

APLICAÇÕES DA SINTAXE ESPACIAL NO PLANEJAMENTO DA MOBILIDADE URBANA

APPLICATIONS OF SPACE SYNTAX IN THE PLANNING OF URBAN MOBILITY

Cássio Leandro do Carmo¹, Archimedes Azevedo Raia Junior², Adriana Dantas Nogueira³

¹Mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP. E-mail: carmocl@yahoo.com.br

²Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP. E-mail: raiajr@ufscar.br

³Professora Associada do Centro de Educação de Ciências Humanas da Universidade Federal de Sergipe, SE. E-mail: adnogueira@gmail.com

RESUMO

A Teoria da Sintaxe Espacial procura entender o funcionamento da relação entre a configuração do espaço das cidades e as relações sociais que as envolvem, em especial os volumes e movimentos. Uma abordagem multidisciplinar é possível por meio da análise de valores sintático-espaciais, envolvendo diversas áreas do conhecimento. O objetivo deste artigo é apresentar, nesta pesquisa exploratória, como esta teoria tem sido utilizada para o planejamento da mobilidade urbana, por meio de pesquisas brasileiras e internacionais, em diversos ramos e, particularmente, área de circulação de pedestres e veículos. Algumas propriedades de análise são mostradas, como a acessibilidade, conectividade e integração global, dentro do contexto dos movimentos naturais e fluxos potenciais. A avaliação de áreas mais acessíveis ou segregadas, estimativas de volume de pessoas e de automóveis, e os efeitos da configuração urbana no desempenho dos transportes e no deslocamento de pessoas foram alguns dos temas encontrados, demonstrando o conjunto de aplicações, limitações e possibilidades proporcionadas.

Palavras-chave: Sintaxe espacial, mobilidade urbana, planejamento de transportes.

ABSTRACT

The Theory of Space Syntax aims to understand the functioning of the relationship between the spatial configuration of the cities and social relationships that involve them, especially the flows and movements. A multidisciplinary approach is possible through the analysis of spatial-syntactic values, involving different areas of knowledge. The objective of this paper is to show, in this exploratory research, as this theory has been used for planning of urban mobility through Brazilian and international research in various branches, particularly in the movement of pedestrians and vehicles. Some properties of the analysis are presented, as accessibility, connectivity and global integration within the context of the natural movements and potential flows. Evaluation of more accessible areas or segregated, estimates of the volume of people and cars, and the effects of urban form in the transport performance and movement of people were some of the themes found, demonstrating the range of applications, limitations and opportunities offered.

Keywords: Space syntax, urban mobility, transportation planning.

1 – INTRODUÇÃO

A Sintaxe Espacial (também conhecida como Teoria da Lógica Social do Espaço) foi desenvolvida, em Londres, por Bill Hillier e colaboradores, nos anos 1970, na University College London e editada no livro *The Social Logic of Space*, em coautoria com Julienne Hanson (HILLIER; HANSON, 1984). Teve início a partir da observação da cidade e da integração dos aspectos físicos e todas as interações sociais que ocorrem em seu domínio. Aborda as relações do espaço levando-se em conta outras relações no sistema e considera a configuração da malha viária como determinante nos movimentos urbanos, ideias discutidas no livro *Space is the machine*, de Bill Hillier, publicado pela primeira vez em 1996.

Para Pereira *et al.* (2011) a estrutura espacial das cidades é entendida como “configuração urbana”, envolve o conjunto de barreiras e permeabilidades constituintes da

estrutura física do espaço, onde a disposição dos elementos proporciona mais ou menos facilidades para a circulação de pessoas e desempenho de suas atividades e representam obstáculos de movimento ou “sistemas abertos”, locais dos possíveis deslocamentos.

Há vários anos a Sintaxe Espacial tem sido utilizada em pesquisas de distintas áreas e países, inclusive no Brasil, e aprimorada com o uso de programas de computação que analisam as ferramentas sintáticas e suas aplicações em estruturas urbanas. Aplicações também têm sido feitas, por meio de consultorias prestadas a entidades públicas, privadas e comunitárias. Os desenvolvimentos teóricos e práticos contribuem para mostrar a relevância da configuração dos espaços na distribuição dos movimentos na malha viária urbana. Pesquisas que abordam a Sintaxe Espacial levam à análise da estrutura dessa configuração como influente na circulação de pessoas e veículos, propiciando estudos na área de Transportes que possam

verificar padrões de comportamento e possibilidades de fluxos e deslocamentos.

A pesquisa descrita neste artigo é do tipo exploratória e visa proporcionar uma maior familiaridade com o tema Sintaxe Espacial, de maneira geral e, mais particularmente, a sua aplicação no planejamento da mobilidade urbana, com o objetivo de torná-la mais clara. A pesquisa envolve, basicamente, levantamento bibliográfico e análise de aplicações que ajudam a estimular a sua compreensão.

2 – A TEORIA DA SINTAXE ESPACIAL

Na análises sintático-espacial, os elementos básicos são o espaço convexo e a linha axial. Dos elementos derivam as propriedades espaciais. Alguns dos conceitos e propriedades sintático-espaciais, bem como exemplos de suas aplicações, são apresentados nas próximas seções.

2.1 Propriedades sintático-espaciais

A Sintaxe Espacial usa técnicas e modelos computacionais para o entendimento das questões configuracionais e associa valores quantitativos e expressões matemáticas para a análise do espaço. Os procedimentos investigativos geram propriedades capazes de quantificar relações da rede urbana na malha viária e mostram movimentos naturais. Movimento natural, segundo Hillier (2007), é a proporção do movimento sobre os espaços determinada pela estrutura da malha urbana, sem levar em consideração estruturas atraentes.

Segundo Medeiros (2006) a configuração da malha viária pode promover a concentração da movimentação em determinado trecho urbano e atrair empreendimentos que serão beneficiados por fluxos, que, por sua vez, atraem outros empreendimentos e outros movimentos, promovendo um efeito multiplicador. Medeiros (2006) afirma, também, haver forte associação entre a forma de articulação da malha viária e os potenciais de acessibilidade encontrados para cada eixo em um mapa com linhas axiais (*Axial Map*). Assim, a Sintaxe Espacial, por trabalhar com modelos configuracionais que abrangem fluxos potenciais e a malha viária urbana, tem se mostrado um ramo com grande potencial para diversos usos na Engenharia de Transportes e no estudo de movimentos e rotas.

