibus	Automóvel	Metrô	Motocicleta	Bicicleta	A pé
Fatia de mercado por modal	19%	64%	0%	1%	1%	16%
Peso por modal	0,33	0,4	0	0,13	0	0

Fonte: Elaboração própria.

No próximo capítulo serão apresentadas os valores esperados, os resultados obtidos e o método usado.

## 4. RESULTADOS

Os resultados são apresentados em três partes: primeiro é feita uma análise descritiva dos dados usados na estimação da regressão (1); em seguida, são apresentados os sinais esperados dos parâmetros do modelo; e por último, discute-se como a análise foi feita e o resultado obtido.

### 4.1. Análise Descritiva

Inicialmente, é importante observar as estatísticas descritivas dos dados, conforme mostra a Tabela 5. A análise é feita levando em consideração as 31 regiões metropolitanas que foram classificadas dentro de 5 categorias, conforme descrito anteriormente.

**Tabela 5 – Descrição das variáveis**

Variáveis	Observações	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
<i>impmob</i>	31	0,42	0,11	0,28	0,65
<i>dist</i>	31	21,58	10,64	0,00	48,80
<i>dens</i>	31	70,53	41,52	1,08	142,27
<i>crescpop</i>	31	0,02	0,06	-0,09	0,17
<i>empres</i>	31	0,67	2,00	0,08	11,17
T1	31	0,13	0,34	0,00	1,00
T2	31	0,13	0,34	0,00	1,00
T3	31	0,13	0,34	0,00	1,00
T4	31	0,19	0,40	0,00	1,00
T5	31	0,16	0,37	0,00	1,00

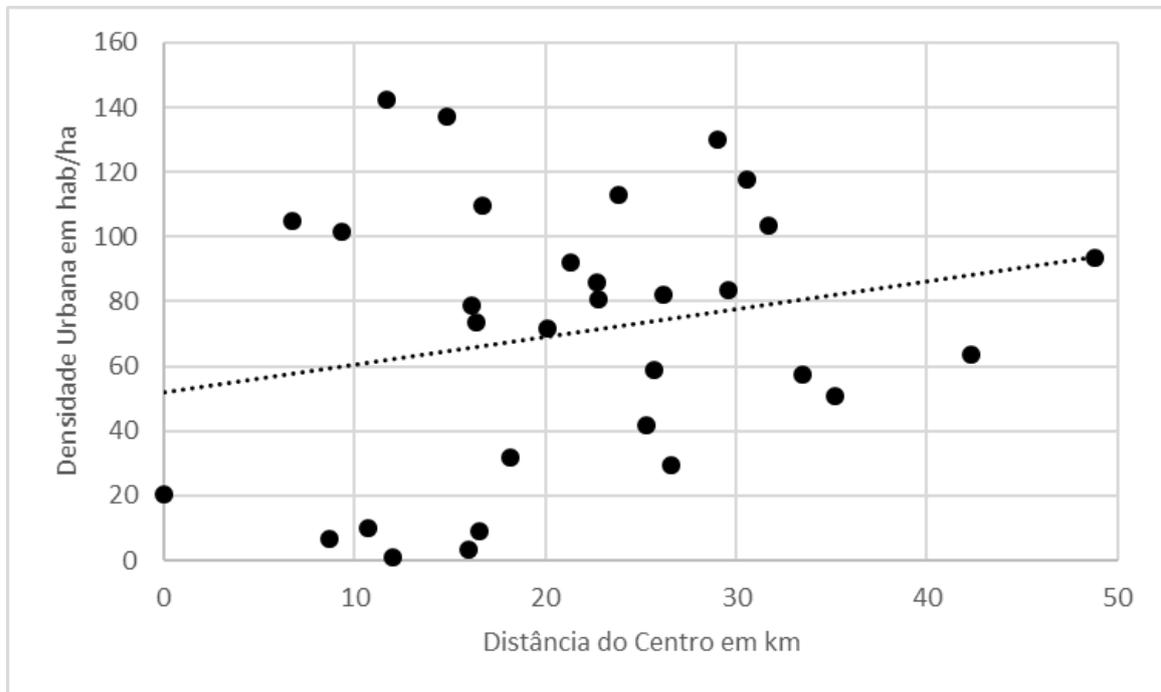
Fonte: Elaboração própria.

A distância (*dist*) varia de 0 a 48,8 km, sendo que o valor de 0 km ocorre ao Plano Piloto, que é a região central. As grandes distâncias são parcialmente explicadas pela pequena área urbana do Distrito Federal, que representa cerca de 10% do território, o qual é ocupado em grande parte por reservas (JATOBÁ, 2017).

