

MODELAGEM DE FATORES DA EXPANSÃO URBANA E PADRÕES DE VIAGENS APLICANDO EQUAÇÕES ESTRUTURAIS

Ronny Marcelo Aliaga Medrano

Programa de Pós-Graduação em Transportes, Universidade de Brasília, Brasil
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Prédio SG-12, Brasília, Brasil; Tel: (55) 61-3107-0975
e-mail: ronnymarcelonmt@gmail.com

Pastor Willy Gonzales Taco

Programa de Pós-Graduação em Transportes, Universidade de Brasília, Brasil
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Prédio SG-12, Brasília, Brasil; Tel: (55) 61-3107-0977
e-mail: pwgtaco@hotmail.com

PALAVRAS-CHAVE: expansão urbana; abordagem de viagens baseadas em atividades; modelagem por equações estruturais; sistema de informação geográfica.

RESUMO

O objetivo do trabalho é analisar a relação dos efeitos espaciais entre expansão urbana e padrões de viagens baseadas em atividades, mediante a utilização da modelagem com equações estruturais. A estrutura teórica do modelo “ABTUS (*Activity-Based Travels of Urban Sprawl*)” foi fundamentada em dois construtos latentes: i) produção de espaço; e, ii) características socioeconômicas. O modelo foi testado em caso de estudo de Brasília-Distrito Federal para o ano 2000. Cinco vetores de expansão urbana foram identificados e os padrões de viagens mais representativos foram baseados nas sequências de atividades Residência Trabalho e Residência Estudo. A partir dos resultados obtidos foram reunidos indícios da relação entre expansão urbana e padrões de viagens baseadas em atividades.

1. INTRODUÇÃO

O transporte é essencial para o bem-estar social e econômico da população, tem estrita relação com o desenvolvimento econômico das cidades, principalmente nos países em desenvolvimento (Zhao, 2010). O rápido processo de expansão urbana gera mudanças nos transportes, gerando novos padrões de viagens, tais como o aumento das viagens motorizadas e das distancias de viagens (Gakenheimer, 1999; Kenworthy, 1995).

Observa-se que as realidades americanas, asiáticas e européias, apresentam padrões de expansão distintos da realidade latino-americana. A falta de políticas, planos urbanos e controles efetivos da maioria das cidades produz expansões urbanas caóticas, impactando na qualidade de vida dos cidadãos. Poucas cidades brasileiras conseguiram estabelecer a expansão urbana controlada e integrada a um sistema de transporte eficiente, resultando em padrões de viagens representativos da configuração urbana, como é o caso da cidade de Curitiba/PR,

Conforme afirmam Giuliano e Narayan (2003), as relações entre expansão urbana e os padrões de mobilidade urbana variam em função do contexto e das condições das cidades.

Como por exemplo, quando são consideradas as relações entre a densidade habitacional, dependência do veículo privado e uso de transporte público urbano.

Definir a relação entre a expansão urbana e o transporte urbano é um tanto difícil, pois não existe um entendimento único sobre o tema. A expansão urbana não se resume apenas a um processo quantitativo de extensão territorial e dispersão da densidade populacional, também inclui mudanças qualitativas no ambiente urbano (Castells, 1974). Dentro deste contexto de organização do espaço na estrutura urbana, pode-se dizer que o transporte é um elemento importante que interage tanto com fatores quantitativos como qualitativos do sistema urbano, influenciando e sendo influenciado pelo processo de expansão urbana (Cervero, 1998).

Para Cervero (1998) e Ewing (1997) a expansão urbana tem uma influência importante no desenvolvimento do transporte; principalmente no que se refere à geração da demanda, dos tempos de viagem e da escolha modal. Além disso, políticas e investimentos em transportes, como melhorias na infraestrutura e na provisão de serviços de transporte público urbano, podem orientar o desenvolvimento da expansão urbana.

2. TRANSPORTE E EXPANSÃO URBANA MODELAGEM

As formas de expansão urbana (dispersão suburbana e a constituição de metrópoles policêntricas) tendem a aumentar as distâncias de viagens e, principalmente, favorecem a maior dependência do uso de veículo privado e maiores custos de operação de transporte público. Além disso, a prestação de serviço de transporte público urbano ineficiente, considerando que: a demanda de transporte público urbano é baixa; a dispersão da demanda sobre o território é alta; e, o incremento da dispersão dos destinos é causado pela suburbanização das áreas de emprego (Cervero, 1989; Cervero e Kockelman, 1997; Newman e Kenworthy, 1999).

Os primeiros fatores a serem relacionados aos padrões de viagens são a densidade e sua distribuição na área urbana. Densidades baixas e dispersas estimulam maior dependência do veículo privado e geram maiores distâncias de viagem. Densidades altas e concentradas estimulam viagens curtas e maior uso de modos não motorizados e de transporte público (Friedman et al., 1994, Cervero, 1998; Duany et al., 2000; Steiner, 1994). Para Cervero e Kockelman (1997) e Ewing (1997) os maiores impactos nos padrões de viagens, além dos fatores socioeconômicos, ocorrem em função de três fatores da estrutura urbana, sendo eles: a densidade (ou a concentração, crescimento e distribuição populacional ou residencial); a diversidade (que é o uso de solo misto e ocupação urbana); e, o desenho urbano (ou o uso de solo misto e ocupação urbana).