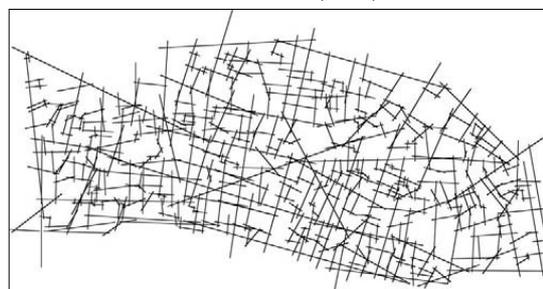
As estruturas básicas para a análise sintática são os espaços convexos e as linhas axiais. Um mapa com espaços convexos (*Convex Map*) é formado por uma série de espaços abertos que cobrem o sistema público urbano. É o espaço mais largo possível dentro do espaço público, que pode ser subdividido em quantas unidades forem possíveis (NOGUEIRA, 2004). O mapa do espaço público aberto da região central de Londres, denominada “Cidade de Londres”, tomado como exemplo, é apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Mapa com espaços convexos da região central de Londres. Fonte: Hillier (2007)



O mapa com linhas axiais (*Axial Map*) é feito pelo encontro segmentos de linhas desenhadas sobre o sistema viário da base cartográfica da cidade estudada. As linhas atravessam todo o espaço convexo e conectam-se umas às outras, como mostra o mapa da Figura 2, para a região central de Londres.

Figura 2 – Mapa com linhas axiais da região central de Londres. Fonte: Hillier (2007)



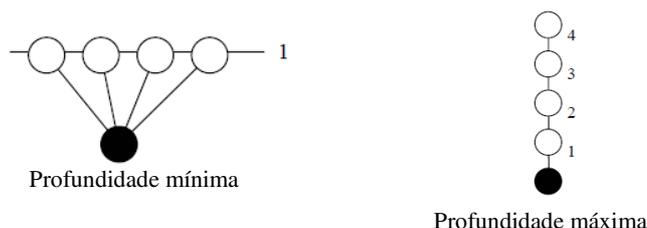
A conectividade de cada linha é dada pelo número de linhas que a intercepta. Outros valores quantitativos utilizados são também medidas de propriedades de análise, dentre elas, o controle, a profundidade e as integrações global e local.

O controle, de acordo com Zampieri (2012), mede a dependência em termos de acessibilidade espacial que uma linha exerce sobre as outras conectadas a ela.

A profundidade é o número de passos de uma linha para outra ou o número de passos de um ponto em relação a outro qualquer do sistema. A profundidade é maior quanto mais espaços intermediários houver, contando-se o número de ligações entre dois pontos.

A Figura 3 apresenta exemplos de profundidades mínima e máxima (sequência linear) para um determinado sistema, de acordo com Loureiro *et al.* (1995).

Figura 3 – Profundidades mínima e máxima. Fonte: Loureiro *et al.* (1995)



A conectividade e a profundidade estão relacionadas com a integração global, que é a medida da integração de uma linha com todas as linhas do sistema.

A profundidade média (MD) de um determinado nó do sistema é obtida pela soma das profundidades em relação aos outros nós (profundidade total), dividindo-se pelo número de espaços do sistema, menos 1, conforme a Equação 1.

$$MD = \frac{D_T}{k - 1} \quad (1)$$

Em que: MD é a profundidade média da linha em relação às demais; D_T é a profundidade total; e k o número de espaços (linhas ou nós) no sistema.

Os valores encontrados para a profundidade são utilizados para se encontrar a relativa assimetria (RA), dada pela Equação 2.

$$RA = \frac{2 \cdot (MD - 1)}{k - 2} \quad (2)$$

Em que: RA é relativa assimetria; MD é a profundidade média da linha em relação às demais; e k o número de espaços (linhas ou nós) no sistema.

De acordo com Hillier (1984), quando se deseja comparar sistemas de tamanhos diferentes, deve-se fazer transformações para se eliminar os efeitos dos tamanhos. Utiliza-se, então, a Assimetria Relativa Real (ARR), que é a divisão da Assimetria Relativa pelo “valor diamante”, um fator de normalização para um espaço igual ao estudado. Com o valor ARR encontrado pode-se, por fim, determinar o valor da integração, calculado como o inverso da Assimetria Relativa Real.

A integração é a medida da profundidade de uma linha axial. De acordo com Nogueira (2004), a integração global mede a profundidade existente de uma linha para todas as outras do sistema e, dessa forma, áreas nas quais se obtém como resultado uma maior integração terão maior probabilidade de movimento e de encontros entre habitantes e visitantes.

Na integração local, de acordo com Zampieri (2012), é identificada a relação de acessibilidade num conjunto de linhas, considerando uma limitação de profundidade em raio de abrangência topológico específico, e pode indicar os “centros dos bairros”, ou as linhas de maior movimento potencial em determinadas áreas de deslocamentos.

Valores mais integrados, representados no mapa com linhas axiais por cores mais fortes (vermelho, laranja e amarelo, por exemplo), mostram espaços mais acessíveis, mais facilmente alcançados que os menos integrados, representados pelas cores verde, azul e cian. A Figura 4 mostra, ainda para o exemplo da região central de Londres, o mapa de sua integração global.

Figura 4 – Distribuição da Integração Global na região central da “Cidade de Londres”. Fonte: Hillier (2007)



De acordo com Raford *et al.* (2007), a Sintaxe Espacial é um conjunto de técnicas usadas para medir os efeitos da estrutura urbana e a rede viária sobre a acessibilidade e o movimento. Para Holanda (2001 *apud* BARROS, 2006) não se trata apenas de um conjunto de técnicas, mas sim uma teoria, cujo método implica em um conjunto de técnicas para as análises configuracionais. Holanda (2003 *apud* SANTOS, 2009) afirma, também, que a teoria reflete a ideia de relacionar aspectos do espaço e da sociedade, possíveis de serem quantificados por meio de atributos de configuração, que são representados matematicamente, em gráficos e tabelas, e propiciam informações que revelam a lógica social da cidade.

