

1630

TEXTO PARA DISCUSSÃO

O USO DA SINTAXE ESPACIAL NA ANÁLISE DO DESEMPENHO DO TRANSPORTE URBANO: LIMITES E POTENCIALIDADES

Rafael Henrique Moraes Pereira

Ana Paula Borba Gonçalves Barros

Frederico Rosa Borges de Holanda

Valério Augusto Soares de Medeiros

**Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada**

O USO DA SINTAXE ESPACIAL NA ANÁLISE DO DESEMPENHO DO TRANSPORTE URBANO: LIMITES E POTENCIALIDADES*

Rafael Henrique Moraes Pereira**

Ana Paula Borba Gonçalves Barros***

Frederico Rosa Borges de Holanda****

Valério Augusto Soares de Medeiros*****

* Os autores agradecem aos comentários de Bernardo Alves Furtado e de Leonardo Monteiro Monastério, ambos da Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais (Dirur) do Ipea, de Acir dos Santos Almeida da Diretoria de Estudos e Políticas do Estado das Instituições e da Democracia (Diest), também do Ipea, assim como a colaboração de Glauco Ferreira da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente do Governo do Distrito Federal (Seduma) e de Mônica França da Companhia de Planejamento do Distrito Federal Brasília (Codeplan) com a base de dados da Pesquisa Origem-Destino do Distrito Federal.

** Técnico de Planejamento e Pesquisa da Dirur do Ipea.

*** Doutoranda em Transportes pela Universidade de Brasília (UnB).

**** Professor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UnB e coordenador do Grupo de Pesquisa Dimensões Morfológicas do Processo de Urbanização (Dimpu).

***** Arquiteto da Câmara dos Deputados, pesquisador colaborador do Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (PPG-FAU/UnB) e professor do Centro Universitário Unieuro.

Governo Federal

Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República

Ministro Wellington Moreira Franco

ipea

**Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada**

Fundação pública vinculada à Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiro – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

Presidente

Marcio Pochmann

Diretor de Desenvolvimento Institucional

Fernando Ferreira

Diretor de Estudos e Relações Econômicas e Políticas Internacionais

Mário Lisboa Theodoro

Diretor de Estudos e Políticas do Estado, das Instituições e da Democracia

José Celso Pereira Cardoso Júnior

Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas

João Sicsú

Diretora de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais

Liana Maria da Frota Carleial

Diretor de Estudos e Políticas Setoriais, de Inovação, Regulação e Infraestrutura

Márcio Wohlers de Almeida

Diretor de Estudos e Políticas Sociais

Jorge Abrahão de Castro

Chefe de Gabinete

Persio Marco Antonio Davison

Assessor-chefe de Imprensa e Comunicação

Daniel Castro

Texto para Discussão

Publicação cujo objetivo é divulgar resultados de estudos direta ou indiretamente desenvolvidos pelo Ipea, os quais, por sua relevância, levam informações para profissionais especializados e estabelecem um espaço para sugestões.

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade do(s) autor(es), não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

SUMÁRIO

SINOPSE

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO DA LITERATURA	9
3 METODOLOGIA.....	19
4 ANÁLISES E RESULTADOS	26
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
REFERÊNCIAS	31
ANEXO	33

SINOPSE

O presente estudo explora o potencial de aplicação da Sintaxe Espacial (SE) para se analisar os efeitos da configuração urbana sobre o desempenho do transporte nas cidades. Tomou-se como estudo de caso a configuração urbana dos sistemas viários do Distrito Federal (Brasil) e de suas 19 Regiões Administrativas (RAs) além da informação sobre o tempo médio despendido nos deslocamentos realizados em automóveis dentro desses sistemas. Com análises de Regressão Linear Simples, se buscou avaliar o efeito que o grau de integração das diferentes configurações urbanas (mensurado por variáveis configuracionais tradicionais e variáveis topo-geométricas) teria sobre o tempo médio despendido nesses deslocamentos. Os resultados encontrados sugerem que existe um baixo potencial para a aplicação das medidas topológicas mais tradicionais em estudos acerca dos efeitos da configuração viária sobre o desempenho do transporte urbano; que este potencial pode ser largamente ampliado ao se utilizar medidas topogeométricas para caracterização da configuração urbana; e que sistemas viários mais integrados e mais compactos (em termos topológicos e geométricos) tendem a proporcionar uma configuração urbana mais eficiente para o desempenho do transporte urbano motorizado com menores tempos de deslocamento.

ABSTRACTⁱ

This paper explores the potentials of applying Space Syntax methodology to analyze the effects of urban configuration on cities' transport performance. The empirical analysis takes as a case study the Federal District (Brazil) and its 19 administrative regions considering its urban road systems configurations. Based on Simple Linear Regressions, the paper analyzes the effects that urban configurations with different integration degrees tend to have on the average time spent in car trips within those road systems. The integration degrees are calculated using traditional configurational variables as well as topo-geometric variables. The results indicate that traditional

ⁱ. *The versions in English of the abstracts of this series have not been edited by Ipea's editorial department.*
As versões em língua inglesa das sinopses (abstracts) desta coleção não são objeto de revisão pelo Editorial do Ipea.

topological measures are of little use in studies on the effects of road configuration on urban transportation performance. In addition, topo-geometric measures have shown much better results. Finally, preliminary findings suggest that more integrated and compact road systems (regarding topological and geometrical terms) tend to provide more efficient urban configurations for the cities' transport performance.

1 INTRODUÇÃO

Os crescentes impasses vivenciados no transporte das grandes cidades têm motivado expressiva quantidade de estudos que buscam compreender a questão da mobilidade espacial da população em áreas urbanas. Dentre estas pesquisas, destaca-se aqui a abordagem da Sintaxe Espacial (SE). Também conhecida como Análise Sintática do Espaço ou Teoria da Lógica Social do Espaço, essa linha de pesquisa foi inaugurada na década de 1970 pelos pesquisadores Bill Hillier e Julienne Hanson, na University College London (UCL/Londres – Inglaterra), com a colaboração de pesquisadores de vários países, incluindo os brasileiros.

Em síntese, a SE propõe que a configuração urbana afeta o padrão espacial de deslocamentos das pessoas pela cidade, o que tornaria possível prever quais vias serão mais e menos movimentadas com razoável grau de segurança.¹ Em linhas gerais, a configuração urbana de uma cidade seria constituída pelo seu sistema viário entendido sob uma perspectiva topológica, isto é, a partir das conexões entre suas vias tendo em vista uma interpretação relacional ou sistêmica.

Em termos de técnicas de pesquisa, a SE oferece um ferramental de análise da configuração da malha viária capaz de quantificar uma série de características das vias urbanas que tornam “[...] perceptível a definição de áreas com predominância de eixos de grande potencial de movimento em oposição àquelas áreas periféricas de menor fluxo” (MEDEIROS, 2006, p. 126-129).

A capacidade da SE em apontar a distribuição potencial dos fluxos de pessoas sobre as diferentes vias da malha urbana tem sido largamente explorada. Segundo Medeiros (2006, p. 356), “sabe-se que há uma vigorosa associação entre a forma de articulação das malhas viárias e os potenciais de acessibilidade encontrados para cada eixo em um mapa axial [...]”. Com efeito, o próprio autor da teoria da SE verificou que “[...] a quantidade de movimento que ocorre em cada linha é fortemente influenciada por seu valor de integração, ou seja, pela forma como a linha está posicionada em relação ao sistema como um todo” (HILLIER, 1996, p. 160).

1. A esse respeito, cabe observar as diversas pesquisas realizadas ao redor do mundo e que têm sido publicadas nos anais do International Space Syntax Symposium, com a 1ª edição realizada em 1997, na cidade de Londres – Inglaterra, e a 8ª edição a ocorrer em 2012 em Santiago, Chile.

Embora existam estudos que lancem mão da SE para estudar o quantitativo e a distribuição espacial dos deslocamentos nas cidades, sua aplicação em pesquisas sobre transporte e mobilidade urbana ainda possui potencial a ser explorado. Além disso, o próprio reconhecimento de suas contribuições nesta área está longe de ser uma unanimidade, carecendo de maiores discussões e estudos empíricos visando à validação ou não dessa teoria.

Seria possível, por exemplo, adotar a SE como instrumento para avaliar o grau de eficiência de diferentes configurações urbanas, no que tange ao desempenho dos deslocamentos realizados em seus sistemas viários? Seria o seu instrumental teórico-metodológico adequado para estudar desempenho do transporte urbano? Quais são seus limites e potencialidades? O presente artigo parte dessas questões e tem como objetivo explorar o potencial e os limites da aplicação da SE na análise de configurações urbanas que proporcionem ambientes de maior eficiência para o desempenho do transporte nas cidades.

Acredita-se que respostas a estas perguntas exercerão importante contribuição para pesquisas futuras que investiguem os efeitos que o desenho da malha viária possui sobre o desempenho do transporte urbano. Em termos práticos, isso permitiria apontar que tipo de configuração urbana, isto é, que padrões de malha viária seriam capazes de possibilitar um desempenho mais eficiente do transporte urbano.

Aqui esse desempenho será pensado em termos do tempo de viagem despendido em deslocamentos urbanos realizados por meios de transporte motorizados individuais (envolvendo automóveis, carros utilitários e táxis). O estudo de caso foi realizado com base nos microdados da Pesquisa Origem-Destino realizada no Distrito Federal (Brasil) no ano de 2000.

Após esta introdução, o artigo apresenta uma revisão da literatura sobre a SE, em que são apresentados alguns trabalhos que exploraram a sua aplicação em estudos sobre transporte e mobilidade espacial da população, bem como são levantadas algumas limitações para esta aplicação. Nas seções 3 e 4 são discutidos sucintamente os procedimentos metodológicos empreendidos bem como os resultados obtidos. Por fim, o artigo apresenta algumas considerações finais, tendo em vista as questões de pesquisa apontadas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 SINTAXE ESPACIAL – TEORIA GERAL

Desenvolvida a partir dos anos 1970 pelo grupo liderado pelo pesquisador Bill Hillier, UCL/Londres, a Teoria da SE parte da perspectiva de que a instância espacial é uma variável explicativa de certas dinâmicas contidas na relação entre sociedade e forma construída. O campo de investigação da SE situa-se, sobretudo, em torno de questionamentos acerca das maneiras como a configuração do espaço urbano afeta o modo como a cidade funciona e seu grau de influência sobre ela (MEDEIROS, 2006). A teoria visa, portanto, estudar as implicações sociais do espaço arquitetônico. “[...] dito em poucas palavras, objetiva o estabelecimento de relações entre a estrutura espacial de cidades e de edifícios, a dimensão espacial das estruturas sociais, e variáveis sociais mais amplas, procurando revelar tanto a lógica do espaço arquitetônico em qualquer escala como a lógica espacial das sociedades” (HOLANDA, 2002, p. 92).

De uma maneira mais geral a “estrutura espacial das cidades” é entendida sob o nome de “configuração urbana” e envolve o conjunto de relações entre o padrão de barreiras e de permeabilidades que constituem a própria estrutura física do espaço, onde a forma de disposição espacial relacional desses elementos pode proporcionar maiores ou menores facilidades (e restrições) para a sociedade desempenhar suas atividades no espaço, incluindo a circulação de pessoas.

Empiricamente, esse binômio “barreiras e permeabilidades” é constituído tanto por obstáculos ao movimento de pedestres (edifícios, jardins, piscinas, diferenças de nível etc.) quanto pelo “sistema de espaços abertos” onde esses movimentos seriam realizados. O sistema de espaços abertos poderia ainda ser analiticamente decomposto em espaços convexos e espaços axiais (HOLANDA, 2002, p. 97), que se associam ao modo de apreensão espacial dos indivíduos, fator entendido como essencial aos deslocamentos.

As pesquisas que articulam a SE para pensar as relações entre o fenômeno urbano e a mobilidade espacial da população (em particular, a mobilidade motorizada) têm focado suas análises nos chamados mapas axiais, que compreendem uma representação simplificada da malha viária e sua integração, resultado de barreiras e permeabilidades. Os mapas axiais consistem, fundamentalmente, no conjunto das vias que compõem o sistema viário da cidade entendidas sob uma perspectiva relacional, onde podem ser considerados

tanto os atributos topológicos particulares que cada uma dessas vias estabelece com suas vizinhas mais próximas (conexões locais) quanto a relação que cada uma das vias estabelece em relação a todo o sistema ao qual pertence (conexões globais).²

Sob esta perspectiva, a SE aponta que a configuração urbana de cada cidade (composta por determinado padrão de barreiras e permeabilidades, isto é, constituída por uma malha viária particular) apresenta maiores ou menores facilidades (e restrições) para a circulação, seja ela de pedestres ou de automóveis.

Hillier *et al.* (1993) chegam a afirmar, por exemplo, que a configuração da malha urbana em si constitui o principal gerador dos padrões de movimento na cidade determinando as vias que serão potencialmente mais ou menos percorridas pelos diversos deslocamentos. De acordo com os autores, na medida em que a acessibilidade é um fator de influência sobre a escolha dos deslocamentos, haveria efeitos de configuração sobre o padrão de movimentos. Nesse sentido, as características topológicas de um sistema viário (pensado enquanto um sistema de rotas possíveis) imprimem a este sistema uma espécie de campo probabilístico em que se faz possível apontar as rotas potenciais mais prováveis a serem percorridas. Como será apresentado mais adiante, diversos estudos configuracionais têm corroborado esta ideia, apontando empiricamente que: *i*) eixos longos e centrais tendem a ser mais integrados (com maior acessibilidade topológica) do que eixos curtos e periféricos; e que *ii*) aqueles espaços topologicamente mais integrados tendem a corresponder aos chamados centros ativos, que correspondem aos espaços urbanos em que há maior quantidade e diversidade de usos e fluxos.

Embora reconheçam que a distribuição espacial do uso do solo e a presença de magnetos (polos de atração de viagem) influenciem o padrão de deslocamentos no espaço, os autores defendem que haveria fortes razões para se aceitar a configuração como uma ‘causa’ primária do movimento.³ Embora isso não signifique dizer que em todas as situações a maior parte dos deslocamentos seria gerada pela configuração, Hillier

2. É importante destacar que topologia é o ramo da matemática que lida com relações espaciais, ou seja, com as propriedades dos espaços enquanto elementos conectados e dotados de limites espaciais (fronteiras), independentemente do seu tamanho e formato (RATTI, 2004a, 2004b; MEDEIROS, 2006). Assim, ao contrário da geometria, a perspectiva topológica não considera aspectos físicos como as distâncias métricas ou proporções, mas sim as hierarquias entre elementos e suas conexões.