Fatores da expansão urbana relacionados diretamente com a densidade (especificamente baixas densidades) e com a diversidade do uso de solo (residenciais *versus* industriais) influenciam de uma forma causal na formação dos padrões de viagens (Frank e Pivo, 1994; Camagni *et al.* 2002; Ewing *et al.* 2002; e Travisi *et al.* 2010).

Nesse contexto, algumas modelagens empíricas foram desenvolvidas com o intuito de prover subsidio ao entendimento da relação entre a expansão urbana e os padrões de

viagens observados. A maioria das pesquisas corresponde a países europeus, asiáticos e americanos. Um estudo comparativo entre Estados Unidos e Inglaterra foi elaborado por Giuliano e Narayan (2002). O objetivo era comparar como os fatores de forma urbana das expansões urbanas influenciavam nos padrões de viagens, além dos fatores socioeconômicos. Modelos de regressão linear foram construídos para comparar os fenômenos.

Travisi *et al.* (2010) analisaram empiricamente a relação entre expansão urbana e os viagens diárias ao trabalho para sete áreas urbanas de Itália. A modelagem de relações entre o desenvolvimento espacial e fatores explicativos relacionados a mudanças na densidade urbana foram analisadas através da técnica multivariada de regressão de seções cruzadas.

Schwanen *et al.* (2001) analisaram os impactos das estruturas urbanas monocentricas e policentricas na escolha modal e as distâncias de viagem para diferentes atividades na Holanda. Modelos de regressão logística e modelos de regressão multivariada foram utilizados para estabelecer as relações entre as variáveis. Para um estudo específico García-Palomares (2010) analisou a relação entre a expansão urbana e as viagens ao trabalho para a área metropolitana de Madrid-Espanha. Modelos de regressão lineal múltipla foram construídos para análise das relações entre os fatores de expansão urbana e de mobilidade.

3. MODELAGEM PROPOSTA

3.1 Modelagem dos fatores de expansão urbana e padrões de viagens com equações estruturais (*structural equation modelling*)

Nesta seção será dada uma introdução breve à técnica estatística utilizada neste trabalho. Equações estruturais ou “*Structural Equation Modelling*” (SEM) é uma técnica que pode lidar com um grande número de variáveis endógenas e exógenas, e variáveis latentes (não observadas) especificadas como combinações lineares das variáveis observadas. As variáveis latentes exógenas são mensuradas por indicadores cujos valores foram coletados. As variáveis latentes endógenas são também mensuradas por indicadores, mas também apresentam relações de regressão com as variáveis latentes exógenas. O método é confirmatório, e não exploratório, porque o modelador deverá formular o modelo em termos de um sistema de efeitos em uma única direção de uma variável sobre a outra (Golob, 2008), conforme representado na Eq. 1:

$$\eta = \alpha + B \cdot \eta' + \Gamma \cdot \xi + \zeta \quad (1)$$

Onde:

η = Vetor que representa as variáveis latentes endógenas é de ordem $m \times 1$;

η' = Vetor que representa as variáveis latentes endógenas mensuradas por indicadores e é de ordem $m \times 1$;

B = Matriz de coeficientes de $m \times n$ que relaciona os n fatores exógenos com os m fatores endógenos;

Γ = Matriz de coeficientes de $m \times m$ que relaciona os m fatores endógenos um com outro;

ξ = Vetor de ordem $n \times 1$ e representa as n variáveis exógenas latentes;

ζ = Vetor de resíduos de $m \times 1$ representa os erros na equação que relaciona η e B ;

α = Vetor de interceptos.

$$x = \tau_x + \Lambda_x \cdot \xi + \delta \quad (2)$$

$$y = \tau_y + \Lambda_y \cdot \xi + \varepsilon \quad (3)$$

O objetivo do modelo SEM é a estimação dos coeficientes das equações lineares 1, 2 e 3, nos quais:

τ_x e τ_y = representam os vetores dos interceptos;

δ e ε = os vetores de erros de mensuração;

ξ = o vetor de resíduos do modelo estrutural;

Λ_x e Λ_y = as matrizes de coeficientes de impactos das variáveis ξ em X e η em Y; e,

Γ e B = as matrizes dos coeficientes de efeitos diretos de ξ em η e das interações entre os construtos endógenos (η).

3.2 Concepção e sistematização do modelo *Activity-Based Travels of Urban Sprawl (ABTUS)*:

A formulação do modelo parte do pressuposto que os fatores espaciais da expansão urbana (*FEXU*) estão diretamente relacionados à geração de viagens por atividade (*GVA*). E as características socioeconômicas (*CSE*) dos indivíduos também estão diretamente relacionadas à geração de viagens.

O modelo se define da seguinte forma:

$$FEXU \rightarrow GVA; CSE \rightarrow GVA; \quad (4)$$

Considerando as relações apresentadas, pode-se definir que a geração de viagens por atividades é função dos fatores espaciais urbanos da expansão urbana e características socioeconômicas.

$$GVA = f\{FEXU, CSE\} \quad (5)$$

Assim, estes dois construtos latentes exógenos do comportamento da demanda de viagens são essenciais para explicar os padrões de viagens baseadas em atividades. As abordagens aplicadas só representam esta relação de uma forma linear entre as variáveis explicativas. O que indicaria que estas variáveis atuam de uma maneira independente entre si e seguem uma tendência linear para explicar a demanda de viagens. Mas na realidade, as variáveis não atuam de forma direta no comportamento da demanda de viagem, são na realidade explicativas de processos que influenciam a geração dos padrões de viagens baseadas em atividades.