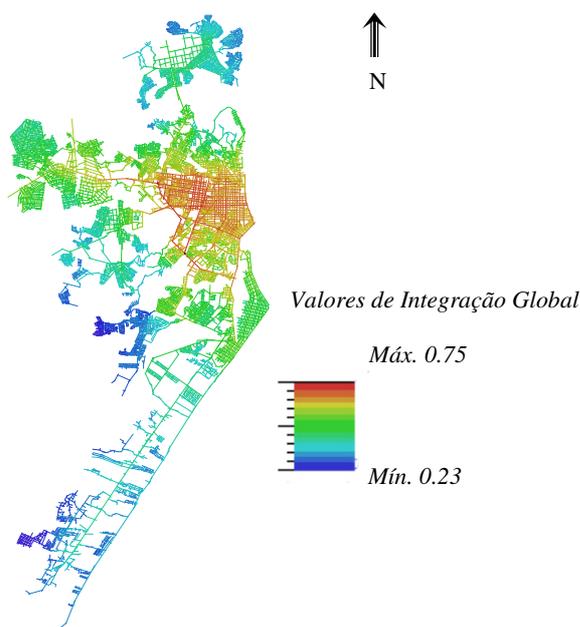
2.2 Aplicações da Sintaxe Espacial

Segundo Barros (2006), por meio de um método e de suas técnicas, a Teoria da Sintaxe Espacial é capaz de estabelecer relação entre categorias no âmbito sintático, função do espaço, no qual o observador é capaz de interpretar os espaços das cidades a partir das feições urbanas e, no âmbito semântico, significado do espaço, buscando conhecer a ocorrência da relação entre grupos e indivíduos.

As cidades, a configuração dos seus espaços e as relações sociais que as envolvem são fontes de pesquisas da Sintaxe Espacial. Aspectos relacionados com o uso da terra e as implicações econômicas e comerciais, por exemplo, foram analisados por Hillier (2007), em Londres. Os resultados mostraram uma relação entre ruas com maiores valores de integração, propriedade relacionada com a acessibilidade do espaço e mais alta densidade de desenvolvimento, que atraem lojas e novas construções, e causam, então, um efeito multiplicador.

O desenvolvimento econômico ocasionado por uma rede mais integrada contrasta com vias menos integradas, que levam às áreas mais segregadas, ocupadas, em geral, por populações de renda mais baixa. Nogueira (2004) analisou a configuração urbana da cidade de Aracaju, nordeste do Brasil, e relacionou propriedades do espaço, com o uso da integração (global e local) e da inteligibilidade (correlação entre conectividade e a integração), e os aspectos socioeconômicos das transformações urbanas ocorridas entre 1855 e 2003. O mapa com linhas axiais de Aracaju, contendo a integração global, pode ser visualizado na Figura 5.

Figura 5 – Mapa com linhas axiais de Aracaju – Integração Global. Fonte: Nogueira (2004)



Para a análise de 2003, o mapa de integração mostrou valores para o núcleo central com cores vermelha e laranja, representando a consequência da boa acessibilidade e compacidade. A compacidade, na análise sintática, é dada pela concentração e comprimento de linhas por área, representa a não fragmentação urbana e seus valores indicam situações de maior ou menor adensamento. As populações de menor renda de Aracaju estavam localizadas, à época, nas regiões norte e noroeste, avaliadas com menores valores de integração global e representadas nas cores: verde, cyan e azul, em espaços fragmentados, menos compactos, e com pouca acessibilidade, com grandes vazios urbanos e segregação econômico-espacial.

Outros trabalhos procuraram verificar e comparar cidades, em diversas localizações, por meio da estrutura urbana. Medeiros (2006) utilizou mapas com linhas axiais e de segmentos para analisar a configuração de diversas cidades sob os conceitos da Sintaxe Espacial. Quarenta e quatro cidades brasileiras com suas configurações espaciais foram comparadas com cento e vinte cidades mundiais, que tiveram suas bases cartográficas cedidas por pesquisadores ou obtidas na *Internet*. Os resultados encontrados mostram que as cidades brasileiras mais populosas possuem baixos valores de integração, sendo menos densas em razão da ocupação do solo e fragmentadas devido às características geográficas. Cidades com características históricas, por outro lado, mais compactas e homogêneas em relação à malha viária, e menos adensadas, possuem valores de integração mais elevados. Em relação ao tamanho, as cidades brasileiras são similares às asiáticas e semelhantes às europeias, no que diz respeito à configuração espacial. Mostram-se, também, fragmentadas, o que agrava o estado de segregação espacial e influencia na dificuldade da mobilidade urbana.

Os padrões de segurança urbana também foram analisados por meio de dados sintático-espaciais. Segundo

Hillier (2004), dentre as razões para crer que modelos da Sintaxe Espacial sejam um bom instrumento para a investigação do tema está o potencial da teoria para conhecer os efeitos do movimento sobre o crime. A metodologia tem sido usada para analisar não só possíveis diferenças entre determinadas áreas, mas, também, micropadrões em uma só localidade, além de verificar a propriedade da Sintaxe de tratar numericamente variáveis espaciais e não espaciais, comparando o efeito do espaço e de variáveis socioeconômicas.

Estudo realizado na cidade de Londres, com dados para um período de doze meses, mostrou haver relação entre áreas mais segredadas, com menores valores de integração, e maiores densidades de furtos (HILLIER, 2007). Nes e López (2010) investigaram, também, a relação entre o risco de crimes e a configuração espacial em cidades alemãs. Todos os registros criminais de furtos em residências e de carros foram locados sobre mapas com linhas axiais e verificou-se a quantificação das variáveis sintáticas. Uma correlação visual entre a integração local e os furtos e uma correlação visual mais forte entre a profundidade (definida como o número de passos em relação às principais vias da cidade) e os registros foram os resultados encontrados. Em termos estatísticos, em geral, segmentos de ruas em locais segredados ofereceram mais riscos de furtos do que aqueles em locais mais integrados.

Barros (2006) afirma existir um aparente diálogo entre a Sintaxe e os modelos de Transportes, uma vez que os dois se fundamentam na estrutura urbana disponível e nas relações entre as diversas partes da cidade como pontos de geração de viagens. Por meio da análise das propriedades sintáticas, e com a possibilidade de estudo dos padrões de deslocamentos, novas aplicações da teoria em diversos ramos têm sido formuladas, e a interface entre a Sintaxe Espacial e o planejamento da mobilidade urbana vem sendo cada vez mais aprofundada, razão pela qual o enfoque deste estudo.

Carmo *et al.* (2012a) reuniram diversos exemplos de trabalhos realizados na Área de Engenharia de Transportes, que envolveram o uso da Teoria da Sintaxe Espacial e enfocaram propriedades de análise como a acessibilidade, conectividade e integração global, considerando os fluxos potenciais e movimentos naturais. Encontraram que o uso das propriedades sintáticas, em conjunto com outras técnicas de análise aplicadas na área de Circulação e Transportes, propiciam aos planejadores bons mecanismos de previsão e análise inicial da rede viária e da estrutura urbana, apesar de algumas limitações apontadas na literatura.