3. No original: “In urban systems configuration is the primary generator of pedestrian movement patterns, and, in general, attractors are either equalisable or work as multipliers on the basic pattern established by configuration” (HILLIER *et al.*, 1993, p. 31).

et al. afirmam que haveria sim uma parcela dos deslocamentos que seria determinada pela configuração urbana em si, a qual os autores denominam *Movimento Natural*.

Natural movement is the proportion of movement on each line (in each street) that is determined by the structure of the urban grid rather than by the presence of specific attractors or magnets (HILLIER, 1996 *apud* STEGEN, 1997, p. 37.03).

Para a SE, portanto, a distribuição espacial dos fluxos pela cidade é pensada como uma questão fundamentalmente morfológica e topológica, um produto funcional da configuração urbana.⁴ Este tipo de abordagem, pouco enfatizado em teorias mais tradicionais de transporte e gerenciamento de tráfego, é justamente a contribuição da SE aos estudos sobre transporte e mobilidade urbana (HILLIER *et al.*, 1993; CYBIS *et al.*, 1996; BARROS *et al.*, 2008). Na próxima subseção apresenta-se a revisão bibliográfica de alguns estudos que exploraram essa contribuição em estudos de mobilidade urbana.

2.2 ESTUDOS CONFIGURACIONAIS SOBRE MOBILIDADE E TRANSPORTE URBANO

Em geral, as pesquisas que aplicam a SE no estudo da mobilidade e do transporte urbano têm concentrado esforços naquilo que Hillier denomina grau de *predictibilidade* da configuração urbana. A noção de predictibilidade parte da ideia de que em toda configuração espacial cada via urbana possui um potencial de atração de viagens que depende do seu nível de integração em relação ao sistema viário como um todo. Dito isso, o grau de predictibilidade de uma determinada configuração depende do grau de correlação entre o potencial de atração de fluxos de cada uma de suas vias (calculado pela sua respectiva medida de integração topológica) e a quantidade de fluxos reais que efetivamente passa por essas vias (de pedestres ou veículos). Esse índice é obtido *a posteriori* pelo cálculo da correlação simples (R de Pearson) ou por uma Regressão Linear Simples – método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) entre o grau de integração topológica de cada unidade do sistema viário e o número de pessoas ou automóveis que passaram por essas vias num determinado período de observação.⁵

4. Para Hillier *et al.* (1993, p. 32) isso não significa dizer que o movimento natural não constitui um fenômeno cultural. Ao contrário, as configurações espaciais existentes constituem “produtos” culturais que refletem uma lógica espacial particular de cada sociedade e compõem diferentes graus e tipos de campos probabilísticos de encontros e esquivanças entre os diversos papéis sociais (habitantes, estrangeiros, homens, mulheres, jovens, adultos, crianças, ricos, pobres etc.).

5. “Predictability in an area is the correlation between the integration values of the spaces and the observed densities of use.” (HILLIER, 1994 *apud* STEGEN, 1997, p. 37.03).

Em um amplo trabalho realizado em 1993, Hillier *et al.* apresentam uma síntese de três estudos de caso que analisam a predictibilidade da configuração de algumas regiões de Londres em relação ao movimento de pedestres. Dos estudos apresentados pelos autores praticamente todos encontraram consideráveis graus de correlação significativa entre esses dois elementos, resultados que dariam sustentação empírica a suas ideias acerca do papel da configuração urbana sobre os padrões espaciais da mobilidade.

Em um dos estudos de caso, por exemplo, foram realizados trabalhos de campo para a contagem e o mapeamento dos pedestres presentes em 239 seções de ruas nos arredores da estação de trem *King's Cross* em Londres. As visitas a campo ocorreram em diversos horários do dia e a taxa de movimento de pedestres foi normalizada pela extensão das vias. A análise de Regressão Linear Simples entre o número de pedestres e o índice de integração topológica de cada uma das seções de ruas observadas indicou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,238. Ao refazer a mesma análise considerando-se o logaritmo natural das taxas de movimento de pedestres, os autores obtiveram um R^2 com valor de 0,547, indicando que 54,7% da variação das taxas de movimento de pedestres seriam apreendidos pela variação do nível de integração topológica das ruas por onde circulam estes pedestres.⁶

Quando as mesmas análises foram realizadas separadamente para cada subárea de análise, os efeitos foram ainda mais fortes (apresentando R^2 entre 0,617 e 0,798⁷). Os autores ponderam, no entanto, que devido a limitações metodológicas não é possível afirmar com precisão quanto desses efeitos se deve exclusivamente ao fator configuracional das subáreas analisadas e quanto se deve aos polos de atração de viagens ali presentes. Na tentativa de minimizar essa dificuldade foram repetidas as análises retirando-se da regressão aquelas ruas que possuíam *shoppings centers*. Os resultados se alteram consideravelmente apresentando R^2 entre 0,66 e 0,824.⁸

6. Segundo Hillier *et al.* (1993, p. 44), diversos estudos de SE têm encontrado que o nível de integração topológica possui maior poder de predição do movimento quando são consideradas as taxas logarítmicas de movimento. Segundo os autores, isso ocorreria porque a presença de lojas (como elementos de atração de movimento dos pedestres) transformaria a relação linear básica que existe entre movimento e integração numa relação logarítmica (HILLIER *et al.*, 1993, p. 48). Isso porque: *i*) lojas atuariam como multiplicadores logarítmicos num padrão de movimentos definidos pela configuração; e *ii*) existiria um efeito global logarítmico no nível de relação entre as subáreas de análise.

7. Em apenas uma das subáreas o coeficiente não foi significativo, com valor-p igual a 0,315.

8. Aquela subárea que havia apresentado baixo nível de significância manteve um valor-p ainda consideravelmente alto ($p = 0,115$).

Um trabalho de destaque na utilização da SE para o Brasil foi o estudo de Holanda (2002) que, diante da grande diversidade morfológica entre as cidades satélites do Distrito Federal (DF), buscou caracterizar suas configurações urbanas. O estudo também verificou as relações existentes entre os padrões espaciais dessas áreas e o modo de utilização de seus espaços abertos pelos pedestres.

Para tanto, o autor lançou mão de dados primários levantados em visitas a campo durante as quais um observador registrou em mapas a presença das pessoas, estivessem elas paradas ou em movimento (HOLANDA, 2002, p. 328). As observações foram feitas em diversos lugares do DF envolvendo uma grande variedade de contextos espaciais⁹ e buscou-se avaliar, entre outras coisas, o grau de predictibilidade dessas diferentes configurações. Ou seja, buscou-se identificar a correlação (R de Pearson) existente entre a medida de integração das linhas axiais e a presença de pessoas ao longo dessas mesmas linhas.

Os resultados obtidos indicaram uma correlação relativamente alta para aquelas áreas “[...] em que a média de integração apresenta valores que se aproximam daqueles encontrados em áreas urbanas tradicionais [...]” (HOLANDA, 2002, p. 338). Esse foi o caso de Planaltina, do Setor Comercial Sul e do Paranoá Novo onde a correlação entre as medidas de integração global e a copresença de pedestres foi, respectivamente, de 0,34, de 0,42 e de 0,49. Nas análises realizadas nas SQS 405/406 e no Guará I, por outro lado, as correlações apresentaram valores muito baixos.

Segundo o autor, esse resultado aponta para o fato de que existe uma relação não linear entre integração e copresença. Holanda pondera ainda que em configurações espaciais com malhas viárias muito integradas os índices de copresença estariam sob maior influência de atributos locais (como fatores históricos de uso do solo ou a localização de magnetos) do que fatores como a integração topológica global do sistema viário em si. Em suas palavras: “[...] parece que ambos os extremos do espectro de integração tendem a prejudicar a predictibilidade” (HOLANDA, 2002, p. 331).

9. Foram feitas visitas de campo em dois locais do Plano Piloto: as SQN 405/406 e o SCS que são, respectivamente, duas quadras residenciais da Asa Norte e o Setor Comercial Sul. Também foram feitas visitas de campo em três cidades satélites: Guará I, Planaltina e Paranoá Novo. Segundo Holanda (2002), essa variedade de contextos configuracionais poderia ser analisada dentro de uma escala urbanística criada pelo autor e que teria, em um dos seus extremos, o que ele denominou “paradigma da formalidade” e no outro extremo o “paradigma da urbanidade”.

Em um artigo de 1996, Cybis *et al.* realizaram um trabalho pioneiro na aplicação da SE no estudo de sistemas de transporte motorizado no Brasil. Seu objetivo consistia em comparar a hierarquização viária fornecida por um modelo tradicional de alocação de tráfego (AX-I-MAGIC) em função do índice de utilização das vias¹⁰ e aquela hierarquização obtida com base na análise das medidas de integração topológica das vias do sistema.

O artigo tomou como estudo de caso o bairro de São José (contendo 102 intersecções) localizado na cidade de Aracaju. Os resultados obtidos indicaram que as hierarquizações viárias obtidas pelos dois modelos apresentaram resultados muito diferentes. Contudo, ressalva-se que os autores obtiveram esse resultado com base em uma comparação estritamente visual entre o mapa axial e os mapas de alocação de tráfego (estes gerados a partir de diversos cenários de demanda Origem-Destino) o que não possibilitou uma aferição objetiva e mensurável do tamanho dessa discrepância.

Barros *et al.* (2008) também realizaram um estudo buscando analisar o potencial da SE para definir parâmetros de hierarquia viária e limites de velocidade. Sua análise foi aplicada ao sistema viário do Plano Piloto de Brasília utilizando uma metodologia diferente daquela empregada por Cybis *et al.* (1996). Apesar de os autores apontarem uma baixa capacidade da análise configuracional para definição de limites de velocidade, os resultados indicaram alguma potencialidade da SE para definição de hierarquia viária.

Em outro trabalho desenvolvido por Barros, Silva e Holanda (2007) buscou-se verificar o potencial da aplicação do arcabouço teórico-metodológico configuracional em estudos de alocação de tráfego para contagens veiculares. Neste estudo os autores investigam justamente o grau de predictibilidade da configuração viária do Plano Piloto. Ou seja, se o nível de integração topológica das vias pertencentes à malha viária do Plano Piloto estaria correlacionado com o número de veículos contabilizados em cada uma de suas vias. As análises foram realizadas a partir da contagem veicular realizada pelo Departamento de Trânsito do Distrito Federal (DETRAN/DF) e considerando-se o nível de integração viária calculado pelas técnicas do mapa axial e do mapa de segmentos.¹¹

10. O índice de utilização das vias usados pelos autores é contabilizado como o volume total de viagens de cada via sobre o volume total de viagens no sistema viário, o que forneceria uma medida relativa do uso do segmento viário.

11. Esses mapas serão explicados na seção 3 sobre Metodologia.

Os primeiros resultados apontaram um coeficiente de correlação de Pearson de 0,53 entre a contagem veicular e o nível de integração calculada pelo mapa axial. Considerando o nível de integração calculado pelo mapa de segmento, a correlação chegou a $-0,62$.¹² Ao procederem à análise de Regressão Linear Simples, os valores dos R^2 obtidos para os mapas axial e mapas de segmento foram, respectivamente, de 30% e 40%. O que significa que a variabilidade no nível de integração das vias obtidas por esses mapas capta, respectivamente, cerca de 30% e 40% da variabilidade da contagem veicular naquelas vias.

Ao converter os dados para logaritmo (na base 10), observa-se que as mesmas análises apresentaram uma melhora nos resultados obtidos. Os valores do R^2 de Pearson para os mapas axial e de segmento, respectivamente, atingiram 44% e 61%. Embora os autores não explicitem o grau de significância obtido nas análises, os níveis das correlações calculadas poderiam ser considerados altos, sugerindo um alto grau de “predictibilidade” da configuração urbana do sistema viário do Plano Piloto de Brasília.

Além disso, os autores apontaram algumas utilidades para a aplicação da Sintaxe na etapa inicial de planejamento de transportes ao compararem sua aplicação com as análises realizadas utilizando-se do aplicativo Simulation and Assignment of Traffic to Urban Road Networks (SATURN).¹³ Os autores sugerem que a SE permitiria com certa facilidade uma visão heurística dos sistemas viários, possibilitando um mapeamento a baixo custo de como esses sistemas reagiriam a partir de uma dada intervenção viária. Os modelos tradicionais de transporte, por sua vez, envolveriam um volume maior de recursos na medida em que necessitariam de uma quantidade maior de dados e de tempo, o que nem sempre é possível em função das condições do projeto ou da pesquisa em curso.

12. O mapa de segmentos compreende uma derivação do mapa axial. Enquanto um mapa axial representa a menor quantidade das maiores linhas que percorrem um sistema urbano, o mapa de segmentos considera a fragmentação de cada linha em vários segmentos, de acordo com os nós existentes na trama urbana. Deste modo, haveria maior aproximação entre a representação da SE e aquela tradicionalmente adotada em engenharia de tráfego, baseada em *links* (segmentos) e nós (conexões/cruzamentos). Ao contrário do mapa axial, que serve como base para o cálculo do grau de integração topológica, o mapa de segmento é base para o cálculo do grau de profundidade média da malha viária. Enquanto as vias mais integradas tendem a ser mais utilizadas, as vias mais profundas (mais segregadas) tendem a ser aquelas menos utilizadas. Assim, a correlação entre profundidade e presença de deslocamentos tende a apresentar o sinal negativo.

13. O SATURN é um programa tradicional de análise de redes adotado em engenharia de transporte. Desenvolvido no Institute for Transport Studies, na University of Leeds, na Inglaterra, constituindo-se essencialmente por duas funções que desempenham diferentes objetivos: o módulo de alocação de tráfego – que escolhe as rotas da rede viária a serem utilizadas – e o módulo de simulação – que modela o comportamento das interseções viárias do sistema.

Esta breve revisão da literatura buscou retomar alguns estudos internacionais e nacionais que têm demonstrado a existência de um potencial para aplicação da SE nos estudos de mobilidade espacial da população e de transportes urbanos. Regularmente, estes estudos apontam que a distribuição potencial dos fluxos de deslocamentos tem apresentado uma boa correlação com a distribuição real das pessoas e de automóveis pelo sistema viário.