Embora os processos sejam distintos e separados entre si, mas guardam relações de interdependência, interagindo simultaneamente e resultando no comportamento da demanda de viagens. A Figura 1 ilustra o processo de interação dos construtos latentes exógenos e endógeno, bem como as suas relações de interdependência e simultaneidade na geração de padrões de viagens.

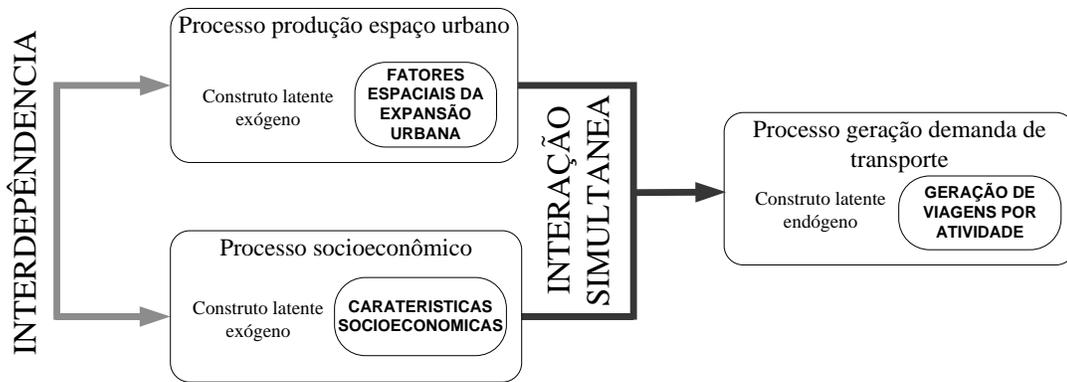


Figura 1: Representação da interação entre processos

A Equação 6 apresenta o modelo estrutural da seguinte forma:

$$\eta = \Gamma\xi + B\eta' + \zeta \quad (6)$$

Onde:

- $\eta = \{GVA\}$ = construto latente endógeno: Geração de viagens por atividades,
- $\xi = \{FEXU, CSE\}$ = constructos latentes exógenos: Fatores espaciais da expansão urbana, Características Socioeconômicas,
- $\Gamma = \{\gamma_{11}, \dots, \gamma_{nm}\}$ = matriz de parâmetros associados com os constructos exógenos,
- $B = \{\beta_{11}, \dots, \beta_{mm}\}$ = matriz de parâmetros associados com o construto endógeno,
- $\zeta = \{\zeta_1, \dots, \zeta_n\}$ = vetor de termos de erros associados à estimação.

Assim, generalizando o modelo ABTUS:

$$GVA = \gamma_{11}FEXU + \gamma_{12}CSE + \zeta \quad (7)$$

A estrutura completa do modelo ABTUS é apresentada na Figura 2. Os construtos latentes e variáveis indicadoras, bem como os parâmetros a serem estimados, são listados nas Tabelas 1 e 2.

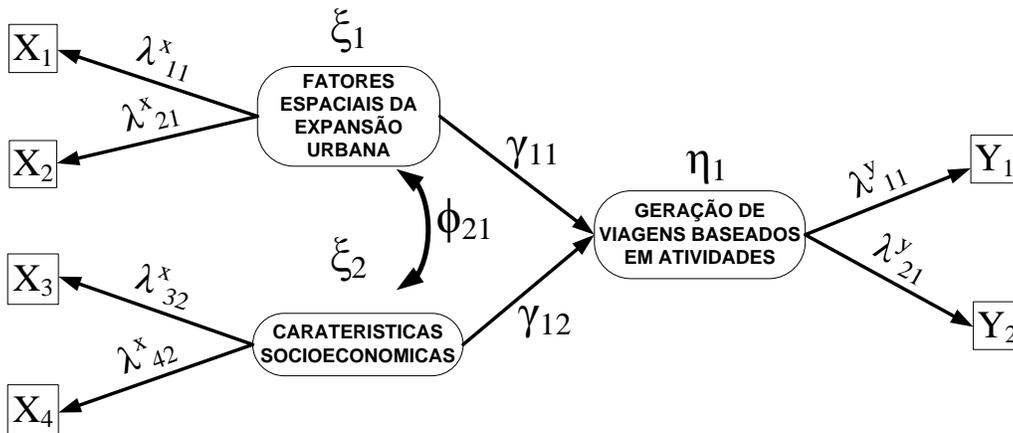


Figura 2: Modelo Activity-Based Travels of Urban Sprawl (ABTUS)

Tabela 1: Descrição das variáveis latentes e parâmetros estruturais do MPEUPV

Variável Latente	Descrição
ξ_1	Fatores espaciais urbanos da expansão urbana
ξ_2	Características socioeconômicas
η_1	Geração de viagens por atividade
Parâmetro estrutural	
γ_{11}	Impacto dos fatores espaciais da expansão urbana sobre o comportamento da demanda de viagem
γ_{12}	Impacto das características socioeconômicas sobre o comportamento da demanda de viagem
ϕ_{21}	Covarianza entre os fatores espaciais da expansão urbana e as características socioeconômicas