3 – APLICAÇÕES DA SINTAXE ESPACIAL NO PLANEJAMENTO DA MOBILIDADE URBANA

A literatura apresenta uma série de aplicações da Teoria da Sintaxe Espacial no planejamento da mobilidade, que tratam tanto da circulação de pedestres quanto de veículos, explicitadas nas próximas seções.

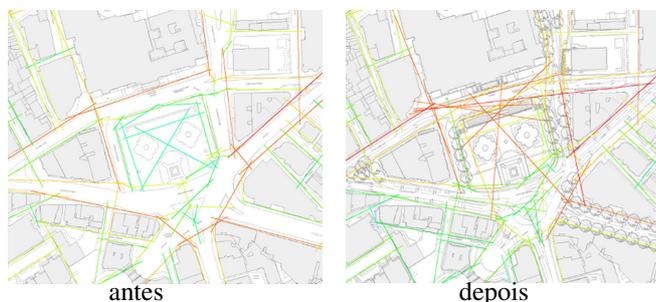
3.1 Circulação de pedestres

O estudo de redes de pedestres em áreas urbanas tem sido um dos principais usos da teoria na Área de Transportes, tanto em nível nacional como internacional, pois o transporte a pé é um dos mais utilizados em todo o mundo. O entendimento do fluxo de pessoas é importante para prever congestionamentos, planos de evacuação, tráfego de pedestres e controle de multidões, associados às funções socioeconômicas e ao ambiente construído (PEEN; TURNER, 2001).

No Brasil, Nogueira (1998) utilizou as propriedades *convexidade*, *axialidade* e *continuidade* para verificar o fluxo de pedestres no campus da Universidade Federal de São Carlos. Encontrou, como resultado, espaços muito fragmentados, que ocasionaram baixa interface nas relações pessoais entre os indivíduos, com consequente segregação e diminuição das trocas de informações na área do campus da universidade. Sarmiento e Costa (2012) abordaram a circulação dos pedestres no *Campus I* da Universidade Federal da Paraíba, e analisaram áreas mais integradas e conectadas. A identificação da configuração espacial, para posterior avaliação da acessibilidade física, indicou a composição de percursos mais lineares nos trechos Oeste e Sul da cidade universitária, e maiores mudanças de direção na linha Leste e Norte, indicativo de pouca acessibilidade, com áreas mais segregadas e menor trânsito de pedestres.

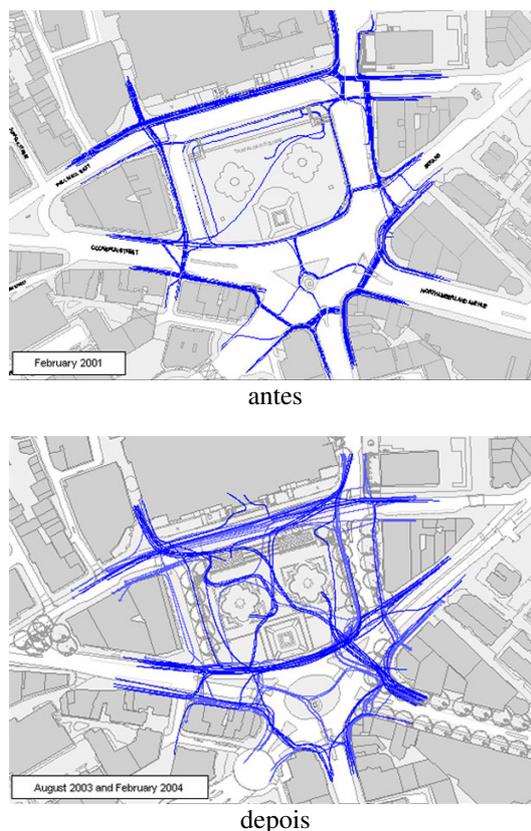
Em Londres, estudos envolvendo a Sintaxe Espacial, elaborados pelo *Space Syntax Laboratory*, contribuíram para a melhoria da qualidade dos espaços públicos e dos padrões de atividades dos pedestres na região próxima à *Trafalgar Square*. Um modelo mais avançado para a movimentação de londrinos e turistas foi elaborado como parte de um plano diretor da área, encomendado pelo *Westminster City Council*, em 1996. O modelo da acessibilidade espacial antes e depois das mudanças propostas para a região, onde as linhas vermelhas representam espaços mais acessíveis, é mostrado na Figura 6.

Figura 6 – Modelos de acessibilidade de pedestres na *Trafalgar Square*, em Londres. Fonte: Space Syntax (2004) *apud* Dursun (2007)



Para Dursun (2007), o mais interessante é que os movimentos de pedestres na área têm correspondido aos modelos computacionais obtidos em projetos com os usos dos programas sintático-espaciais, conforme o observado nos padrões das atividades do fluxo dos pedestres antes e depois das intervenções, mostrados na Figura 7.

Figura 7 – Movimentação de pedestres na *Trafalgar Square*, em Londres. Fonte: Space Syntax (2004) *apud* Dursun (2007)



Nos Estados Unidos, Rafor e Ragland (2003), com o uso de variáveis sintáticas, construíram estimativas de volumes de pedestres na cidade de Oakland, Califórnia e, em seguida, usaram-nas para calcular a taxa de exposição de pedestres e, conseqüentemente, criar índices de riscos na ocorrência de acidentes. A Sintaxe Espacial foi, também, um dos três modelos de previsão de fluxo futuro de pedestres usados por Rafor e Ragland (2006), em Boston, Massachusetts, que estimaram variações no movimento, ocasionadas por mudanças na região central da cidade.

Kim *et al.* (2007) desenvolveram um novo método na construção de vias para pedestres, por meio da análise de caso na *People's Plaza*, na cidade de Seul. O novo modelo propôs a construção das linhas axiais que levavam em consideração a possibilidade de moldarem separadamente localizações sem distinção de passeios e ruas e uma forma de reconhecerem a profundidade de travessias, de acordo com semáforos, construções, visibilidade e passagens subterrâneas. Shin *et al.* (2007) usaram as propriedades sintático-espaciais para criar uma rede viária para pedestres e analisar a correlação entre a rede e o volume de tráfego de pessoas, de acordo com o tipo de uso do solo, além de examinar a acessibilidade dos espaços. Áreas comerciais apresentaram dados estatísticos com alto valor de correlação, o que mostra o volume de pedestres na área central de Seul, capital da Coreia do Sul, fortemente influenciado pela rede espacial.