As diferentes cidades satélites se comportam de forma bastante variada, ao observar que a densidade urbana (*dens*) tem valor mínimo de 1,08, valor encontrado no SIA, região caracterizada como industrial, e valor máximo no Varjão. Além disso, este comportamento é observado em outras variáveis como o crescimento populacional (*crescpop*), o qual varia desde o Varjão, que decresce 9% em relação a sua população em 2013 e Águas Claras, que teve aumento de aproximadamente 17% neste mesmo período.

Ao analisar a relação entre a densidade urbana e a distância do centro, conforme figura 1, é possível observar que Brasília possui uma relação inversa à maior parte das cidades do mundo, que seguem o modelo monocêntrico, o que não será discutido neste trabalho. É esperado que uma cidade que siga o modelo monocêntrico tenha uma maior densidade urbana na região central (ARNOTT e McMILLEN, 2008), porém, mesmo que o Plano Piloto seja o centro comercial de Brasília, a região possui baixa densidade urbana devido a limitação de seu Plano Urbanístico, conforme mencionado anteriormente.

**Figura 1** – Relação entre densidade urbana e distância do centro



Fonte: Elaboração própria

Outras variáveis, que estão inseridas no modelo via Índice de Impacto da Mobilidade (*impmob*), são os diversos modais utilizados e a fatia de mercado composta por cada um deles. Conforme observado na tabela 6, há uma grande variação entre o modal mais usado.

Observando os dados apresentados na tabela 6, é possível inferir que as cidades definidas como T1 e T2 se assemelham às T4 e T5 ao comparar a distribuição dos modais motorizados entre público ou privado, porém T1 e T2 possuem maior fatia do mercado atribuído a modais não motorizados como bicicleta e andar. As cidades satélites classificadas como T3 tiveram sua construção e expansão para a chegada

de, principalmente, funcionários públicos, tendo uma renda per capita mais alta que outras regiões, podendo ser este um dos fatores que justificam a alta escolha por transporte motorizado privado. Já as classificadas como T4 e T5 possuem comportamentos semelhantes, tendo 55% ou mais da fatia do mercado com transporte público, porém possui um baixo custo de transporte não motorizado, o que pode ser explicado devido a distância entre as regiões e o centro da Região Metropolitana.

**Tabela 6** – Fatia do mercado por modal, em %

Forma	Ônibus	Metrô	Automóvel	Motocicleta	Bicicleta	A Pé
T1	47%	0%	35%	3%	2%	13%
T2	51%	0%	30%	3%	1%	14%
T3	14%	2%	71%	1%	1%	11%
T4	55%	0%	29%	2%	2%	12%
T5	51%	5%	31%	2%	1%	10%

Fonte: PDAD, 2015.

#### 4.2. Resultados Esperados

A expectativa é que a variável geográfica, a distância até o Plano Piloto (*dist*), tenha um efeito positivo no Índice de Impacto da Mobilidade (*impmob*), ou seja, quanto mais distante do centro da região metropolitana, maior será o dano ambiental gerado pelo transporte. Para as variáveis socioeconômicas, esperam-se efeitos negativos da variável de densidade urbana (*dens*), pois o seu aumento deve acarretar um aumento de demanda por transporte, e da variável de empregados por residentes (*empres*), dado que seu valor demonstra a dinamicidade da RA, já o crescimento populacional (*crescpop*) é esperado valor positivo, dado que o seu aumento é geralmente relacionado à expansão territorial.

As variáveis morfológicas possuem diferentes expectativas. De um lado as cidades classificadas como T1 e T2 é esperado um efeito negativo no Índice de Impacto da Mobilidade (*impmob*), devido ao uso de transporte não motorizado e o alto consumo de ônibus. As regiões classificadas como T3 é esperado um efeito positivo no índice, devido ao alto consumo de transporte privado. Por último, as regiões T4 e T5 é esperado um efeito positivo, pois, mesmo que estas classificações consomam mais transporte público, a fatia do mercado composta por transporte não motorizado é baixa.

### 4.3. Resultados

O modelo (1) foi estimado por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), vide coluna MQO da tabela 7.