Tabela 2: Descrição das variáveis indicadoras e parâmetros estruturais do MPEUPV

Fatores espaciais da expansão urbana			
Variável indicadora	Notação	Parâmetro	Tipo de variável
Densidade uso de solo misto	X1	λ_{11}	Continua
Densidade residencial	X2	λ_{21}	Continua
Características socioeconômicas			
Variável indicadora	Notação	Parâmetro	Tipo de variável
Número de famílias com renda acima de 20 salários mínimos	X5	λ_{53}	Continua
Número de famílias com dois carros o mais	X6	λ_{63}	Continua
Geração de viagens por atividade			
Variável indicadora	Notação	Parâmetro	Tipo de variável
Padrão de viagens Residência Trabalho	Y1	λ_{11}	Continua
Padrão de viagens Residência Estudo	Y2	λ_{21}	Continua

4. O CONTEXTO URBANO DO DISTRITO FEDERAL

Brasília apresenta uma estrutura polinucleada, tendo o Plano Piloto como centro e a localização das cidades satélites fora da bacia do lago do Paranoá, idéia que predominou durante os anos 60 e norteou as políticas restritivas de assentamento populacional no território do DF. No início dos anos 90, intensificaram-se os conflitos na ocupação do território do DF, devido ao crescimento populacional e à ausência de oferta de moradia, principalmente para a classe média. Aumentaram as ocupações irregulares com invasões de terras públicas, em loteamentos clandestinos ofertados para a população desta classe, impossibilitada de arcar com os altos custos de moradia no Plano Piloto. Isto levou a população do DF a ser segregada espacialmente das áreas centrais, onde as populações de menor renda ficam cada vez mais afastadas das áreas centrais, onde desenvolvem a maior parte de suas atividades. Assim, assentamentos urbanos periféricos a Brasília foram

desenvolvidos, denominados popularmente de cidade satélites (ou cidades dormitório) e posteriormente passaram a formar parte das Regiões Administrativas (RA).

4.1 Coleta, análise e seleção dos dados do distrito federal

Os dados da Pesquisa Domiciliar O/D 2000 e informações das características do espaço urbano do Distrito Federal no ano 2000, obtidas por intermédio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), são utilizados no presente estudo de caso. A seguir descrevem-se estas bases de dados.

4.2 Definição dos vetores de expansão urbana

Para definição dos vetores de expansão urbana foram inseridas as zonas de tráfego georeferenciadas no ambiente SIG onde os eixos foram identificados. Aplicando uma análise de geoprocessamento da imagem satélite do Distrito Federal no ano 2000 e dados de Anjos (2010), foram identificados os seguintes eixos de expansão urbana: i) Vetor 1 - eixo Sobradinho; ii) Vetor 2 - eixo Planaltina; iii) Vetor 3 - eixo Taguatinga – Ceilândia; iv) Vetor 4 - eixo Taguatinga – Samambaia; e, v) Vetor 5 - eixo Gama. A sobreposição de *layers* facilitou a seleção de zonas de tráfego para formar os vetores de expansão urbana utilizados para a análise. Como critérios de seleção de zonas de tráfego e formação dos vetores de expansão urbana, foram considerados os seguintes:

- Primeiro, foram selecionadas unicamente as zonas de tráfego dentro do alcance dos eixos identificados.
- Segundo, foram selecionadas unicamente as zonas de tráfego com densidade residencial dentro de seus atributos. As zonas de tráfego com densidade residencial igual a zero foram descartadas.

Assim, a Figura 3 apresenta os vetores de expansão urbana formados.

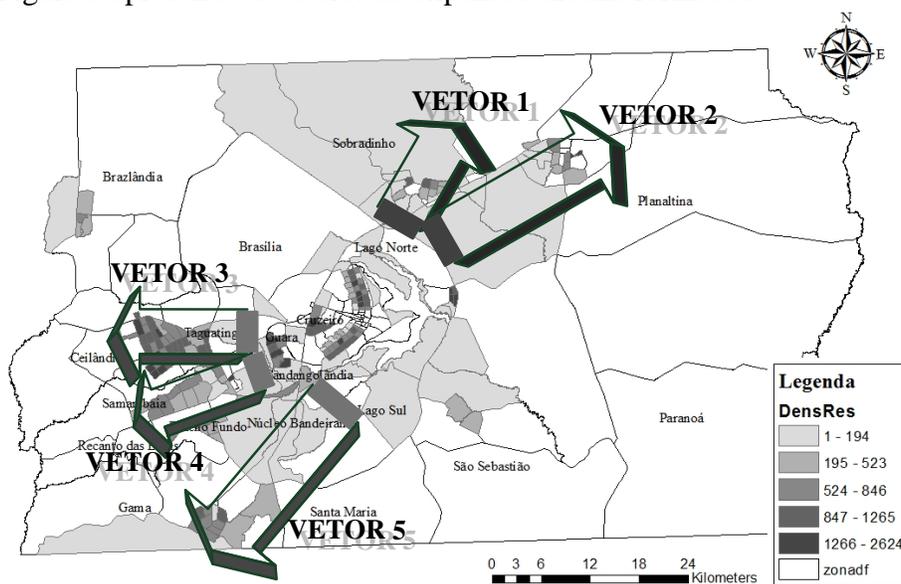


Figura 3: Vetores de expansão

4.3 Variáveis indicadoras

A base de dados, contendo as zonas de tráfego, foi classificada por vetor de expansão urbana, sendo ao todos cinco: o primeiro constituído por 18 zonas de tráfego que produzem

em total 362.645 viagens; o segundo, com 15 zonas de tráfego que produzem 286.386 viagens; o terceiro, com 42 zonas de tráfego que produzem 2.197.066 viagens; o quarto, constituído por 19 zonas de tráfego que produzem 871.705 viagens; e o quinto, com 17 zonas de tráfego que produzem 842.044 viagens. A partir desses vetores de expansão urbana, foram construídas as variáveis indicadoras para os construtos latentes.