Özbil e Peponis (2007) estudaram três áreas em Atlanta, Georgia, para estabelecer correlações entre a

configuração das vias e a densidade de deslocamento de pedestres. Foram utilizados dois tipos de análise: primeiro, a análise sintática padrão aplicada aos mapas com linhas axiais, desenhados para cobrir áreas suficientemente grandes para que os valores de integração local raio-3, atribuídos a espaços de observação, não sofressem nenhum efeito dos eixos; em segundo lugar, as novas técnicas de análise que podem ser aplicadas ao padrão SIG de representação de eixos de vias. Os autores mostraram novas medidas preconizadas de deslocamentos, bem como as medidas-padrão sintáticas.

Özbil e Peponis (2012) verificaram como a densidade urbana, o uso e ocupação do solo e a estrutura espacial da rede viária estão relacionados com as caminhadas nas entradas e saídas das estações de trens. Os resultados encontrados confirmaram a hipótese de que as condições locais em volta das estações em Atlanta estão associadas com o entra e sai de pedestres, e os modelos desenvolvidos revelaram que redes viárias com maior conectividade e o uso misto do solo são fatores mais fortemente associados com uma proporção das caminhadas. Os resultados, segundo os autores, ajudam a orientar o desenvolvimento no trânsito de pessoas, preveem a necessidade de calçamentos e contribuem para a segurança dos pedestres.

Barros *et al.* (2012) exploraram, com o uso da Sintaxe e da Análise *Cluster*, o desempenho de malhas viárias para a apresentação de variáveis na composição de cada tipologia e posterior criação de diretrizes usadas na construção de um índice de *walkability*, ou “caminhabilidade”. Na pesquisa, realizada em três bairros da cidade de Lisboa, foi encontrado que traçados regulares, semelhantes a tabuleiros de xadrez, apresentam menor necessidade de conversões nos deslocamentos, em comparação às malhas irregulares, com características labirínticas. Deste modo, constata-se que o deslocamento de pessoas nos locais estudados é diretamente afetado pelas características viárias do desenho urbano, considerando-se os aspectos analisados.

Zampieri (2006) analisou metodologias usadas em modelos de movimentos de pedestres e novas tecnologias incorporadas a eles na avaliação da circulação urbana de pedestres na cidade de Santa Maria, RS. Em seu trabalho, a Sintaxe é destacada por relacionar os efeitos da malha viária como indutora do movimento, e as medidas de desempenho por criarem formas de avaliação da qualidade dos passeios. O processamento das variáveis do espaço urbano é feito com o uso das redes neurais artificiais.

O movimento de pedestres nas cidades de Santa Maria, RS, e Criciúma e Florianópolis, SC, foi, ainda, abordado por Zampieri (2012), que utilizou mais variáveis sintáticas reforçando, no entanto, que a teoria possui a limitação de prever apenas parte do movimento, só encontrando correlações significativas quando a medida de inteligibilidade apresenta valores elevados. Em relação às medidas das variáveis controle e profundidade, encontrou-se que elas estão associadas à diminuição do fluxo de pedestres, ou seja, quanto mais segregado e profundo o sistema, mais restrito é o movimento de pessoas, para quase todos os gêneros analisados.

Para Zampieri (2006) a variável angular “*choice*”, que indica o potencial que as linhas segmentadas têm de concentrar o movimento global, é capaz de identificar áreas com grande acessibilidade e regiões morfológicas que são entendidas pelo fluxo de curto alcance dos pedestres. Isto é possível por sua capacidade de realçar linhas com maior potencial de ligação com outras partes da cidade, levando à descoberta de que padrões locais podem se sobrepor à importância global no estudo da circulação das pessoas.

Carmo *et al.* (2012b) procuraram verificar a possível correlação da configuração da rede viária urbana e a acidentalidade envolvendo pedestres com a utilização dos conceitos sintático-espaciais, tendo como objetos de estudo as cidades de São Carlos e São José do Rio Preto, ambas no estado de São Paulo. Como resultados preliminares da pesquisa foram preparados os mapas com linhas axiais e o geoprocessamento dos acidentes, para as posteriores análises visuais e de correlações.

3.2 Circulação de veículos

Estudos de Barros (2006) e Barros *et al.* (2007) tiveram como objetivo avaliar o potencial da Sintaxe Espacial como ferramenta de estimação de rotas potencialmente atraentes. A avaliação consistiu em realizar análises comparativas com o programa SATURN (modelo tradicional de alocação de viagens) sob aspectos teóricos, metodológicos e técnicos. Os resultados mostraram um quadro geral dos deslocamentos, permitindo a identificação do comportamento da malha, de áreas segregadas e integradas, possivelmente associadas com o uso do solo, renda e, consequentemente, as origens e os destinos de possíveis viagens.

Cavalcante e Holanda (2005) procuraram estreitar os laços entre o planejamento de transportes e o uso do solo e investigaram os problemas de acesso e circulação na cidade de Fortaleza, CE, nordeste do Brasil. A classificação das vias no sistema viário e a localização das atividades foram correlacionadas com a morfologia urbana e a análise da forma de dispersão de barreiras e permeabilidades à circulação, confrontando-se duas linhas teóricas: a atratividade e a Teoria da Sintaxe Espacial. Foram notados indícios que sugerem investigações sobre o uso da técnica da axialidade e suas interpretações na avaliação de movimentos na malha, considerando-a não apenas um método de definição de velocidades ou de um nível de serviço, mas, também, uma ferramenta de auxílio potencial nos parâmetros da hierarquia das vias.

Cavalcante *et al.* (2007) analisaram o uso do solo para a determinação de locais críticos para a implantação de Polos Geradores de Viagens (PGV), em Fortaleza, CE. Foi elaborado um estudo preliminar em uma área reduzida, com maior quantidade de movimentos na cidade de Fortaleza. Observou-se uma área crítica ao movimento veicular, por meio de resultados parciais de correlação entre as variáveis sintáticas obtidas e das Figuras 8a, da classificação das vias e 8b, do mapa com linhas axiais, restritas ao primeiro anel viário da cidade.