**Tabela 7 – Resultados das Regressões**

	MQO	MQO Robusto 1	MQO Robusto 2	MQP Robusto
<i>dist</i>	0,0038 (0,0022)	0,0038 (0,0028)	0,0053*** (0,0013)	0,0059*** (0,0013)
<i>dens</i>	-0,0011** (0,0005)	-0,0011** (0,0005)	-0,0010*** (0,0003)	-0,0010*** (0,0003)
<i>crecscpop</i>	-0,0708 (0,2522)	-0,0708 (0,2394)	-0,1590 (0,1884)	-0,2576 (0,2081)
<i>empres</i>	-0,0071 (0,0074)	-0,0071** (0,0028)	-0,0072*** (0,0023)	-0,0055 (0,0040)
T1	0,0648 (0,0714)	0,0648 (0,1078)		
T2	0,0266 (0,0578)	0,0266 (0,0550)		
T3	0,0048 (0,0458)	0,0048 (0,0319)		
T4	0,1201** (0,0503)	0,1201* (0,0651)	0,0936** (0,0426)	0,1235** (0,0584)
T5	0,2277*** (0,0583)	0,2277*** (0,0662)	0,1961*** (0,0398)	0,1847*** (0,0365)
Constante	0,3529*** (0,0488)	0,3529*** (0,0462)	0,3374*** (0,0235)	0,3300*** (0,0261)
Observações	31	31	31	31
Fator de inflação da variância (VIF)	2,29	2,29	1,31	1,41
Estatística F da significância global do modelo	5,94***	12,04***	14,99***	11,99***
R-dois ajustado	0,60	0,60	0,63	0,62

Nota: \*, \*\*, \*\*\* denota significante a 10%, 5% e 1% e erros-padrão em parênteses.

Fonte: Elaboração própria.

Como rejeitou-se a hipótese nula de erro homocedástico (p-valor=0,2363) do teste Breusch-Pagan, estimou-se o modelo por MQO com procedimento robusto para inferência com erro heterocedástico, vide coluna MQO Robusto 1 da tabela 7. Em seguida, como não foi possível rejeitar a hipótese de que as variáveis T1, T2 e T3 são conjuntamente insignificantes pelo teste F robusto à heterocedasticidade (p-valor=0,9417), estimou-se por MQO e procedimento robusto para inferência com erro

heterocedástico o modelo sem estas variáveis, vide coluna MQO Robusto 2 na tabela 7. Estimou-se ainda o modelo sem as variáveis T1, T2 e T3 por mínimos quadrados ponderados (MQP) factíveis, utilizando como pesos o inverso da raiz quadrada da área das Regiões Administrativas (RAs) com procedimento robusto para inferência com erro heterocedástico, vide coluna MQP Robusto na tabela 7. O fato de os sinais das estimativas não terem variado entre os modelos é indício de que as estimativas são consistentes. Como o fator de inflação da variância (VIF) é menor que cinco em cada modelo, conclui-se que multicolinearidade não é um problema em nenhum deles. Finalmente, como o modelo MQO Robusto 2 apresenta maior R-dois ajustado e menor VIF, optou-se por utilizá-lo para efetuar as análises a seguir.

Analisando as estimativas na coluna MQO Robusto 2 da tabela 7, estima-se que para cada quilômetro de distância do Plano Piloto há um aumento nos custos ambientais (*impmob*) de 0,0053, ou seja, a distância do Plano Piloto tem grande impacto no Índice de Impacto da Mobilidade. Por exemplo, o impacto estimado *ceteris paribus* da distância do Plano Piloto é de 0,0371 na RA mais próxima que fica a 7 km e de 0,26 na RA mais distante que fica a 49 km do Plano Piloto, note que *impmob* está compreendido no intervalo [0,28, 0,65] na amostra.

O efeito estimado da densidade (*dens*) nos custos ambientais e de consumo de terra (*impmob*) é de -0,001, com sinal negativo como esperado, pois a densidade residencial é inversamente relacionada ao uso de automóveis particulares e ao consumo de combustível (Brownstone, 2009). A densidade (pessoas por área construída) aumenta o consumo de modais não poluentes, como andar (Ahlfeldt, 2017) e é esperado que maior densidade populacional reduza o tempo de viagens por transporte público (Travisi, 2005).

O crescimento populacional (*crescpop*) não é estatisticamente significativo em nenhuma das regressões realizadas.

O efeito estimado da razão entre empregos e residentes da área (*empres*) é de -0,0072, sendo que *empres* está compreendido no intervalo [0,08, 11,17] na amostra. Assim, *empres* tem grande impacto em *impmob*, que está compreendido no intervalo [0,28, 0,65]. Por exemplo, o efeito *ceteris paribus* estimado de *empres* é -0,804 no caso do SIA, que é a RA com maior *empres* e comportamento comercial, por isso a alta razão entre empregos e residentes.

As formas de expansão urbana T1, T2 e T3 não explicam nem individualmente e nem conjuntamente o impacto ambiental causado pela escolha de modais. Já as

formas T4 e T5 são estatisticamente individualmente significantes, conforme esperado, devido a baixa fatia do mercado que consome transporte não motorizado.

## 5. CONCLUSÃO

O presente estudo se baseia em Camagni (2002), Trivisi (2005) e Mendiola (2015), os quais observaram que as formas com que as cidades de uma região metropolitana se expandem podem gerar custos ambientais e de mobilidade devido à escolha de modal e o tempo gasto no transporte entre o local de moradia e o centro urbano. Assim, o presente estudo emprega a metodologia proposta por estes estudos, adaptando-a a classificação das Regiões Administrativas e características peculiares do Distrito Federal. O objetivo principal foi estimar o efeito do aumento da suburbanização ou redução na densidade populacional na mobilidade urbana e no meio ambiente.