Fatores espaciais da expansão urbana como variáveis indicadoras foram utilizadas: a densidade residencial (DEN_R), e a densidade de uso de solo misto (MIX_{US}). Na Figura 4a, observa-se a distribuição espacial da densidade residencial por zona de tráfego no DF, dividida em cinco classes. Além do Plano Piloto, existe uma concentração de zonas de alta densidade no eixo Taguatinga - Ceilândia, cujo eixo forma o vetor de expansão três. Os vetores 1 e 2 apresentam as mais baixas densidades.

No caso do indicador de densidade de uso de solo misto (MIX_{US}) a Figura 4b apresenta a distribuição espacial desta variável nas zonas de tráfego selecionadas para os vetores de expansão, divididos em quatro classes: i) valores de 0,091 até 0,239; ii) 0,240 até 0,382; iii) 0,383 até 0,602; e, iv) 0,603 até 0,930.

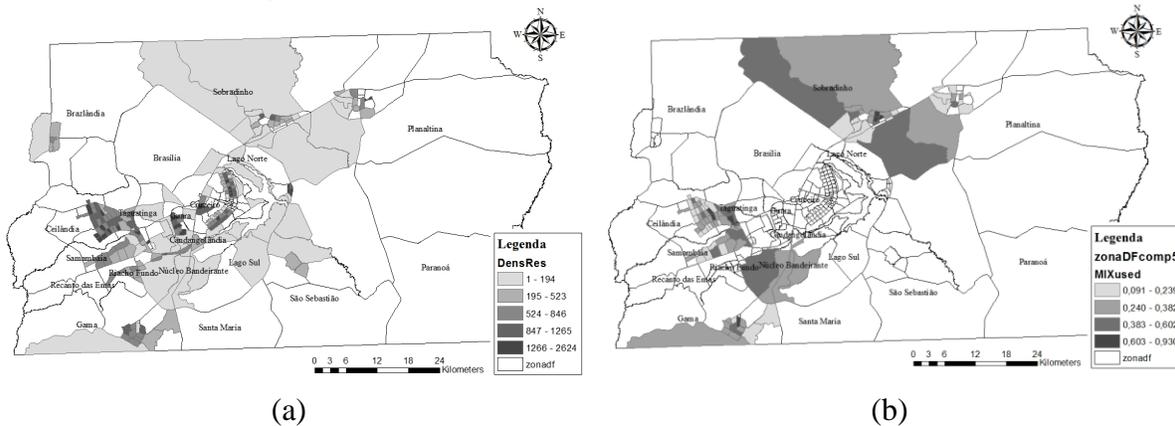


Figura 4: Mapa temático (a) da densidade residencial no Distrito Federal ano 2000 e da (b) distribuição do MIX_{US} nas zonas de tráfego selecionadas

Características socioeconômicas: Para o vetor de fatores socioeconômicos foram utilizadas as variáveis indicadoras: Número de famílias com dois carros ou mais e Número de famílias com renda acima de 20 salários mínimos. Os dados para essas variáveis foram agregadas por zona de tráfego. A Tabela 3 apresenta os parâmetros descritivos das variáveis indicadoras agrupadas por vetor de expansão urbana.

Padrões de viagens baseados em atividades: Os padrões HW (residência – trabalho) e HS (residência – estudo) representam a maioria das viagens realizadas nos vetores, considerando como base a residência (Tabela 4). O padrão HW apresenta os maiores percentagens de viagens urbanas para os vetores 1, 2, e 3. Mas, no caso dos vetores 4 e 5, o padrão HS apresenta maiores percentagens.

Observa-se que o Plano Piloto é a região de maior atração de viagens HW, considerando a distribuição espacial das linhas de desejo de viagens dos cinco vetores na Figura 5. Taguatinga representa a segunda região com maior atração de viagens HW para os vetores

3, 4, e 5, observando-se que existem também viagens internas entre os vetores de expansão urbana. Fenômenos similares de viagens ao Plano Piloto e viagens internas podem ser observadas para os vetores 1 e 2.

Os padrões HM (residência – saúde) e HA (residência – outras atividades) apresentam percentagens menores, portanto existem poucos residentes nos vetores de expansão que realizam estas atividades como principais. Portanto, é possível que saúde e outras atividades sejam realizadas como atividades secundárias, complementares às atividades principais trabalho e estudo.