Figura 8a – Mapa de classificação das vias



Figura 8b – Mapa com linhas axiais da área crítica ao movimento de veículos em Fortaleza. Fonte: Cavalcante *et al.* (2007)



Cavalcante (2009) compôs uma metodologia sistêmica de análise de congestionamentos em malhas viárias de cidades. Identificou a segregação socioespacial decorrente da dispersão da acessibilidade local e global dos movimentos veiculares na malha viária de Fortaleza, CE. Detectou a existência de correlações significativas entre as variáveis: fluxo veicular, qualificação e quantificação de PGV e as variáveis da Sintaxe Espacial, em determinada área crítica ao movimento veicular. Estudou, também, qual a parcela de contribuição (qualitativa e quantitativa) dos PGV nos impactos espaciais dos congestionamentos em sua área de influência. Cavalcante (2009) concluiu que o uso da técnica de axialidade, associada a outras modelagens, viabilizou, mais rapidamente, identificar hierarquias de movimentos na malha viária, testando novas conexões (novos desenhos viários) mesmo antes de sua implantação. Desta maneira, a técnica permitiu simular ocupações em nível de projeto, uma prática comum para países que já a utilizam. Na realidade local, sugere-se que seu uso, devido à atual facilidade de contagens em tempo real, viabilize comparar estatisticamente os volumes observados e estimados com variáveis sintáticas, melhorando cenários e propostas de futuras intervenções urbanas.

Uma proposta metodológica para a estimativa do volume de tráfego na cidade de Fortaleza, CE, foi realizada

por Jales (2009), que utilizou a Sintaxe Espacial e uma de suas derivações, a Análise Angular do Segmento, como critério de hierarquização das vias. Para o autor, quanto maior o conhecimento da malha viária por parte do seu usuário, mais a morfologia influenciará os deslocamentos e maior será a relação entre valores sintáticos e volumes de tráfego dos usuários, principalmente em menores áreas.

Pereira *et al.* (2011) exploraram o potencial de aplicação da Sintaxe Espacial na análise de efeitos da configuração urbana no desempenho do transporte nas cidades brasileiras, com um estudo de caso no Distrito Federal brasileiro e em suas regiões administrativas. Com análises de Regressão Linear Simples foi avaliado o efeito que o grau de integração das diferentes configurações urbanas (medido por variáveis configuracionais tradicionais e variáveis topogeométricas) teria no tempo médio gasto nos deslocamentos por automóveis. Os resultados sugeriram: *i*) existência de baixo potencial para a aplicação das medidas topológicas mais tradicionais em estudos sobre os efeitos da configuração viária sobre o desempenho do transporte urbano; *ii*) o potencial pode ser muito ampliado ao se utilizar medidas topogeométricas para caracterização da configuração urbana; e *iii*) sistemas viários mais integrados e mais compactos (topológicos e geométricos) tendem a proporcionar configuração urbana mais eficiente para o desempenho do transporte motorizado, com menores tempos de viagens.

Pereira *et al.* (2011) lembram que as técnicas de análise da configuração urbana, como os mapas com linhas axiais e de segmento, inicialmente não foram criadas considerando-se características viárias essenciais, tais como a capacidade viária (largura e o número de faixas), o sentido do fluxo ou a estrutura do pavimento. Ferramentas de Engenharia de Tráfego, como lombadas redutoras de velocidade e semaforização, e informações tridimensionais, como variação na topografia, angulação das curvas ou distâncias geométricas no traçado, também são desconsideradas, ainda que mudanças no relevo sejam captadas indiretamente na medida em que locais mais acidentados tendem a apresentar padrões de malha viária diferentes das regiões planas. Ressaltam os autores, porém, que a Sintaxe trabalha com a predictibilidade (a correlação entre medidas de integração e a quantidade de fluxos reais), e embora prescindida de informações do projeto geométrico das vias, é capaz de apontar vias que possivelmente receberão maior fluxo.

Como resultado das limitações, os programas sintáticos têm sido atualizados, na tentativa de possibilitar uma análise configuracional levando-se em consideração medidas topogeométricas. O programa sintático-espacial *Depthmap* já incorpora aspectos métricos e permite, no lugar do cálculo dos raios topológicos, o uso de raios métricos, o que possibilita uma integração mais consistente entre as características geométricas e topológicas nas pesquisas configuracionais (MEDEIROS, 2006).

Além da modelagem de rotas e fluxos de automóveis, bem como de transportes públicos, o trabalho realizado por Raford *et al.* (2007) apresentou um novo método para a previsão de volume de tráfego de ciclistas e de escolha de rotas cicláveis, por meio de técnicas sintático-espaciais, na

cidade de Londres. Encontrou-se, na pesquisa, que as rotas de viagens preferidas são aquelas que estão em trechos mais curtos ou mais integrados, não necessariamente o mais curto ou o mais integrado, evidenciando a importância de outras variáveis, principalmente o ângulo vertical das rotas, indicando que a inclinação das vias possa ser essencial na escolha dos ciclistas e na previsão de volumes do modo de transporte. O trabalho de Raiford *et al.* (2007), ao que se sabe, foi o primeiro a abordar o fenômeno do movimento natural relacionado às bicicletas, e demonstrou toda a capacidade de aplicação da teoria sintática. Dessa forma, nota-se que há ainda muitos ramos a serem investigados pela Sintaxe, com abordagens relacionadas à mobilidade urbana ainda não realizadas.

Há, ainda, vários outros estudos envolvendo, de alguma forma, redes de pedestres, como, por exemplo: Alves (1999); Ferguson (2007); Başer e Kubat (2007); Kubat *et al.* (2007); Nunes (2007); Peponis *et al.* (2007); Topçu *et al.* (2007); Kubat e Kaya (2007); Baran *et al.* (2007). Para outras aplicações, em diversos outros modos de transportes são citados: Maha (1997); Chiaradia *et al.* (2005); Ünlü e Edgü (2007); Kishimoto *et al.* (2007); Chiaradia (2007); Schwander (2007); Ugalde e Rigatti (2007); Law *et al.* (2012).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Teoria da Sintaxe Espacial tem sido cada vez mais utilizada no planejamento da mobilidade urbana. Inicialmente ligada às pesquisas da morfologia urbana e sua influência em outros aspectos sociais, como a criação de áreas segregadas, uso do solo, e o relacionamento com índices de criminalidade em determinadas regiões, indica a configuração espacial como determinante nos movimentos potenciais e em suas relações.