Se por um lado, a SE tem apresentado boa capacidade em apontar o padrão da distribuição espacial dos fluxos sobre as diferentes vias da malha urbana, por outro, existe ainda uma lacuna de estudos que explorem sua capacidade analítica em torno do desempenho desses deslocamentos. Seria o instrumental teórico-metodológico da SE adequado para estudar o desempenho do transporte urbano? Quais são seus limites e potencialidades? A próxima subseção busca sintetizar alguns limites levantados pela bibliografia acerca da aplicação da análise configuracional neste tipo de estudo.

2.3 LIMITES DA SE PARA ESTUDOS DE DESEMPENHO DO TRANSPORTE URBANO

Ainda que não tenha a pretensão de explicar toda a realidade urbana, a SE destaca um de seus atributos em particular (a configuração espacial topológica) para a compreensão da relação entre espaço e sociedade. Em suas propostas iniciais as aplicações de seus métodos e técnicas se concentravam, regularmente, em estudos sobre a configuração urbana. Ao longo do tempo, novos estudos vêm desenvolvendo sua teoria e suas técnicas e trazendo reflexões sobre algumas de suas limitações para novas aplicações. A seguir, destacamos alguns limites da aplicação da análise configuracional nos estudos sobre transportes motorizados.¹⁴

Segundo Stegen (1997), por exemplo, embora *Macro-traffic structures* (como estradas de ferro, metrô etc.) possuam importantes efeitos sobre a circulação urbana global, em particular nos grandes centros urbanos, esses elementos não são captados pelo conceito de Configuração Urbana como representado pelas técnicas da SE.

14. Para um leque mais amplo de críticas à SE, ver os trabalhos de Cybis *et al.* (1996), Stegen (1997), Ratti (2004a e 2004b), Medeiros (2006) e Barros *et al.* (2008).

Outra questão a se destacar reside no fato de que suas técnicas de análise da configuração urbana (como mapa axial e de segmento) não foram criadas inicialmente de forma a considerar algumas características viárias essenciais. Ao se focar nas características e relações topológicas das vias urbanas, a análise configuracional deixa de considerar algumas características viárias que têm importante influência sobre o desempenho do transporte urbano, tais como a capacidade viária (em termos de número e de largura das faixas de rolamento), o sentido em que flui o tráfego nas vias ou o estado estrutural do seu pavimento. Diferentes trechos do sistema viário, por exemplo, embora possam apresentar o mesmo nível de integração topológica, poderiam possuir diferentes capacidades em termos de número de faixa de rolamento e, conseqüentemente, apresentariam diferentes desempenhos em termos de intensidade e velocidade de fluxo de veículos.¹⁵

São desconsideradas também informações tridimensionais como relevos e variações topográficas, a presença de impedâncias nas vias (como travessias de pedestres, semáforos, lombadas redutoras de velocidade etc.) e algumas características de traçado viário como a angulação das curvas ou mesmo suas dimensões geométricas de distância.¹⁶

Dessa forma, duas grandes avenidas hipotéticas que possuíssem o mesmo nível de integração topológica poderiam apresentar velocidades médias de fluxo muito distintas em função da presença ou ausência de impedâncias como semáforos, lombadas redutoras de velocidade etc. Outra crítica recorrente quanto à utilização da SE em estudos de transporte reside no fato de que as técnicas tradicionalmente empregadas nas análises configuracionais desconsiderariam aspectos geométricos da realidade. Ao utilizar-se de uma perspectiva exclusivamente topológica da configuração urbana, fica claro como o sistema viário é tratado de maneira adimensional (CYBIS *et al.*, 1996; RATTI, 2004a, 2004b; MEDEIROS, 2006). Aspectos como topografia, por exemplo, não são incorporados diretamente na análise, ainda que indiretamente isso seria captado na medida em que áreas de relevo acentuado tenderiam a apresentar padrões de malha viária distintos daqueles locais planos.

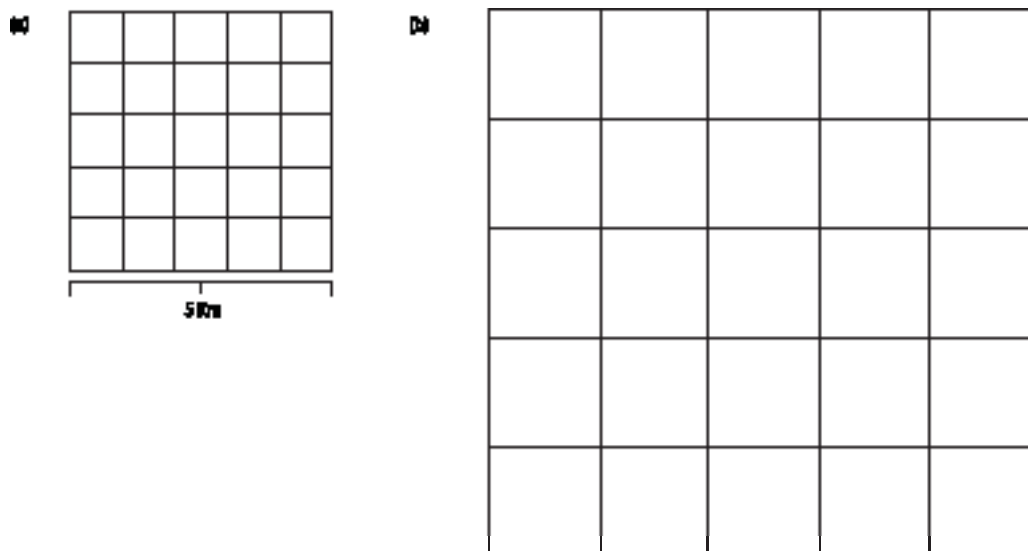
15. É possível que as técnicas de pesquisa da SE passem a incorporar estes aspectos nos próximos anos.

16. Entretanto, observando por outro ponto de vista, a SE trabalha com o aspecto de predictibilidade, conforme argumentado anteriormente. O que significa que, embora sua análise prescindia de informações do projeto geométrico das vias, ela é capaz de apontar que eixos potencialmente precisariam receber maiores investimentos e adaptações em sua estrutura física, para suportarem a capacidade de fluxo que ali poderia existir.

Além de desconsiderar propriedades geométricas das ruas como largura, tamanho e número de faixas, a análise configuracional tradicional baseada no nível de integração topológica desconsidera a extensão global do sistema como um todo. Veja-se como exemplo as duas malhas viárias hipotéticas representadas na figura 1. Ambos os sistemas viários constituem malhas uniformes regulares idênticas, exceto por seu tamanho. Enquanto a extensão de cada uma das vias do sistema “a” é de cinco quilômetros, a extensão das vias do sistema “b” é de dez quilômetros. Assim, embora o desenho da malha viária seja exatamente o mesmo, a extensão métrica do sistema viário “b” tem o dobro do tamanho do sistema “a”.

Dessa maneira, para quaisquer pares de Origem-Destino equivalentes escolhidos em ambas as malhas viárias e que fossem percorridos por um automóvel, é absolutamente natural esperar que o tempo médio de percurso em cada sistema seja diferente em função da diferença entre distâncias percorridas. Obviamente, o tempo médio de deslocamento no sistema viário “b” tenderia a ser maior do que o tempo despendido nos deslocamentos realizados no sistema “a”. E não obstante esta diferença, sob a ótica da SE, ambas as configurações viárias apresentam o mesmo valor de Integração Topológica Global (R_n) igual a 3,13374.

FIGURA 1
Malhas viárias hipotéticas



Fonte: Elaboração dos autores.

Embora a análise se torne mais complexa em sistemas viários reais, que em geral não costumam apresentar disposições tão regulares e simétricas, a desconsideração das propriedades geométricas de diferentes configurações urbanas pode ser limitadora na aplicação da SE em estudos de transporte. Assim, pode-se esperar que, em estudos comparativos que analisem sistemas viários com dimensões geométricas muito diferentes, a relação entre integração topológica e tempo de deslocamento não se apresente de maneira tão mecânica.

Portanto, a medida de integração estritamente topológica consistiria em uma *proxy* um tanto limitada do desempenho potencial do transporte naquelas vias em termos do tempo médio despendido nos deslocamentos. Essa questão vem suscitando cada vez mais a necessidade de se calibrar a análise configuracional com aspectos geométricos (RATTI, 2004a, 2004b) e incentivando novos estudos no sentido tanto de investigar a relação entre medidas topológicas e medidas geométricas (MAJOR, 1997) quanto de encontrar novas medidas que sejam topogeométricas (HILLIER *et al.*, 2007). Como fruto dessa preocupação, observa-se que a equipe da UCL fez adaptações ao seu programa de análise configuracional (Depthmap®) de forma a possibilitar análises com medidas topogeométricas.

Essas novas medidas topogeométricas possibilitadas pelo Depthmap® serão testadas na seção de análise de dados deste estudo e, portanto, exigirão ser explicadas com maior detalhamento na seção seguinte sobre a metodologia empreendida nesta pesquisa. Por hora, é suficiente lembrar ao leitor que essas limitações expostas deverão sempre estar em mente quando partirmos para a análise dos resultados obtidos.

3 METODOLOGIA

A teoria da SE defende que a configuração urbana apresenta importante influência sobre o padrão espacial das atividades que se desenrolam sobre a cidade. No presente estudo explora-se o potencial da aplicação da SE na análise do desempenho do transporte urbano. Para tanto, toma-se como estudo de caso o DF e suas 19 Regiões Administrativas (RAs)¹⁷ de forma a analisar a possível correlação que algumas características configuracionais de

17. No ano de referência deste estudo, ano de 2000, eram reconhecidas 19 RAs oficiais: Brasília, Lago Sul, Lago Norte, Cruzeiro, Guará, Núcleo Bandeirante, Candangolândia, Taguatinga, Samambaia, Ceilândia, Recanto das Emas, Gama, Santa Maria, Riacho Fundo, São Sebastião, Paranoá, Planaltina, Sobradinho e Brazlândia.

seus respectivos sistemas viários têm com o desempenho do transporte motorizado nessas áreas. Antes, contudo, se faz crucial ter claro aquilo o que se entende por “configuração urbana” e por “desempenho do transporte urbano”, assim como apresentar um método de operacionalização dessas variáveis na forma como aqui elas são entendidas.

3.1 VARIÁVEIS CONFIGURACIONAIS

Tem-se como ponto de partida o corpo teórico e metodológico desenvolvido em torno da SE, em particular aquele presente nos trabalhos de Hillier *et al.* (1993), Holanda (2002) e Medeiros (2006). Sob este ponto de vista, a noção de “configuração urbana” ganha claros contornos e poderia ser definida, em poucas palavras, enquanto o conjunto da malha viária urbana entendida sob uma perspectiva relacional (topológica), como já exposto na revisão bibliográfica.

Para operacionalização deste conceito de configuração urbana, bem como a identificação e mensuração das características configuracionais que aqui interessam, recorreu-se à técnica tradicional de tratamento dos dados nos estudos configuracionais conhecida como axialidade. A aplicação desta técnica se dá, inicialmente, com a representação gráfica da configuração urbana construída a partir do desenho do sistema viário com base nas malhas cartográficas de cada região estudada. Esta representação linear do espaço é feita traçando-se o menor número possível de retas sobre as vias existentes.¹⁸ A partir do mapa axial é possível construir também o “mapa de segmento” que segmenta cada linha axial em suas intersecções, permitindo a análise de segmentos de ruas.¹⁹ A partir de então os mapas axial e de segmento construídos são submetidos à análise no *software* Depthmap para o cálculo da matriz de conectividade e construção de medidas configuracionais.

Para o presente estudo foi construída a representação axial da malha viária do DF como um todo e de cada uma de suas 19 RAs separadamente (ver seus mapas no anexo 1). Cada uma dessas representações axiais foi submetida a análises no programa Depthmap de forma a construir seus respectivos mapas axiais e de segmento de maneira a obtermos suas diferentes características configuracionais pelos índices que aqui interessam.

18. Para mais informações sobre a metodologia utilizada no campo da SE, ver Medeiros (2006).

19. Segundo Barros, Silva e Holanda (2007), o mapa de segmento seria mais apropriado aos estudos de transporte na medida em que, ao segmentar os eixos viários em suas conexões com outros eixos, torna possível analisar características da rua (a menor unidade de análise do sistema viário) semelhantes às que tradicionalmente são consideradas na engenharia de tráfego.

Após a obtenção de uma série desses índices, foram realizados diversos testes de correlação, por meio de regressão linear simples, entre essas variáveis configuracionais (enquanto variáveis explicativas) e o desempenho do transporte urbano em cada RA e no DF. O grau de significância dessas regressões e o poder de explicação (R^2) daquelas características configuracionais dos sistemas viários sobre o tempo médio despendido nos deslocamentos nesses sistemas poderá dar algum indicativo do potencial/limite para a aplicação da SE nesse tipo de estudo.

Uma das medidas configuracionais utilizada é o índice de “profundidade média”. O grau de profundidade de uma via diz respeito ao seu grau de conectividade em relação à conectividade média de todas as demais vias do sistema (sob uma perspectiva global) ou em relação às vias mais próximas topologicamente (sob uma perspectiva de integração local). Esse grau de conectividade pode ser, portanto, pensado dentro de diferentes raios de ação envolvendo, por exemplo, um raio de ação global em que o grau desta conectividade seria calculado em relação ao sistema inteiro ou em relação a um raio de ação local em que seu grau de conectividade seria calculado em relação a um número limitado de conversões (denominado *step* no Depthmap®).

A título de exemplo, imagine um raio topológico igual a três (R3). Nesse caso, dado uma rua “a”, sua conectividade é calculada pelo número de ruas que se consegue alcançar a partir de “a” com apenas três conversões (por exemplo as ruas “x”, “y”, “z”, “w”). E sua profundidade média seria calculada pela razão entre o seu grau de conectividade (no nível de três conversões) e o grau de conectividade médio das ruas “x”, “y”, “z” e “w” (no nível de três conversões). Segundo Medeiros (2006, p. 357) essa medida “[...] esclarece o grau médio de dificuldade ou facilidade para se alcançar um eixo, e o comparativo para valores médios em sistemas distintos possibilita o faceamento de cidades a partir de um maior ou menor efeito labiríntico”.

Cabe lembrar aqui que, ao tratar de raio topológico de ação, este indicador não considera a distância geométrica (extensão das vias em metros lineares), mas sim a distância topológica (número de conversões). Ante as críticas anteriormente retomadas sobre as possíveis limitações que a utilização exclusiva dessa perspectiva pode implicar, o presente estudo inclui nas análises outras medidas topogeométricas decorrentes daqueles aprimoramentos feitos ao Depthmap®.