Tabela 3: Parâmetros descritivos das variáveis indicadoras características socioeconômicas

Variável	No obs.	Media	Mínimo	Máximo	Std.dev
Número de famílias com renda acima de 20 salários mínimos					
Vetor 1	18	1193,000	0	8130	1973,602
Vetor 2	15	379,667	0	1384	475,025
Vetor 3	42	1318,500	0	8569	1839,955
Vetor 4	19	1327,053	0	8923	2227,023
Vetor 5	17	1919,471	0	7453	1917,273
Número de famílias com dois carros o mais					
Vetor 1	18	2705,278	0	11174	2787,558
Vetor 2	15	796,800	0	2568	811,649
Vetor 3	42	3459,119	0	10456	2841,156
Vetor 4	19	2151,316	0	7187	1794,949
Vetor 5	17	3650,941	0	8876	2624,319

Tabela 4: Frequência de padrões de viagens baseadas em atividades

Padrões de viagens B.A.		Nro. Viagens	(%) Relativo ao total de viagens baseados na residência (H) por vetor
Vetor 1	HW	204723	52
	HS	192084	48
Vetor 2	HW	203031	51
	HS	198082	49
Vetor 3	HW	1058349	51
	HS	1035170	49
Vetor 4	HW	445092	45
	HS	543114	55
Vetor 5	HW	453969	46
	HS	542894	54

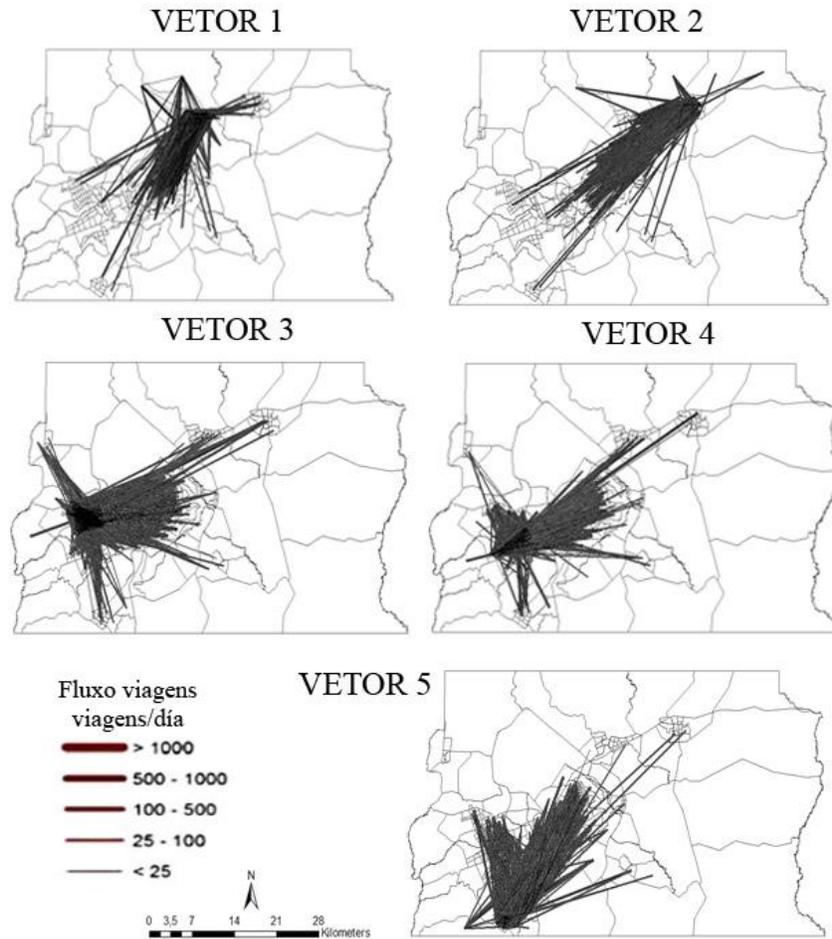


Figura 5: Fluxos de viagens HW para cada vetor de expansão urbana

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados da modelagem. A Figura 6 apresenta o modelo ABTUS com os valores dos parâmetros padronizados. A modelagem foi realizada considerando duas variáveis latentes exógenas cada uma com dois indicadores de mensuração, e uma variável latente endógena também com dois indicadores de mensuração. Os resultados da avaliação global do modelo são apresentados na Tabela 5. O modelo foi estimado utilizando a Máxima Verossimilhança. Em resumo, os resultados obtidos nos índices de avaliação global do modelo proporcionam suficiente evidência para aceitar a boa qualidade de ajuste do modelo ABTUS.