A Sintaxe Espacial abrange o possível relacionamento e interdependência entre várias áreas de estudo, como o Urbanismo e a Sociologia, e procura um entendimento da relação das questões sociais e a configuração urbana, o que abre campo para o planejamento da circulação nas cidades e inclui valores numéricos e programas computacionais que propiciam uma interface com a engenharia.

Vários trabalhos que envolvem conceitos sintático-espaciais têm sido realizados no planejamento da circulação de pedestres e veículos. O fluxo de pedestres em universidades, com a avaliação das áreas mais acessíveis ou segregadas, a verificação de correlações entre o volume de pedestres, uso e ocupação do solo e os índices sintáticos, e estimativas de volumes de fluxos para o cálculo da taxa de exposição de pessoas ao tráfego foram alguns temas abordados. Outras pesquisas procuraram estudar como o deslocamento das pessoas é afetado pelas características viárias do desenho urbano, além de analisarem os efeitos da malha viária como indutora do movimento.

Problemas de acesso e circulação de veículos, que consideraram a Sintaxe como ferramenta auxiliar potencial nos parâmetros da hierarquia das vias, também foram pesquisados, inclusive na avaliação do potencial da teoria como ferramenta de estimação de rotas atraentes.

Estimativas de volumes de tráfego, análises de congestionamentos e dos efeitos da configuração urbana no desempenho do transporte nas cidades brasileiras, além de um novo método para a previsão de volume de tráfego de ciclistas e de escolha de rotas cicláveis, foram outros temas enfocados.

Os estudos desenvolvidos foram possíveis por meio do método sintático-espacial, que envolve índices que qualificam e quantificam o sistema viário, e que pode ser uma ferramenta inicial na avaliação de questões urbanas relacionadas aos fluxos de pessoas e veículos, complementando métodos tradicionais da Engenharia de Transportes e de Tráfego.

Dessa forma, com o uso de ferramentas cada vez mais desenvolvidas e em conjunto com outros métodos, a Sintaxe propicia aos planejadores bons mecanismos de previsão do sistema viário e da estrutura urbana das cidades, proporciona novas possibilidades de investigações de fatores influenciadores de fluxos e das consequências desses movimentos naturais, contribuindo para um adequado e necessário planejamento da mobilidade urbana.

REFERÊNCIAS

ALVES, D. A. S. **Estudo comparativo entre modelos configuracional e de alocação de tráfego na análise e avaliação da circulação urbana de pedestres em áreas centrais**. 1999. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil. UnB, Brasília, 1999.

BARAN, P. K.; SMITH, W. R.; TOKER, U. The Space Syntax and crime: evidence from a suburban community. **Proceedings of the 6th International Space Syntax Symposium**. Istanbul, 2007.

BARROS, A. P. B. G. **Estudo exploratório da Sintaxe Espacial como ferramenta de alocação de tráfego**. 2006. 171 p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

BARROS, A. P. B. G.; SILVA, P. C. M.; HOLANDA, F. R. B. Exploratory study of Space Syntax as a traffic assignment tool. **Proceedings of the 6th International Space Syntax Symposium**. Istanbul, 2007.

BARROS, A. P. B. G.; MARTINEZ, L. M. G.; VIEGAS, J. M. C. B.; SILVA, P. C. M. Impacto do desenho da malha viária na mobilidade urbana sustentável. **Anais do V Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável**. Brasília, 2012.

BASER, B.; KUBAT, A. S. A new landscape design strategy for creating continuous, perceptible and productive urban green: a case study of Kadiköy–Istanbul. **Proceedings of the 6th International Space Syntax Symposium**. Istanbul, 2007.

CARMO, C. L.; RAIA JR., A. A.; NOGUEIRA, A. D. A Teoria da Sintaxe Espacial e suas aplicações na Área de Circulação e Transportes. **Anais do V Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável**. Brasília, 2012a. v. 1. p. 1-12.