O presente estudo estima um impacto negativo de expansões de baixa densidade demográfica, ao observar os sinais negativos dos parâmetros distância e densidade, e, assim, que há um custo devido ao espraiamento urbano no Distrito Federal (DF). Assim, os resultados obtidos indicam a necessidade de se adotar medidas para aumentar a densidade urbana de cada Região Administrativa do DF como forma de reduzir o custo ambiental do transporte. No entanto, o Plano Urbanístico do Distrito Federal impõe restrições a políticas para redução da suburbanização.

O fato de uma RA ter surgido antes e durante a construção de Brasília e ou ter surgido para receber os servidores públicos que migravam devido a mudança da capital federal para Brasília não foi relevante para explicar o Índice de Impacto da Mobilidade. Porém o fato de uma RA ter surgido a partir de invasões, doações de lotes (T4) ou assentamento de população de invasões (T5) apresentou efeito positivo e significativo sobre o Índice de Impacto da Mobilidade, indicando que as características deste tipo de RA levam a um maior custo ambiental no transporte.

Finalmente, apesar dos resultados obtidos estarem, em sua maioria, em linha com a literatura consultada, o estudo foi limitado pela base de dados devido a PDAD 2013. Esta base não possui o detalhamento do modal utilizado no traslado dos moradores, o qual foi adicionado apenas na PDAD 2015, sendo que esta não possuía o tempo de traslado. Caso as próximas edições da PDAD possuam uma maior pesquisa em relação ao transporte, é importante que se refaça as estimações constantes do presente estudo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHLFEIDT, G. M., & PIETROSTEFANI, E. (2017). The economic effects of density: A synthesis. **Journal of Urban Economics**, 111, 93-107.

ARNOTT, R.; MCMILLEN, D. **A companion to urban economics**. 96-108, 2008.

BERTUCCI, J. O. Os benefícios do transporte público. **Boletim regional, urbano e ambiental**. IPEA, 2011.

BRITO, JUSSELMA DUARTE DE. (2009). De Plano Piloto a metrópole: a mancha urbana de Brasília. Tese de doutorado – FAU Universidade de Brasília.

BROWNSTONE, D., & GOLOB, T. F. (2009). The impact of residential density on vehicle usage and energy consumption. **Journal of urban Economics**, 65(1), 91-98.

CAMAGNI, ROBERTO; GIBELLI, MARIA CRISTINA; RIGAMONTI, PAOLO. Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion. **Ecological economics**, v. 40, n. 2, p. 199-216, 2002.

CARRUTHERS, JOHN I.; ULFARSSON, GUDMUNDUR F. Urban sprawl and the cost of public services. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 30, n. 4, p. 503-522, 2003.

COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL. **Distrito Federal em Síntese – Informações Socioeconômicas e Geográficas - 2012**, Brasília, Distrito Federal: 2012

COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL. **Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios - Distrito Federal - PDAD/DF – 2013**. Brasília, Distrito Federal: 2014

COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL. **Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios - Distrito Federal - PDAD/DF - 2015**. Brasília, Distrito Federal: 2016.

GORDON, Peter; RICHARDSON, Harry W. Are compact cities a desirable planning goal?. **Journal of the American planning association**, v. 63, n. 1, p. 95-106, 1997.

GOVERNO DE BRASÍLIA. Administrações Regionais. Disponível em: <<http://www.df.gov.br/administracoes-regionais/>>. Acesso em: 05 abr. 2019.

HANDY, SUSAN. Methodologies for exploring the link between urban form and travel behavior. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 1, n. 2, p. 151-165, 1996.

JATOBÁ, SÉRGIO ULISSES. Densidades Urbanas nas Regiões Administrativas do Distrito Federal. **Companhia de Planejamento do Distrito Federal–CODEPLAN**. Brasília, 2017.

MCKEE, DAVID L.; SMITH, GERALD H. Environmental diseconomies in suburban expansion. **American Journal of Economics and Sociology**, v. 31, n. 2, p. 181-188, 1972.

MENDIOLA, LOREA; GONZÁLEZ, PILAR; CEBOLLADA, ÀNGEL. The relationship between urban development and the environmental impact mobility: A local case study. **Land Use Policy**, v. 43, p. 119-128, 2015.

THE FEDERAL TRANSIT ADMINISTRATION. **The Costs of Sprawl – Revisited**. Washington, D.C.: 1998

TRAVISI, CHIARA; CAMAGNI, ROBERTO. Sustainability of urban sprawl: Environmental-economic indicators for the analysis of mobility impact in Italy. **FEEM Working Paper No. 102.05**. 2005.