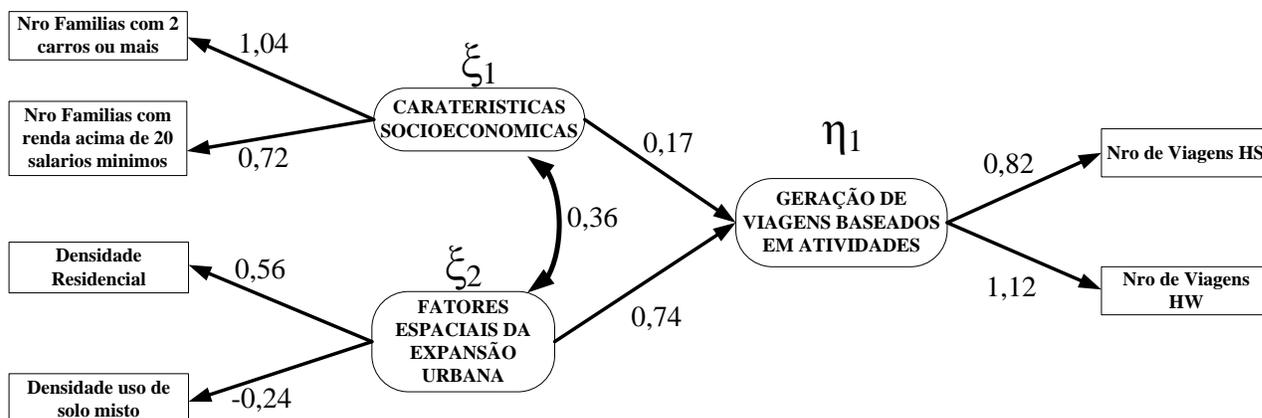


Figura 6: ABTUS com parâmetros padronizados

Na avaliação local do modelo foram analisadas todas as relações entre as variáveis com o propósito de analisar a relação entre a expansão urbana e os padrões de viagens baseadas em atividades. Na Tabela 6 são apresentados os parâmetros padronizados, a fim de medir a importância de explicação das variáveis. A Figura 6 apresenta as cargas fatoriais padronizadas para cada caminho de relação entre indicadores e variáveis latentes exógenas, e entre variáveis exógenas e a variável endógena.

Tabela 5: Índices de avaliação global do modelo

	Goodness-of-fit do modelo
Tamanho da amostra	111
Chi ² -value	9,976 (P = 0,190)
Graus de liberdade	7
Goodness-of-Fit Index (GFI)	0,973
Adjusted Goodness-of-Fit Index (AGFI)	0,919
Normed Fit Index (NFI)	0,974
Comparative Fit Index (CFI)	0,992
RMSA	0,062
	(LO90% = 0,000 ; HI90%=0,142)

5.1 Fatores espaciais da expansão urbana

O impacto dos Fatores espaciais da expansão urbana, parâmetro γ_{12} , na geração de viagens por atividade é de 0,741, satisfazendo o teste de hipótese a um nível de confiança de 1%. O que significa que os fatores espaciais da expansão urbana influenciam positivamente a geração de viagens por atividade na cidade de Brasília.

Tabela 6: Parâmetros estimados de efeitos totais padronizados

From	To		Geração de viagens por atividade		
	Fatores espaciais da expansão urbana		Características socioeconômicas		
Latentes exógenas					
Fatores espaciais da expansão urbana			γ_{12}	0,741	***
Características socioeconômicas			γ_{11}	0,167	***
Exógenas					
Densidade residencial	0,556	***			
Densidade uso de solo	-0,242	**			
Número de famílias com renda acima de 20 salários mínimos			0,716	***	
Número de famílias com dois carros o mais			1,038	***	
Padrão de viagens HW				1,115	***
Padrão de viagens HS				0,820	***

* = significante a um nível 0,10

** = significante a um nível 0,05

*** = significante a um nível 0,01

O efeito total da variável indicadora de densidade residencial, DEN_R , foi positivo o que indica que os Fatores espaciais da expansão urbana de Brasília influenciam na existência de um maior adensamento residencial nas expansões urbanas. A configuração e políticas urbanas da cidade direciona aos habitantes a procurar moradia nas expansões urbanas.

Para caso da variável indicadora de densidade de uso de solo misto, MIX_{US} , apresenta uma relação negativa. Os fatores espaciais da expansão urbana diminuem a intensidade do tipo de uso de solo, isto é as expansões urbanas de Brasília tendem a ser mais de uso residencial que outros tipos de usos de solo, o que produz viagens em procura de atividades não encontradas na expansão urbana.

5.2 Características socioeconômicas

O impacto das características socioeconômicas sobre a geração de viagens por atividade (γ_{11}) apresenta um valor de 0,167, satisfazendo o teste de hipótese a um nível de confiança de 1%. O que significa que as características socioeconômicas influenciam positivamente na geração de viagens por atividade em 0,167 na cidade de Brasília.

Os efeitos totais das variáveis indicadoras são significativos a um nível de confiança de 1%. O número de famílias que possuem dois carros ou mais é influenciado positivamente pela variável latente de características econômicas de Brasília na expansão urbana. Assim, o processo socioeconômico do setor público e a restrita moradia da cidade produziram que as famílias procurem moradia nas expansões urbanas e utilizem o carro como o principal médio de deslocamento.

No caso do número de famílias com renda superior a 20 salários mínimos, o valor estimado foi positivo. O que indica que a configuração socioeconômica da expansão urbana de Brasília apresenta uma tendência de famílias com uma elevada renda que residem nestas expansões urbanas.

A expansão urbana de Brasília apresenta características de adensamento residencial e maior motorização individual das famílias. Os resultados obtidos claramente refletem que isso é devido a influencia de processos de produção de espaço e socioeconômicos característicos da cidade. Os quais foram introduzidos na modelagem como variáveis latentes. Além disso, os dois processos influenciam positivamente na geração de viagens por atividade. Essa influencia é dada por uma relação de interdependência entre os efeitos das características espaciais da expansão urbana e as características socioeconômicas dos indivíduos que moram na expansão urbana. Essa relação pode ser interpretada pelo parâmetro ϕ da covariância.