- CARMO, C. L.; RAIA JR., A. A.; NOGUEIRA, A. D. Análise dos efeitos da configuração urbana na acidentalidade envolvendo pedestres por meio da Teoria da Sintaxe Espacial e de um Sistema de Informações Geográficas. **Anais do XXVI Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes**, 2012, Joinville. Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2012, 2012b. p. 759-762.
- CAVALCANTE, A. P. H.; HOLANDA, F. R. B. Uso da Sintaxe Espacial na análise da dinâmica da hierarquia viária na cidade de Fortaleza, Ceará. **Anais do XIX ANPET Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes**. Recife: ANPET, 2005. v. II. p. 955-966
- CAVALCANTE, A. P. H. C.; PAULA, F. S. M.; FRANÇA, D. B. Análise do uso do solo utilizando Sintaxe Espacial para a determinação de locais críticos para a implantação de PGVs. **Anais do 16º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito**. Maceió: ANTP, 2007.
- CAVALCANTE, A. P. H. **A arquitetura da cidade e os transportes: o caso dos congestionamentos em Fortaleza-Ceará**. 2009. 347 p. Tese (Doutorado), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB, Brasília, DF, 2009.
- CHIARADIA, A.; MOREAU, E.; RAFORD, N. Configurational Exploration of Public Transport Movement Networks: a case study The London Underground. **Proceedings of the 5th International Space Syntax Symposium**. Netherlands, 2005.
- CHIARADIA, A. Emergent Route Choice Behaviour, Motorway and Trunk Road Network: The Nantes Conurbation. **Proceedings of the 6th International Space Syntax Symposium**. Istanbul, 2007.
- DURSun, P. Space Syntax in Architectural Design. **Proceedings of the 6th International Space Syntax Symposium**. Istanbul, 2007.
- FERGUSON, P. The streets of innovation: an exploratory analysis of knowledge transfer in the public realm. **Proceedings of the 6th International Space Syntax Symposium**. Istanbul, 2007.
- HILLIER, B.; HANSON, J. **The Social Logic of Space**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984, 281 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511597237>.
- HILLIER, B. Can streets be made safe? **Urban Design International**, v. 9, p. 31-45, 2004. <https://doi.org/10.1057/palgrave.udi.9000079>.
- HILLIER, B. **Space is the machine: configurational theory of architecture**. London, United Kingdom: UCL, 2007.
- JALES, A. W. L. **Estimação de volumes de tráfego com base na morfologia urbana. Estudo de caso: Cidade de Fortaleza, CE**. 2009. Dissertação (Mestrado), Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- KIM, Y. O.; SHIN, H. W.; KONG, E. M. Establishing a method to construct pedestrian network in downtown area. **Proceedings of the 6th International Space Syntax Symposium**. Istanbul, 2007.
- KISHIMOTO, T.; KAWASAKI, S.; NAGATA, N. TANAKA, R. Optimal location of route and stops of public transportation. **Proceedings of the 6th International Space Syntax Symposium**. Istanbul, 2007.
- KUBAT, A. S.; KAYA, H. S. Space and fear of crime relation in urban green areas case study: Maçka Demokrasi Park. **Proceedings of the 6th International Space Syntax Symposium**. Istanbul, 2007.
- KUBAT, A. S.; KAYA, H. S.; SARI, F.; GÜLER, G.; ÖZER, Ö. The effects of proposed bridges on urban macroform of Istanbul: a syntactic evaluation. **Proceedings of the 6th International Space Syntax Symposium**. Istanbul, 2007.
- LAW, S.; CHIRADIA, A.; SCHWANDER, C. Towards a multi-modal space syntax analysis. A case study of the London street an underground network. **Proceedings of the 8th International Space Syntax Symposium**. Chile, 2012.
- LOUREIRO, C., RIGATTI, D., AMORIM, L. Forma e Uso Social no Espaço Urbano: Porto Alegre e Recife. **Revista PÓS**. São Paulo: EDUSP, abril, 1995. n. 5, p.17-31
- MAHA, Y. B. **Metodologia para a definição de corredores de ônibus urbanos com a aplicação da Sintaxe Espacial**. 1997. Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Brasília. Brasília, DF, 1997.
- MEDEIROS, V. A. S. **Urbis Brasiliae ou sobre cidades do Brasil: inserindo assentamentos urbanos do país em investigações configuracionais comparativas**. 2006. Tese (Doutorado), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.
- NES, A. V.; LÓPEZ, J. J. Macro and micro scale spatial variables and the distribution of Residential Burglaries and theft from cars: an investigation of space and crime in the Dutch cities of Alkmaar and Gouda. **The Journal of Space Syntax**, v; 1, n. 2, p. 296-314, 2010.
- NOGUEIRA, A. D. **Morfologia urbana através da Sintaxe Espacial e do fluxo de pedestres em território universitário: o campus da UFSCar**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), PPGEU, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1998.
- NOGUEIRA, A. D. **Análise sintático-espacial das transformações urbanas de Aracaju (1855-2003)**. 2004. 365 p. Tese. (Doutorado), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UFBA, Salvador, 2004.
- NUNES, M. B. M. M. UnB and its social space. **Proceedings of the 6th International Space Syntax Symposium**. Istanbul, 2007.
- PENN, A.; TURNER, A. Space Syntax based agent simulation. **In: 1st International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics**, University of Duisburg, Germany, 2001.

- ÖZBİL, A.; PEPONIS, J. Modeling street connectivity and pedestrian movement according to standard GIS street network representation. **Proceedings** of the 6th International Space Syntax Symposium. Istanbul, 2007.
- ÖZBİL, A.; PEPONIS, J. The effects of urban form on walking to transit. **Proceedings** of the 8th International Space Syntax Symposium. Chile, 2012.
- PEPONIS, J.; ALLEN, D.; HAYNIE, D.; SCOPPA, M.; ZHANG, Z. Measuring the configuration of street networks: the spatial profiles of 118 urban areas in the 12 most populated metropolitan regions in the US. **Proceedings** of the 6th International Space Syntax Symposium. Istanbul, 2007.
- PEREIRA, R. H.; BARROS, A. P. B. G.; HOLANDA, F. R. B.; MEDEIROS, V. A. S. **O uso da Sintaxe Espacial no desempenho do transporte urbano: limites e potencialidades**. Texto para Discussão 1630. IPEA: Brasília, 2011.
- RAFORD, N.; RAGLAND, D. R. Space Syntax: an innovative pedestrian volume modeling tool for pedestrian safety. **Scholarship Repository**, University of California, 2003.
- RAFORD, N.; RAGLAND, D. R. **Pedestrian volume modeling for traffic safety and exposure analysis: The case of Boston, Massachusetts**. Safe Transportation Research & Education Center, Institute of Transportation Studies, UC, Berkeley, 2006.
- RAFORD, N.; CHIARADIA, A.; GIL, J. Space Syntax: The role of urban form in cyclist route choice in Central London. **Safe Transportation Research & Education Center**, Institute of Transportation Studies, UC Berkeley, 2007.
- SANTOS, S. C. **A análise da transformação urbana do bairro Coroa do Meio mediante teoria da Sintaxe Espacial – Aracaju, SE**. 2009. 136 p. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UnB, Brasília, DF, 2009.
- SARMENTO, B. R.; COSTA, A. D. L. Análise do espaço urbano pela Sintaxe Espacial: um olhar sobre a UFPB. **Anais do V Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável**. Brasília, 2012.
- SCHWANDER, C. Network Analysis Applied: The Railway Network in South East England. **Proceedings** of the 6th International Space Syntax Symposium. Istanbul, 2007.
- SHIN, W. S.; KIM, Y. O.; KIM, A. H. A study on the correlation between pedestrian network and pedestrian volume according to land use pattern. **Proceedings** 6th International Space Syntax Symposium. Istanbul, 2007.
- TOPÇU, M.; TOPÇU, K. D.; KUBAT, A. S. Movement Economy Dependent on Urban Design. **Proceedings** 6th International Space Syntax Symposium. Istanbul, 2007.
- UGALDE, C. M.; RIGATTI, D. Ring Roads in Greater Porto Alegre: would it be an effective solution? **Proceedings** of the 6th International Space Syntax Symposium. Istanbul, 2007.
- ÜNLÜ, A.; EDGÜ, E. Comparative Space Syntax Analysis of Design Strategies for Istanbul Underground Railway System. **Proceedings** of the 6th International Space Syntax Symposium. Istanbul, 2007.
- ZAMPIERI, F. L. **Modelo Estimativo de Movimento de Pedestres Baseado em Sintaxe Espacial, Medidas de Desempenho e Redes Neurais Artificiais**. 2006. 274 p. Dissertação (Mestrado), PROPUR, UFRGS, Porto Alegre, RS, 2006.
- ZAMPIERI, F. L. **O Fenômeno Social do Movimento de Pedestres em Centros Urbanos**. 2012. Tese (Doutorado), 918 p. PROPUR, UFRGS, Porto Alegre, RS, 2012.