Nesse sentido, além das profundidades médias com raio topológico global R_n e com raio topológico local R_3 , são analisadas outras variáveis indicativas das características configuracionais como a “profundidade média de raio métrico”. Este índice possui a mesma lógica de cálculo do número potencial de linhas acessíveis empregada no índice de “profundidade média”, mas neste caso o limite do raio de ação é dado em termos métricos e não mais topológicos. Como a delimitação desses raios pode assumir um caráter arbitrário, buscou-se utilizar várias especificações de raio como uma análise de sensibilidade. No presente estudo serão investigados os níveis de profundidade média de raio métrico dos seguintes tamanhos em metros: 100, 500, 1.000, 5.000, 10.000 e 50.000.

Além dessas variáveis, utilizou-se ainda o Índice de Integração (também conhecido como índice de acessibilidade topológica ou de permeabilidade) que constitui uma das medidas de maior importância dentro do corpo teórico da SE.

O nível de integração de um sistema viário pode ser calculado tanto em função de um raio de integração que englobe o sistema como um todo (pelo índice de Integração Global com raio topológico R_n) quanto em função de um raio que envolva o nível de integração local de cada via com seus arredores (pelo Índice de Integração Local com raios topológico R_3 ou R_5 ou R_7 etc.). Esse índice é obtido em função da quantidade mínima de linhas axiais que, na média, deveriam ser percorridas para se sair de uma dada posição na cidade e chegar a outra. Conforme Holanda (2002, p. 103), isso significa que em um sistema muito integrado teríamos de dobrar, em média, um pequeno número de esquinas para ir de uma rua para qualquer outro lugar do sistema.

São utilizados nas análises a seguir o índice de integração global com raio topológico R_n e o índice de integração local com raio topológico R_3 . Cabe destacar que estes indicadores também utilizam uma noção de distância estritamente topológica do sistema viário. Reconhecendo que estes indicadores poderiam ser limitados por utilizarem uma noção de distância estritamente topológica, também foram submetidas a análises algumas medidas topogeométricas como variáveis alternativas no presente estudo. Estas medidas apresentam a mesma lógica das medidas de integração tradicionais, mas seu cálculo pelo Depthmap® é realizado de forma a ponderar a integração topológica da configuração urbana pela extensão de suas vias em metros lineares. São os seguintes indicadores: Integração topogeométrica Global R_n (ponderada pela extensão das linhas) e Integração topogeométrica Local R_3 (ponderada pela extensão das linhas).

Como primeiro passo para as análises na próxima seção, foram calculados para todas as 19 RAs e para o DF os valores de algumas de suas respectivas características configuracionais. Esses valores estão disponíveis na tabela 1.

TABELA 1

Características configuracionais dos sistemas viários do DF e de suas RAs – 2000

Região administrativa	Variáveis configuracionais						
	Profundidade média com raio topológico global Rn	Profundidade média com raio topológico global Rn (ponderada pela extensão dos segmentos)	Profundidade média com raio topológico local R3	Profundidade média com raio topológico local R3 (ponderada pela extensão dos segmentos)	Profundidade média (raio de 100 metros)	Profundidade média (raio de 500 metros)	Profundidade média (raio de 1.000 metros)
Brasília	7,3417	1,2902	6,8973	1,2380	0,8167	1,9589	2,9113
Brazlândia	5,9761	1,3116	5,7040	1,2929	0,9717	2,0343	2,6477
Candangolândia	3,4512	1,1735	3,4845	1,1494	0,3544	2,0413	2,9054
Ceilândia	7,4319	2,5936	5,4700	1,1504	0,9255	0,3594	2,6295
Cruzeiro	8,8064	2,3582	6,2673	1,2051	1,0950	2,6367	3,6043
Gama	5,6291	1,2516	5,6209	1,2030	0,9185	2,0686	2,9540
Guará	8,5475	1,2519	8,2774	2,2398	0,8201	2,0059	3,0149
Lago Norte	6,6010	1,1525	6,3177	1,1356	0,7484	1,4649	1,9679
Lago Sul	8,1071	1,3623	7,9176	1,3092	0,6612	1,7156	2,4050
Núcleo Bandeirante	5,7685	1,1634	5,7446	1,1230	0,6690	1,4218	1,8948
Paranoá	3,9471	1,2058	3,9334	1,1732	0,9583	2,2718	3,0395
Planaltina	5,2889	1,1624	5,3065	1,1527	0,7470	1,6054	2,1091
Recanto das Emas	4,3444	1,2129	4,3505	1,1811	0,8207	1,7934	2,4779
Riacho Fundo	6,8449	1,1946	6,5265	1,1680	0,8313	1,8616	2,5747
Samambaia	6,2172	1,2245	6,0171	1,2018	0,9971	2,2803	3,1952
Sobradinho	6,8159	1,2827	6,0949	1,2537	0,6599	1,5909	2,2331
São Sebastião	7,3834	1,1886	7,4130	1,1545	0,7250	1,5406	2,1907
Santa Maria	5,5741	1,2056	5,5799	1,2019	0,8283	1,9399	2,7047
Taguatinga	7,1741	1,2064	7,0975	1,1851	0,7963	1,8045	2,5191
Total (DF)	9,8651	1,2274	9,5925	1,1973	0,8617	1,9259	2,6985

Fonte: Elaboração dos autores utilizando-se DepthMap®.

(continua)

(continuação)

Região administrativa	Variáveis configuracionais							
	Profundidade média (raio de 5.000 metros)	Profundidade média (raio de 10.000 metros)	Profundidade média (raio de 50.000 metros)	Profundidade média (raio de 50.000 metros)	Integração global com raio topológico Rn	Integração topo-geométrica global Rn (ponderada pela extensão das linhas)	Integração local com raio topológico R3	Integração topo-geométrica local R3 (ponderada pela extensão das linhas)
Brasília	5,8928	6,6247	5,0200	7,3544	0,8100	1,4217	11,4286	2,3450
Brazlândia	5,5620	1,3116	5,1104	5,9761	0,9578	2,0419	7,3469	2,3441
Candangolândia	3,4512	3,4512	3,4845	3,4512	1,3232	1,8765	4,5004	2,3747
Ceilândia	4,7905	5,3050	4,3699	5,4638	1,3200	2,2402	7,5502	2,6057
Cruzeiro	6,4102	6,6084	6,0631	6,6084	0,8844	1,4879	8,3714	2,3347
Gama	5,5932	5,6036	5,0610	5,6290	1,2338	1,9387	7,4747	2,4799
Guará	6,7496	8,0792	6,5368	8,5476	0,7293	1,5851	11,6888	2,2882
Lago Norte	5,2253	6,3462	4,9555	6,0092	0,6944	1,5471	10,4270	2,3061
Lago Sul	4,9877	6,1891	4,5756	8,1074	0,5697	1,4577	14,6433	2,3645
Núcleo Bandeirante	3,7676	5,0410	3,5996	5,7684	0,8784	1,7930	8,2012	2,3162
Paranoá	3,9321	3,9471	3,8750	3,9471	1,3294	1,7543	5,2050	2,4703
Planaltina	4,4185	4,9660	4,7065	5,2889	0,9746	2,0539	8,2709	2,4338
Recanto das Emas	4,0213	4,3400	3,9215	4,3445	1,0695	1,9253	6,9863	2,4754
Riacho Fundo	4,6969	6,3325	4,5204	6,8448	0,7524	1,8257	9,2724	2,3573
Samambaia	5,7274	6,1638	5,2111	6,2172	1,0097	1,8353	9,4060	2,4851
Sobradinho	4,7760	6,0491	4,5808	6,8155	0,9372	1,7149	9,0187	2,3950
São Sebastião	4,7495	6,7225	4,6137	7,3834	0,6839	1,7045	10,7908	2,3160
Santa Maria	4,3179	4,8948	4,0845	5,5741	0,9007	1,8600	9,1825	2,3839
Taguatinga	5,3459	6,2771	4,8574	7,1741	0,8021	1,7921	11,8022	2,4523
Total (DF)	5,0408	6,2993	4,8906	9,4359	0,6775	1,7913	18,3768	2,4425

Fonte: Elaboração dos autores utilizando-se DepthMap®.

3.2 VARIÁVEL “DESEMPENHO DO TRANSPORTE URBANO”

Dentre as diversas possibilidades para se analisar o desempenho do transporte urbano (como os custos de operação e manutenção de sistemas, custos sociais de acidentes, custos de manutenção de vias ou emissão de poluentes etc.), o tempo despendido nos deslocamentos tem sido uma medida largamente aceita pela bibliografia especializada, independentemente do modal de transporte utilizado (LIMA, 1991; ROBERTS; THUM, 2005).

Neste estudo, portanto, a variável “desempenho do transporte urbano” é entendida como o tempo despendido nos deslocamentos realizados. Para fins de comparabilidade, contudo, serão considerados apenas aqueles deslocamentos realizados por meios de transporte motorizados individuais (envolvendo automóveis e táxis). Não serão considerados aqueles deslocamentos realizados por ônibus ou metrô. A existência desses serviços bem como seus itinerários podem variar muito entre as RAs que serão analisadas, e poderia distorcer as informações de tempo de deslocamento. Tampouco serão considerados neste estudo os deslocamentos realizados a pé. Isto porque, conforme exposto por Holanda (2002, p. 321), as sintaxes urbanas do ponto de vista do pedestre e do motorista são marcadamente distintas no DF.

A base de dados utilizada consiste na Pesquisa Origem-Destino realizada no DF em 2000 pela Companhia do Desenvolvimento do Planalto Central do Brasil (Codeplan, 2002). Para cada deslocamento realizado num típico dia útil do ano de referência, a pesquisa permite identificar o modal de transporte utilizado, o tempo gasto no deslocamento bem como sua origem e destino. Assim, foi possível filtrar os dados de forma a contabilizar apenas o tempo médio despendido naqueles deslocamentos realizados internamente a cada RA e ao DF segundo os modos de transporte desejados.

Segundo os dados da pesquisa, o número de deslocamentos realizados internamente a cada RA num típico dia útil do ano de 2000 era de 520.642, considerando-se apenas aqueles deslocamentos realizados por auto/utilitário e táxi. Incluindo neste cômputo aquelas viagens realizadas entre as RAs, tem-se que o DF apresentou, ao longo de um típico dia útil, cerca de 1.000.198 deslocamentos internos realizados às RAs por aqueles meios de transporte.²⁰ A informação do tempo médio gasto nesses deslocamentos é apresentado na tabela 2 e foi submetida às análises de regressão, cujos resultados serão explorados na próxima seção.

20. De forma a refinar a qualidade dos dados foram retiradas aquelas observações cujo tempo de deslocamento declarado pelo entrevistado fosse um *outlier*. Foram considerados *outliers* aqueles deslocamentos cujo tempo de deslocamento declarado era pelo menos seis vezes superior ao valor do desvio-padrão da distribuição original dos dados (igual a 8,17 minutos) ignorando-se, assim, 270 viagens envolvendo cerca de 0,06% das observações.

TABELA 2

Número total e tempo médio dos deslocamentos por modo auto/utilitário e táxi realizados internamente a cada RA num típico dia útil no DF – 2000

Região administrativa	Variável de desempenho	
	Tempo médio	Número de viagens
Brasília	14,41	267.826
Brazlândia	8,38	4.988
Candangolândia	6,43	1.713
Ceilândia	10,56	29.538
Cruzeiro	7,86	13.093
Gama	9,53	28.788
Guará	11,77	37.498
Lago Norte	13,80	3.678
Lago Sul	13,14	7.682
Núcleo Bandeirante	8,40	4.433
Paranoá	11,98	687
Planaltina	10,58	10.621
Recanto das Emas	12,70	2.496
Riacho Fundo	7,85	1.738
Samambaia	10,34	9.083
Sobradinho	9,28	18.281
São Sebastião	13,93	2.223
Santa Maria	11,10	2.457
Taguatinga	12,42	73.819
Total (DF)	19,31	1.000.198

Fonte: Elaboração dos autores com dados da Codeplan – Pesquisa Origem-Destino Domiciliar de 2000.

4 ANÁLISES E RESULTADOS

Realizadas as análises de regressão linear simples entre as diversas características configuracionais dos sistemas viários analisados (tomadas como variáveis independentes) e o tempo médio dos deslocamentos por automóvel realizados internamente a estes sistemas num típico dia útil (tomada como variável dependente), os resultados obtidos são dispostos a seguir na tabela 3. É necessário ter em mente que as análises se limitaram a 20 observações (19 RAs mais DF), o que pode comprometer a significância das análises de regressão em alguns casos.²¹

21. Grosso modo, uma análise de regressão cujo valor-p fosse de 0,15 poderia ser interpretada como se houvesse 15% de chance de o resultado desta regressão (seu R^2) ser mera coincidência estatística. O aumento do número de observações utilizadas nas análises de regressão tende a dar maior robustez para análises.

TABELA 3

Resultados da regressão linear simples entre variáveis configuracionais e variável de desempenho

Variáveis configuracionais	Variável de desempenho	Estatísticas	
		R ² (%)	Valor-p
Profundidade média com raio topológico global Rn	Tempo médio de desloc.	21,8	0,0380
Profundidade média com raio topológico global Rn (ponderada pela extensão dos segmentos)	Tempo médio de desloc.	38,9	0,0033
Profundidade média com raio topológico local R3	Tempo médio de desloc.	3,8	0,4094
Profundidade média com raio topológico local R3 (ponderada pela extensão dos segmentos)	Tempo médio de desloc.	0,3	0,8060
Profundidade média (raio de 100 metros)	Tempo médio de desloc.	1,0	0,6801
Profundidade média (raio de 500 metros)	Tempo médio de desloc.	1,3	0,6339
Profundidade média (raio de 1.000 metros)	Tempo médio de desloc.	2,7	0,4848
Profundidade média (raio de 5.000 metros)	Tempo médio de desloc.	2,1	0,5402
Profundidade média (raio de 10.000 metros)	Tempo médio de desloc.	14,5	0,0978
Profundidade média (raio de 50.000 metros)	Tempo médio de desloc.	30,5	0,0115
Integração global com raio topológico Rn	Tempo médio de desloc.	22,0	0,0370
Integração topo-geométrica global Rn (ponderada pela extensão das linhas)	Tempo médio de desloc.	58,0	0,0001
Integração Local com raio topológico R3	Tempo médio de desloc.	8,5	0,2128
Integração topo-geométrica Local R3 (ponderada pela extensão das linhas)	Tempo médio de desloc.	0,5	0,7664

Fonte: Elaboração dos autores.