Assim, os resultados encontrados permitem entender a importância da relação estrutural da covariância entre as características espaciais urbanas e as características dos indivíduos na geração de viagens por atividade. Para o caso de Brasília essa relação apresenta uma interdependência positiva entre fatores espaciais da expansão urbana e características socioeconômicas dos indivíduos residentes nas expansões urbanas que influenciam na geração de viagens por trabalho e estudo. Essa covariância representa a historia completa da evolução urbana da cidade de Brasília.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como observado, o processo de expansão urbana e a distribuição das atividades no espaço urbano afetam o sistema de transporte. Assim, o modelo ABTUS traz o entendimento por meio da relação entre o processo de expansão urbana e a distribuição das atividades no espaço urbano, e como isso afeta a geração de viagens, gerando impactos diretos no sistema de transporte. O modelo ABTUS pode auxiliar o planejamento, provendo um bom entendimento da relação entre a expansão urbana e os padrões de viagens baseadas em atividades. Além disso, acredita-se que esse modelo possibilite prever a resposta dos indivíduos perante mudanças no sistema de transporte, ou nos subsistemas de atividades, bem como no ambiente socioeconômico e demográfico.

Para o caso de Brasília a expansão urbana esta fortemente marcada pelo adensamento residencial e características socioeconômicas de famílias com dois o mais carros. Assim, a centralização dos empregos e o restito espaço de moradia no centro da cidade, produzem maiores viagens nas expansões urbanas por trabalho e estudo. Claramente o efeito da densidade residencial e centralização dos empregos influenciam na geração de viagens nas expansões urbanas como o caso de Estados Unidos e Europa, mas Brasília apresenta famílias que dependem do carro particular assim como famílias que utilizam transporte público e adensamentos residenciais mais concentrados.

A maioria das análises empíricas sobre expansão urbana e transporte considera uma abordagem baseada em uma relação linear entre a viagem, os fatores socioeconômicos e a forma urbana. As pesquisas têm se concentrado mais na correlação estatística entre fatores relevantes do que em relações causais. Isso leva a mais uma vez afirmar a necessidade do

entendimento do comportamento de viagem como resultante do processo de expansão urbana, o qual está sujeito a uma relação de covariância estrutural entre fatores de espaço urbano, socioeconômicos. A partir desse processo, é possível identificar fatores que mais se ajustem a realidade brasileira.

Como conclusão final pode-se afirmar que os resultados apresentados neste modelo são evidências em favor do uso regulado do solo e intervenções normativas nas expansões urbanas como ações para mudar o comportamento de viagens. O aprofundamento dessa relação pode oferecer subsídios para auxiliar na abstração de padrões e análise de demanda de viagens; ou seja, ordem e tendências que podem nortear, inclusive, processos de tomada de decisão, implantação de novos projetos, solução de problemas de congestionamentos e mobilidade, e desafios propostos para a sustentabilidade do transporte.

7. BIBLIOGRAFIA

Anjos, R. S. (2010) Monitoramento do crescimento e vetores de expansão urbana de Brasília. Brasília 50 anos de capital a metrópole. UnB, Brasília, 490p.

Camagni, R. ; Gibelli, M.C. ; Rigamonti, P. (2002). Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion. *Ecological Economics* 40, 199–216.

Castells, M. (1974). *La cuestion Urbana*. Madrid: Siglo veintiuno editores S.A.

Cervero, R. (1998) *The Transit Metropolis: a global inquiry*. Washington: Island Press.

Cervero, R., Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3D's: density, diversity, and design. *Transportation Research D* 2 (3), 199–219.

Duany, A., Plater-Zyberk, E., Speck, J. (2000). *Suburban nation: the rise of sprawl and the decline of the American dream*. North Point Press, New York.

Ewing, R. (1997). Is Los Angeles-style sprawl desirable? *Journal of the American Planning Association*, 63(1), 107–126.

Frank, L. D., Pivo, G. (1994). Impacts of mixed use and density on utilization of three modes of travel: single occupant vehicle, transit, and walking. *Transportation Research Record*, 1466, 44–52.

Friedman, B., Gordon, S.P., Peers, J.B. (1994). Effect of neo-traditional neighborhood design on travel characteristics. *Transportation Research Record* 1466, 63–70.

García-Palomares J.C. (2010). Urban sprawl and travel to work: the case of the metropolitan area of Madrid. *Journal of Transport Geography* 18 (2010) 197–213.

Golob, T.F. (2008). "Structural equation modeling for travel behavior research". *Transportation Research, B - Methodological*, 37:1-25

Giuliano, G., Narayan, D. (2002). Another look at travel patterns and urban form: the US and Great Britain. *Urban Studies* 40 (11), 2295–2312

Kenworthy, J. (1995). Automobile dependence in Bangkok: an international comparison with implications for planning policies. *World Transport Policy and Practice*, 3(1), 31–41

Gakenheimer, R. (1999). Urban mobility in the developing world. *Transportation Research A*, 33(7), 671–689

Newman, P. W. G., & Kenworthy, J. R. (1989). Gasoline consumption and cities: a comparison of U.S. cities with a global survey. *Journey of American Planners Association*, 55(1), 24–37.

Schwanen, T., Dieleman, F.M., Dijst, M. (2001). Travel behaviour in Dutch monocentric and polycentric urban systems. *Journal of Transport Geography* 9 (3), 173–185.

Travisi Chiara M., Camagni Roberto, Nijkamp Peter (2010). Impacts of urban sprawl and commuting: a modelling study for Italy. *Journal of Transport Geography* 18 (2010)

Zhao Pengjun. (2010). Sustainable urban expansion and transportation in a growing megacity: Consequences of urban sprawl for mobility on the urban fringe of Beijing. Habitat International. Elsevier.