Uma primeira observação que se pode fazer é que, ao contrário das medidas globais, as medidas locais apresentaram resultados muito insatisfatórios. Tanto as medidas de profundidade quanto de integração ou mesmo as medidas de raio métrico locais (até 5.000 metros) apresentaram valor-p muito alto e R^2 muito baixos. Esse resultado, em si, pode ser interessante na medida em que corrobora a ênfase dada pela Teoria da SE às características globais da configuração urbana como dimensão explicativa do padrão espacial de mobilidade.

Pode-se observar também que as variáveis de profundidade média com raio topológico Global Rn calculado a partir do mapa de segmento e o índice de Integração Global com raio topológico Rn obtido pelo mapa axial apresentaram resultados muito próximos com poder de explicação (R^2) entre 21,8% e 22,0% e valor-p entre 0,038 e 0,037. Portanto, além de apresentarem valores de significância aceitáveis (menores do que 4%), nota-se que a variação desses índices é capaz de captar cerca de 22% da variação do tempo médio de deslocamento nos sistemas de transporte analisados, um valor que não é alto, mas tampouco desprezível.

Talvez o resultado mais importante do presente estudo diga respeito à aplicação das medidas topogeométricas na análise do transporte urbano. Destacam-se inicialmente os resultados obtidos com as variáveis de profundidade média por raio métrico. Embora essas variáveis tenham apresentado resultados muito insatisfatórios, nota-se que há uma melhora nos resultados obtidos à medida que os raios de ação vão se ampliando. Ao final, a medida com raio métrico de 50 quilômetros apresentou um valor-p de 0,0115 e um R^2 de 30,5%, maior inclusive do que o R^2 obtido pelas medidas estritamente topológicas globais mais tradicionais (como profundidade média Rn ou integração global Rn).

Merecem destaque também as análises que utilizaram as versões topogeométricas daquelas medidas globais mais tradicionais. Observa-se que a utilização das medidas topológicas ponderadas pela extensão métrica das vias pertencentes a cada configuração viária obteve resultados surpreendentemente melhores. A Profundidade Média com raio topológico global Rn (ponderada pela extensão dos segmentos), por exemplo, alcançou um R^2 de 38,9% com reduzido valor-p. A versão topogeométrica da medida de integração global (Integração topogeométrica global Rn ponderada pela extensão das linhas), por outro lado, obteve um R^2 de 58% com valor-p de 0,0001. Isso significa que 58% da variação do tempo médio de deslocamento em cada unidade territorial analisada é captada pelos diferentes níveis de integração topogeométrica global de seus sistemas viários.

Deve-se destacar ainda que algumas análises preliminares do presente estudo apresentaram uma sensível melhora (cerca de 10%) no R^2 dessas regressões ao se restringir o cálculo de tempo de deslocamentos àqueles deslocamentos realizados por motivo de trabalho ou àqueles deslocamentos realizados em horário de pico (nos períodos entre 7h e 9h e entre 18h e 20h). As razões que levariam a essa maior correlação nesses casos necessitaria ainda de maiores investigações.

Por fim, cabe destacar que os resultados obtidos apresentaram constante coerência ao assinalarem que a relação existente entre nível de integração e tempo de deslocamento se apresenta de maneira inversamente proporcional. Ou seja, sistemas viários com configurações mais integradas favorecem que, em média, os deslocamentos motorizados ocorram em menores intervalos de tempo promovendo maior eficiência do transporte urbano com deslocamentos mais rápidos. No sentido contrário, observa-se que sistemas viários mais profundos (menos integrados) tendem a ser menos eficientes com deslocamentos mais demorados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo era explorar o potencial de aplicação do ferramental teórico-metodológico da SE no estudo do desempenho do transporte urbano. Para tanto, utilizou-se como estudo de caso a configuração urbana dos sistemas viários do DF e de suas 19 RAs. Após a construção dos mapas axiais e de segmento desses sistemas, utilizou-se o *software* Depthmap® para identificar suas características configuracionais de acordo com variáveis tradicionais em estudos de SE – como as medidas de profundidade média global e local e as medidas de integração topológica global e local. Foram calculadas também algumas características topogeométricas daqueles sistemas viários como medidas de profundidade com diferentes raios métricos e versões topogeométricas daqueles indicadores tradicionais recalculados de forma a ponderar seus valores pela extensão métrica das vias que compõem os sistemas analisados.

Essas variáveis configuracionais foram utilizadas em análises de Regressão Linear Simples como variáveis explicativas do tempo médio de deslocamentos urbanos realizados por meios de transporte motorizados individuais naquelas unidades territoriais. Os dados sobre tempo de deslocamento foram obtidos com base nos microdados da Pesquisa Origem-Destino, realizada no DF no ano de 2000.

Os resultados obtidos são provocativos no sentido de: *i*) sugerir que características configuracionais globais importam para o desempenho do espaço urbano mais do que suas características locais; *ii*) indicar que existe um baixo potencial para a aplicação das medidas topológicas mais tradicionais da SE em estudos acerca dos efeitos da configuração viária sobre o desempenho do transporte urbano; *iii*) sugerir que este potencial pode ser largamente ampliado ao utilizar-se de medidas topogeométricas para caracterização da configuração urbana; e *iv*) sugerir que sistemas viários mais integrados e mais compactos (em termos topológicos e geométricos) tendem a proporcionar uma configuração urbana mais eficiente para o desempenho do transporte urbano motorizado com menores tempos médios de deslocamento. Isso reforça a ideia de que sistemas viários mais compactos e mais integrados seriam também economicamente eficientes, e ambientalmente menos agressivos (em termos energéticos e de emissão de poluentes).

Existe ainda uma gama de medidas configuracionais que poderiam ser exploradas, como a compacidade da configuração urbana, o grau de economia da malha além de

outras medidas de integração e profundidade e diferentes raios de ação. A medida do grau de *inteligibilidade* das diferentes configurações urbanas também parece possuir um potencial promissor nesse tipo de análise. Segundo Stegen (1997), essa variável seria importante na medida em que, junto com a medida de integração, ela constitui uma das qualidades que contribuiria para que os indivíduos se comportassem de maneira “eficiente”. Isso porque o grau de inteligibilidade de uma configuração contribuiria enormemente para o grau de predictibilidade que essa configuração apresentará. Nas palavras de Hillier: *Virtual communities can only become real, and be predictable, if spatial environments are intelligible* (HILLIER *et al.*, 1993, *apud* STEGEN, 1997, p. 37.04).

Concordando com a ponderação feita por Hillier *et al.* (1993), contudo, algumas limitações metodológicas não permitem afirmar com precisão quanto dos resultados obtidos se deve exclusivamente ao fator configuracional das áreas analisadas. Diante do pequeno número de observações nas análises de regressão realizadas no presente estudo, a aplicação de um método de análise multivariada teria sua validade estatística comprometida. O avanço da presente pesquisa deverá contar com replicação desse estudo para outras regiões metropolitanas com um maior número de cidades. Aí então se espera encontrar resultados mais consistentes por meio de análises que controlem uma série de outros fatores que influenciam o tempo de deslocamento no transporte urbano, como o número de semáforos em cada sistema, os limites de velocidade de suas vias, capacidade da malha viária em termos de faixas de rolamento etc. Outras técnicas de análise estatística também poderão trazer resultados mais consistentes, por exemplo, realizando-se análises multiníveis que considerem o tempo despendido em cada deslocamento, e não a média dos deslocamentos em cada cidade ou bairro.

Se os resultados aqui encontrados forem mesmo corroborados por outros estudos e se sustentarem para outras aglomerações urbanas, então serão reforçadas as ideias de que: *i*) os estudos de SE podem contribuir de forma complementar ao campo teórico e metodológico dos estudos urbanos e de transporte; *ii*) recomendações sobre intervenções viárias em grandes cidades deveriam ser orientadas para aumentar o grau de permeabilidade global dos seus sistemas de transporte; e *iii*) o desenvolvimento urbano das cidades deveria priorizar espaços mais adensados e menos dispersos.

REFERÊNCIAS

BARROS, A. P. B. G.; SILVA, P. C. M. da; HOLANDA, F. R. B. de. Metodologia de comparação estatística entre SATURN e sintaxe espacial. In: XIV CLATPU – Congresso Latinoamericano de Transporte Público y Urbano. **Transporte, integração e mobilidade: desafios para um desenvolvimento socialmente inclusivo na América Latina**. Rio de Janeiro: ALATPU – Asociación Latinoamericana de Transportes Públicos y Urbanos, 2007.

_____. *et al.* Road hierarchy and speed limits in Brasília/Brazil. In: 9th International Conference on Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, 2008, Leende. **Proceedings ... 9th International Conference on Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning**, 2008.

CODEPLAN. **Pesquisa domiciliar: transporte 2000**. Brasília: Codeplan, 2002.

CYBIS, H. B. B. *et al.* Uma comparação entre modelos configuracionais e modelos de alocação de tráfego. In: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 10. 1996, Brasília. **Anais**. Brasília: ANPET, v. I. p. 269-278, 1996.

HILLIER, B. **Space as a Material**. Paper to the conference of the Association Internationale de Semiotique de l'Espace at Berkeley, 12-18 June 1994.

_____. **Space is the machine**. Londres: Cambridge University Press, 1996.

_____. *et al.* **Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement**. In: Environment and Planning B, Londres: Pion Publication, v. 20, n. 1, p. 29-66, 1993.

_____. *et al.* Metric and topo-geometric properties of urban street networks: some convergences, divergences and new results. **Proceedings**, 6th International Space Syntax Symposium, İstanbul, 2007.

HOLANDA, F. de. **O espaço de exceção**. Brasília: EdUnB, 2002.

LIMA, I. M. de O. **Plano de transporte: um mecanismo de avaliação**. Brasília: Ipea, 1991 (Texto para Discussão, n. 239).

MAJOR, M. D. Are American cities different? In: 1st International Space Syntax Symposium, 1997, Londres – Inglaterra. **Proceedings...** Londres: Space Syntax Laboratory/The Bartlett School of Graduate Studies/University College London, 1997. v. 3, p. 09.1-09.14.

MEDEIROS, V. A. S. de. **Urbis Brasiliae ou sobre cidades do Brasil: inserindo assentamentos urbanos do país em investigações configuracionais comparativas**. 2006. Tese (Doutorado) – PPG/FAU/UnB, Brasília, 2006.

RATTI, C. **Space syntax**: some inconsistencies. Environment and planning B: Planning and Design 2004, v. 31, p. 487-499, 2004a.

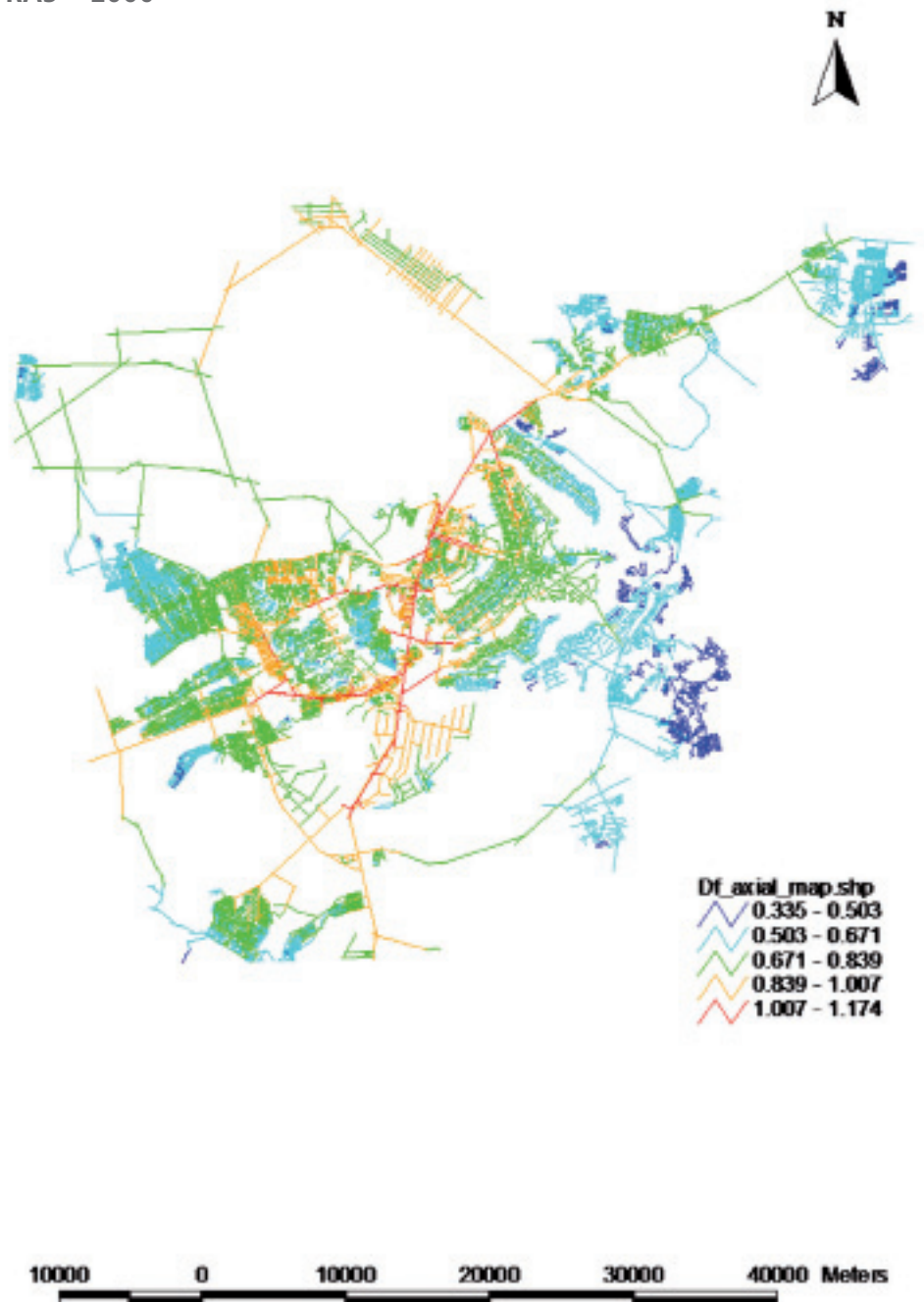
_____. **Rejoinder to Hillier and Penn**. Environment and Planning B: Planning and Design 2004, v. 31, p.513-516, 2004b.

ROBERTS, P.; THUM, C. **Transport core measures and indicators**: a users guide. World Bank, Work in Progress, Mar. 2005.

STEGEN, G. Proposal for a methodical use of space syntax analysis in development and land use plans. Space Syntax First International Symposium. **Proceedings...** v. III. London, 1997.

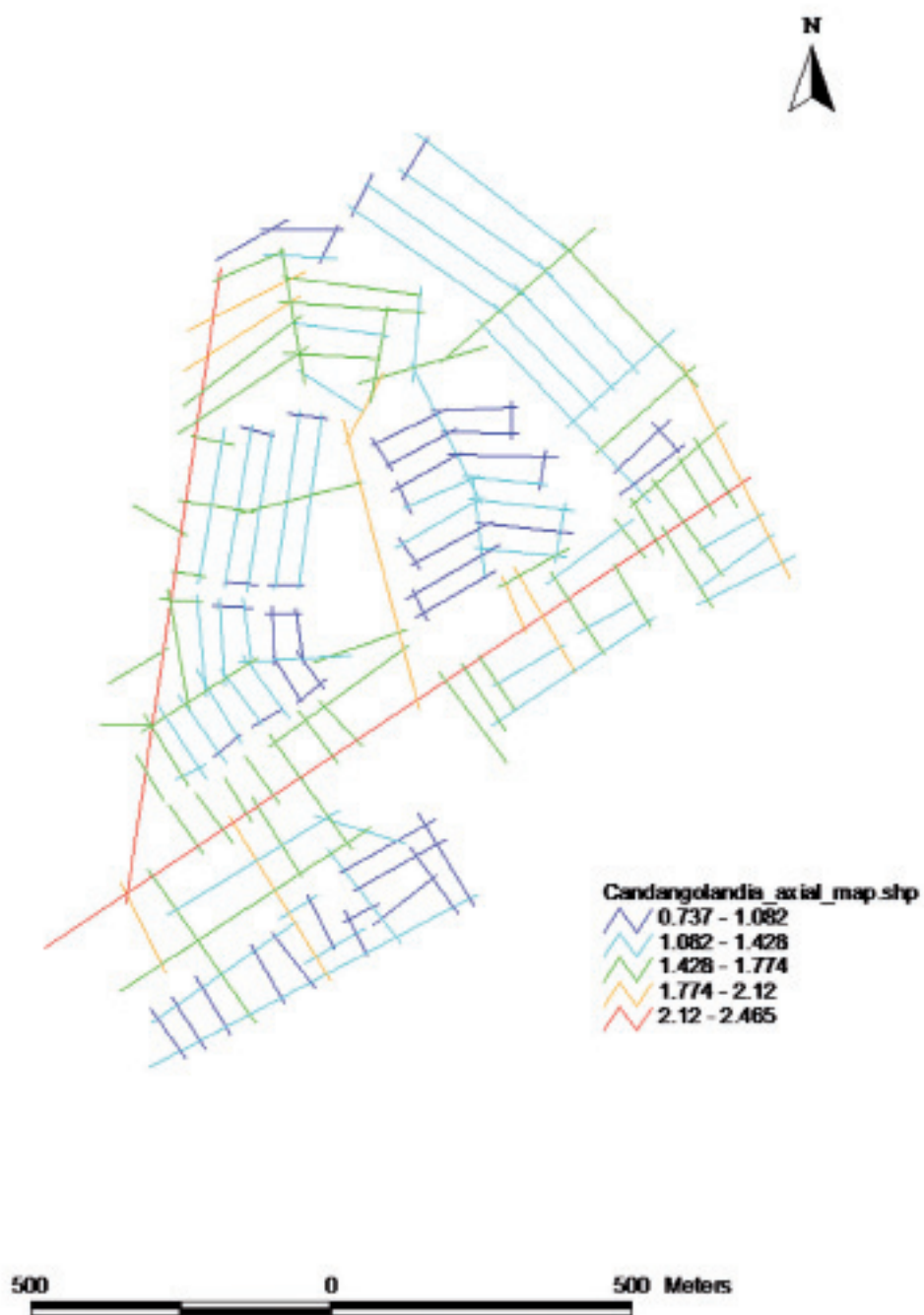
ANEXO 1

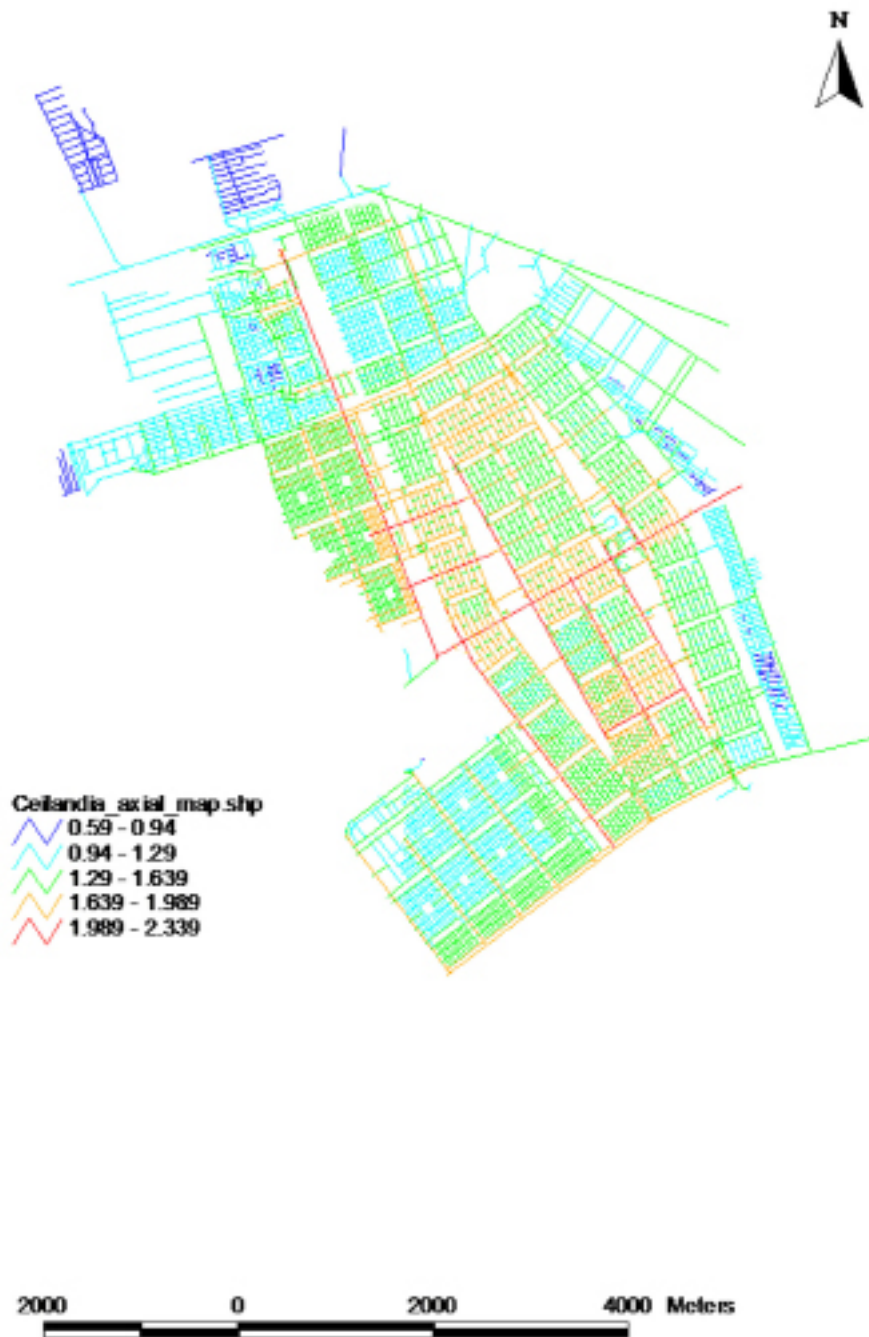
MAPAS AXIAIS DE INTEGRAÇÃO TOPOLÓGICA GLOBAL (RN) DO DF E SUAS RAS – 2000



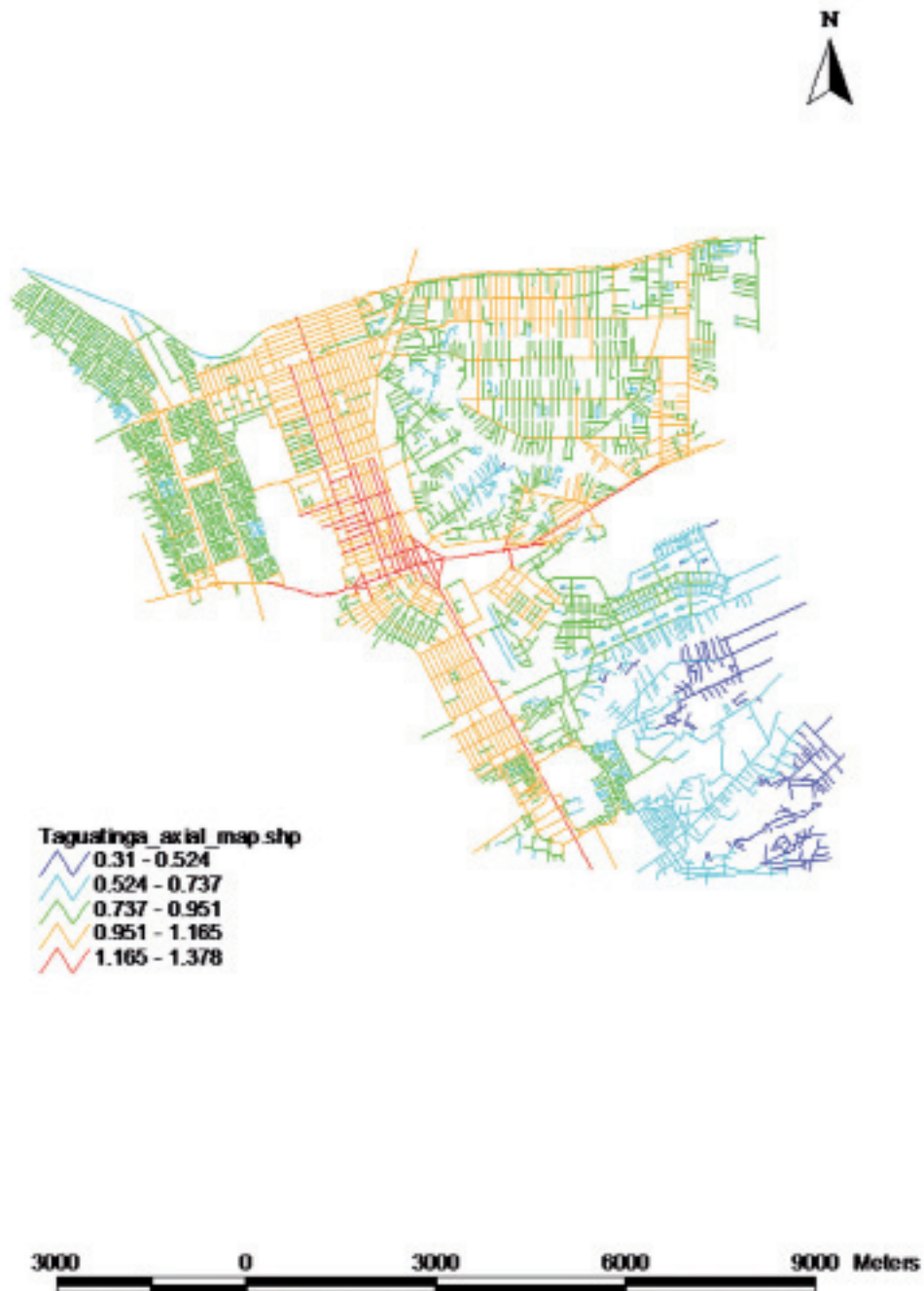


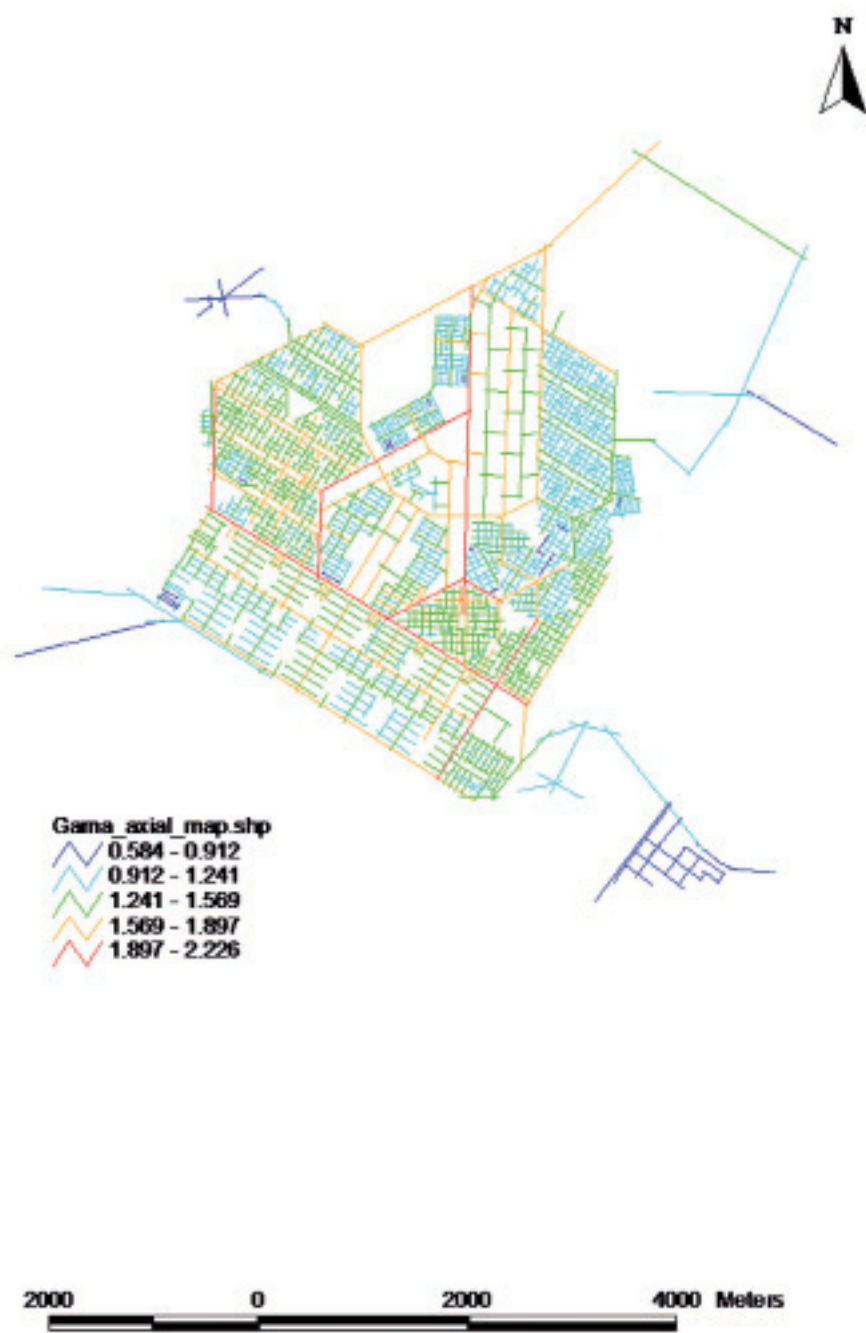


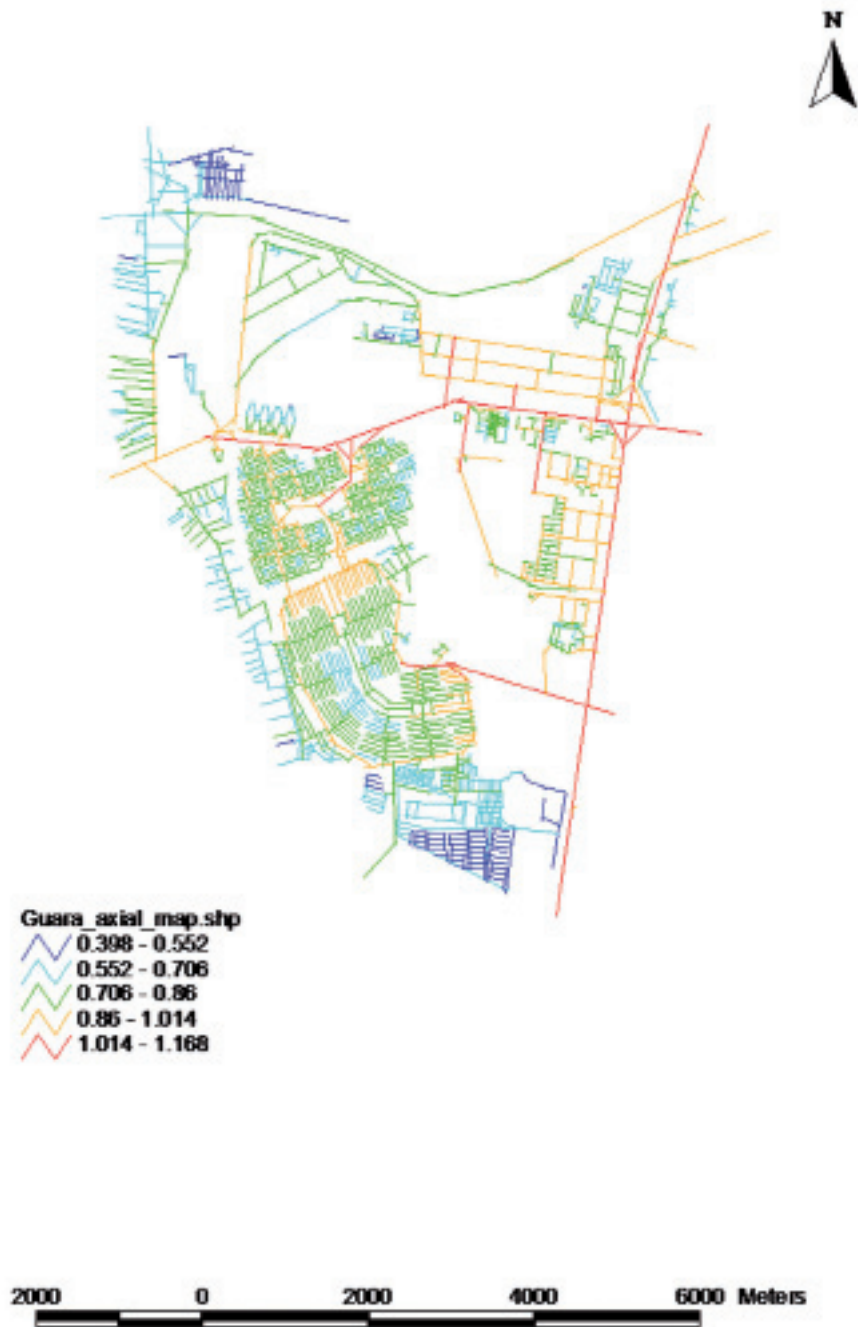


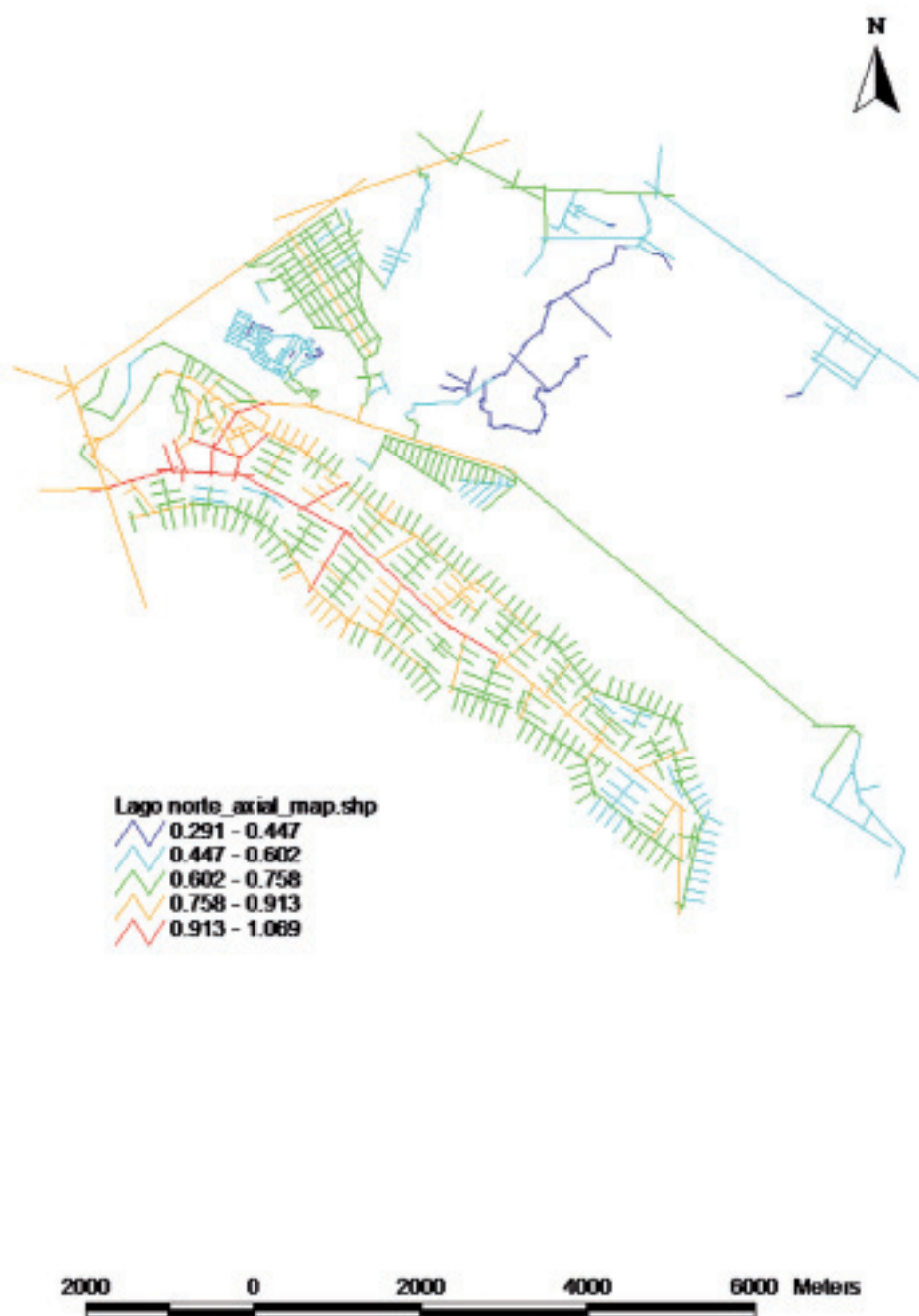


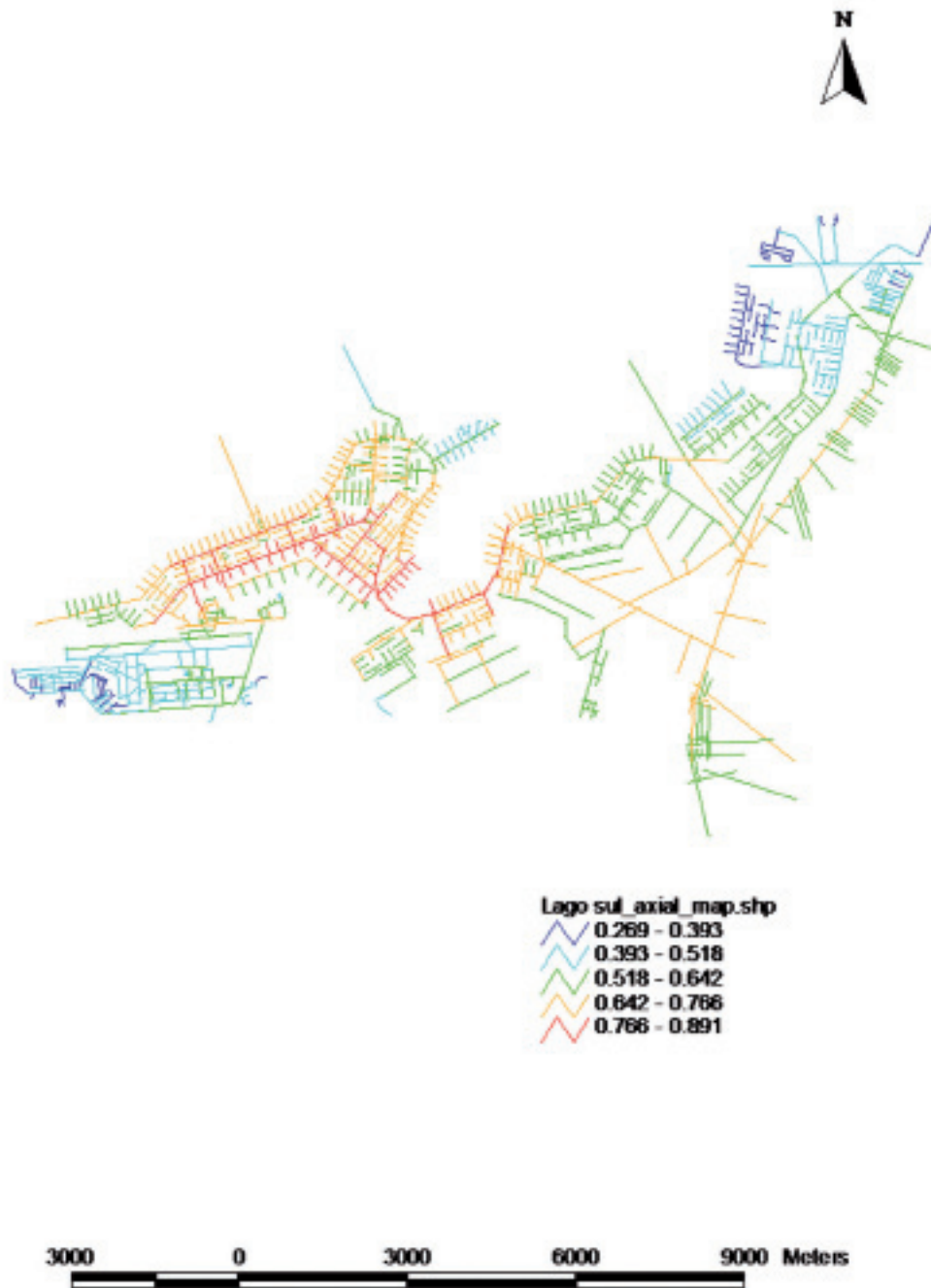


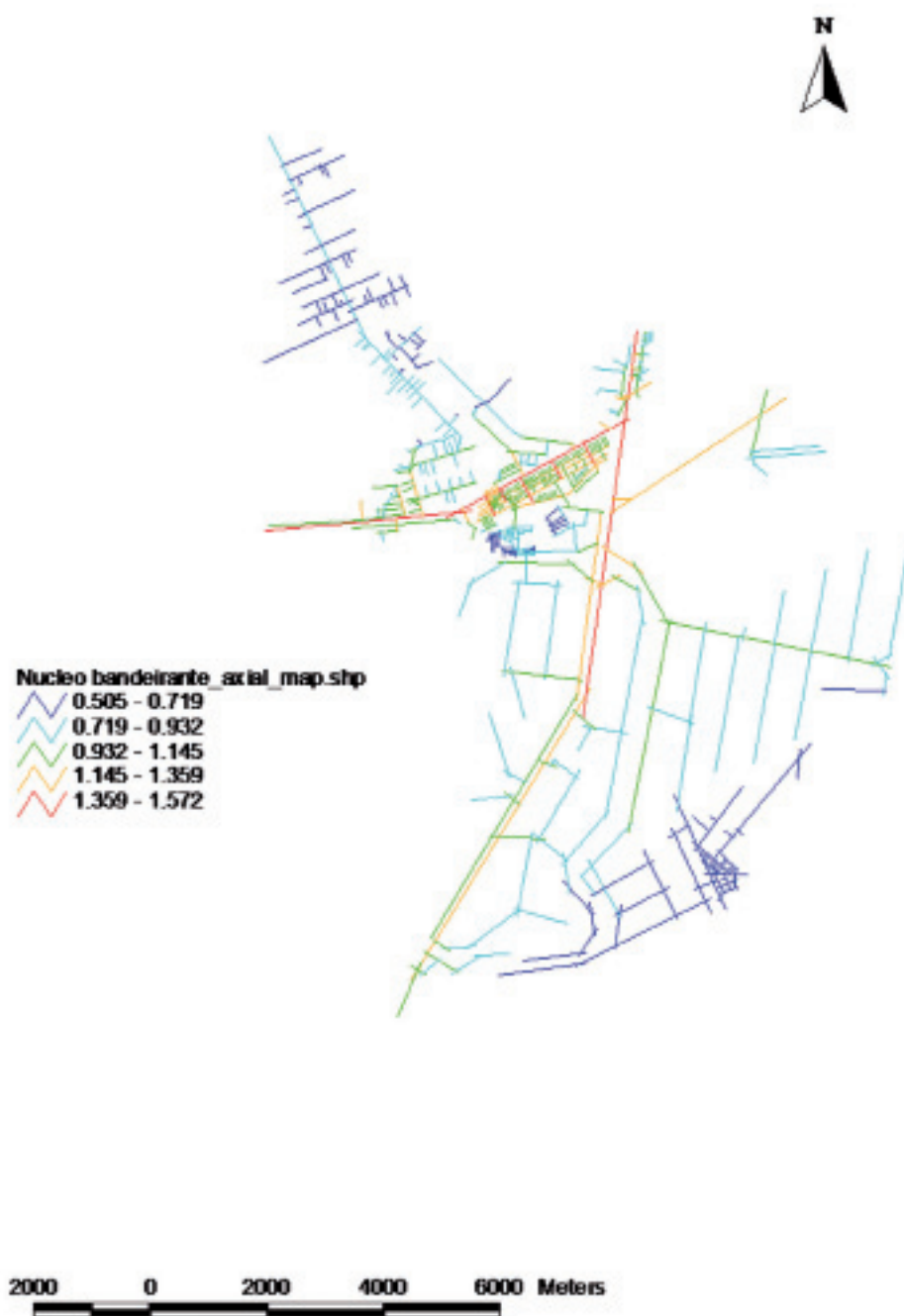










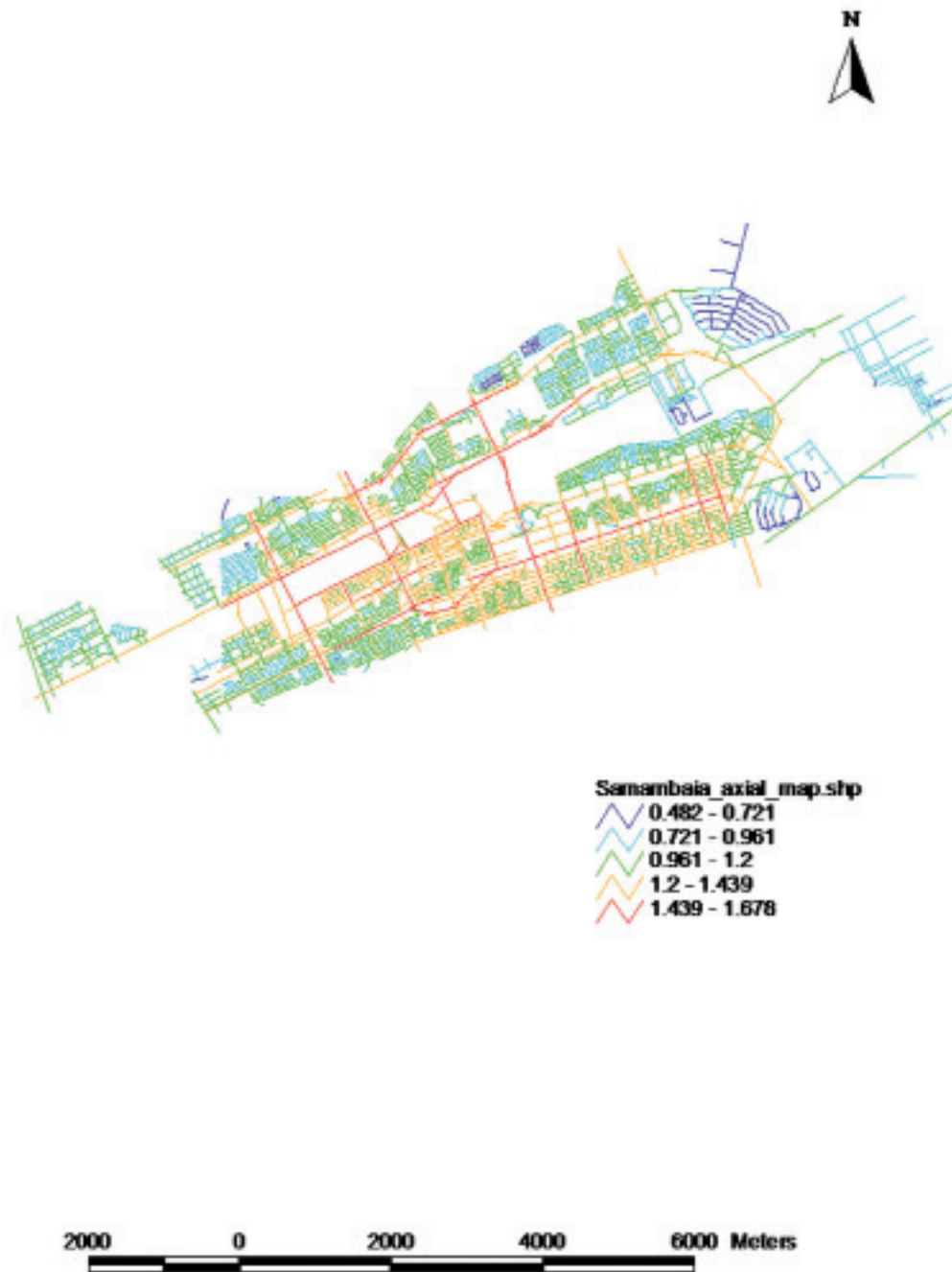


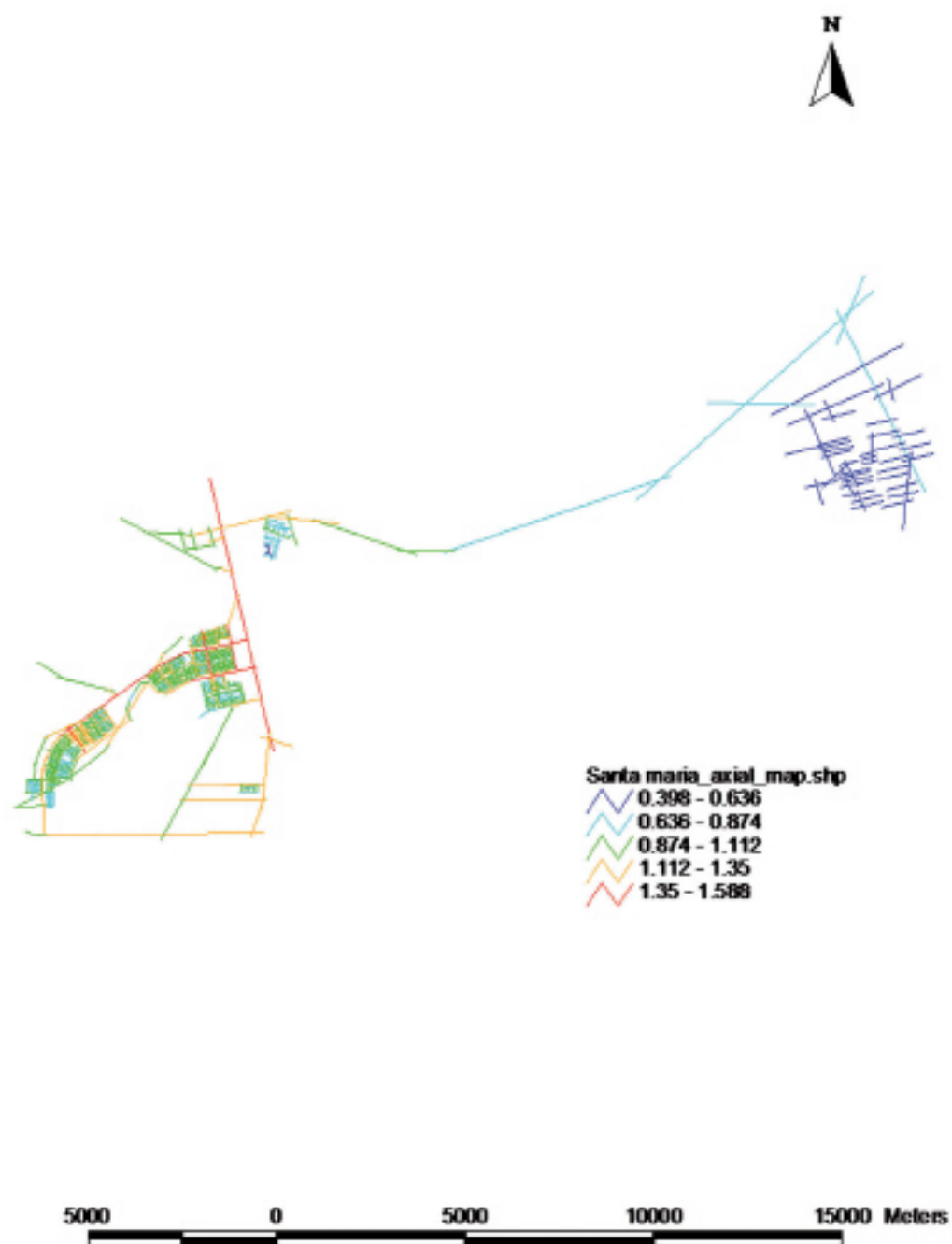


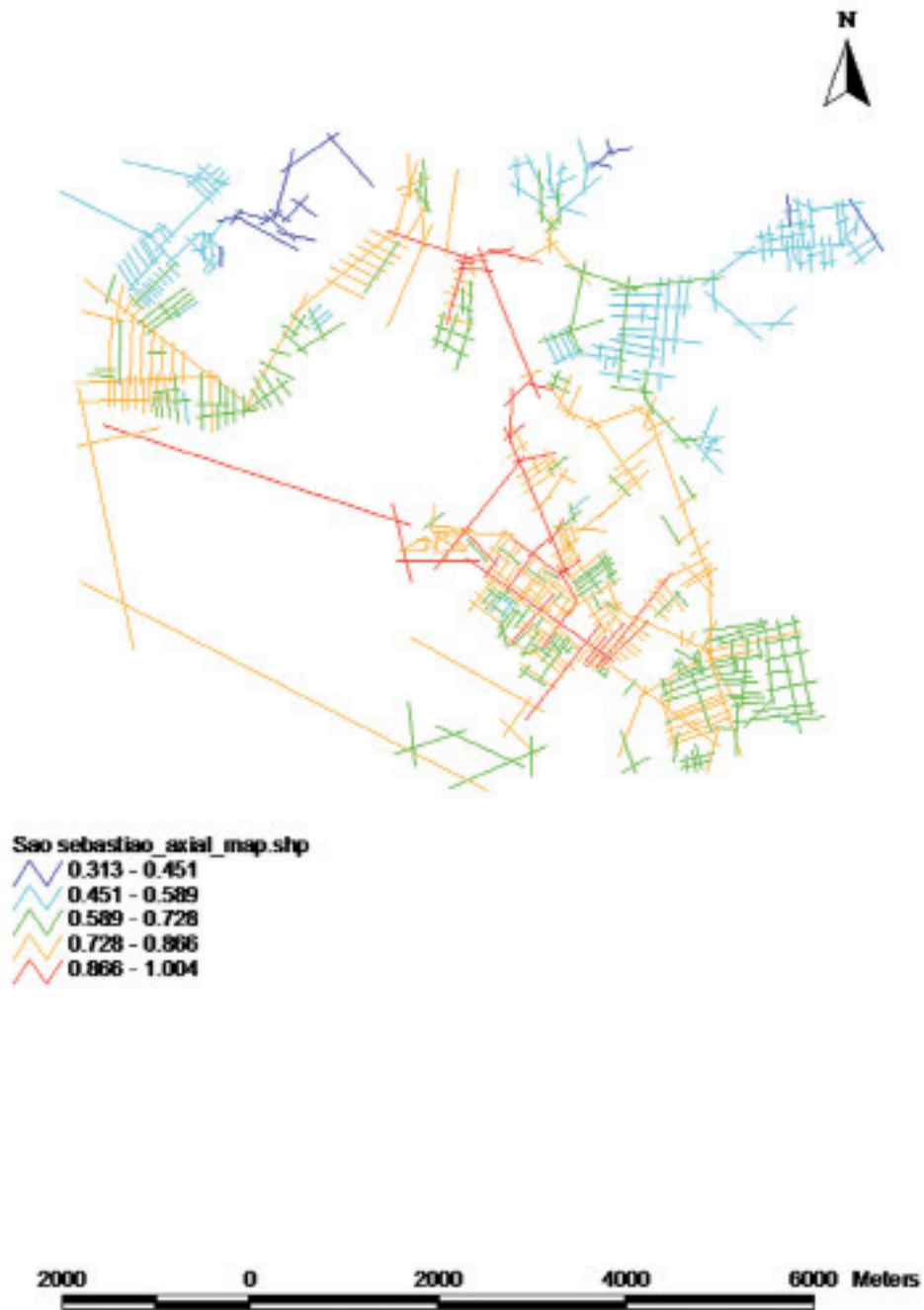














EDITORIAL

Coordenação

Cláudio Passos de Oliveira

Supervisão

Andrea Bossle de Abreu

Revisão

Eliezer Moreira

Elisabete de Carvalho Soares

Fabiana da Silva Matos

Gilson Baptista Soares

Lucia Duarte Moreira

Míriam Nunes da Fonseca

Editores

Roberto das Chagas Campos

Aeromilson Mesquita

Camila Guimarães Simas

Carlos Henrique Santos Vianna

Maria Hosana Carneiro Cunha

Paula Mascarenhas Rodrigues de Almeida (estagiária)

Capa

Luís Cláudio Cardoso da Silva

Projeto Gráfico

Renato Rodrigues Bueno

Livraria do Ipea

SBS – Quadra 1 – Bloco J – Ed. BNDES, Térreo.
70076-900 – Brasília – DF

Fone: (61) 3315-5336

Correio eletrônico: livraria@ipea.gov.br

Tiragem: 500 exemplares



Ipea – Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada



SECRETARIA DE
ASSUNTOS ESTRATÉGICOS
DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

