



ESTUDO DA MORFOLOGIA URBANA DE UM ASSENTAMENTO POPULAR A PARTIR DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE IMAGENS DE SATÉLITE

Autores:

Davi Ramalho Rodrigues de Andrade - UFC - daviramalho@arquitetura.ufc.br

Daniel Ribeiro Cardoso - UFC - danielcardoso@ufc.br

Resumo:

O presente trabalho busca investigar o potencial da modelagem da informação na compreensão de morfologia urbana de assentamentos populares urbanos. Objetiva-se aqui aprimorar o conteúdo do Banco de Dados (BD) em desenvolvimento no Laboratório de Experiências Digitais da Universidade Federal do Ceará (LED-UFC) através da implementação e interpretação de imagens orbitais adquiridas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Brasil (INPE). Com o apoio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), através do Processamento Digital de Imagens (PDI) matriciais geradas pelos sensores/satélites TM/Landsat 5, ETM+/Landsat 7 e OLI/Landsat 8, pretende-se fazer uma leitura das transformações urbanas observadas nos anos de 1985, 2002, 2013 e 2017 em um bairro da cidade de Fortaleza. Apesar da baixa resolução das imagens adquiridas percebeu-se uma clara expansão da massa urbanizada da região ao longo dos anos. Tal expansão veio acompanhada de uma redução na cobertura de vegetação e de água do território e, nos últimos anos, no surgimento de aglomerações industriais e institucionais que o levantamento disponibilizado pela gestão local não demonstrava.

ESTUDO DA MORFOLOGIA URBANA DE UM ASSENTAMENTO POPULAR A PARTIR DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE IMAGENS DE SATÉLITE

Contribuições para uma metodologia de projeto urbano
paramétrico

MORFOLOGIA URBANA DE ASSENTAMENTOS POPULARES

O presente estudo busca caracterizar a morfologia urbana própria de assentamentos populares em cinturões periféricos, tomando como objeto as ferramentas e métodos do processamento digital de imagens matriciais geradas por satélites para enriquecer a modelagem da informação do bairro Presidente Vargas, localizado na região metropolitana de Fortaleza no estado do Ceará, Brasil (Fig. 1). Esta abordagem possibilita a criação de um framework (MOREIRA & CARDOSO, 2017) que serve de suporte ao planejamento e ao desenvolvimento de projetos urbanos. Acredita-se que a sobreposição de dados interpretados a partir da descrição de imagens de satélite em ambiente GIS (Sistema de Informação Geográfica) gera informações que complementam a compreensão de um determinado tecido urbano, tais como: descrições funcionais, indicadores de densidade, hierarquia de vias entre outros. (GIL et al., 2011)

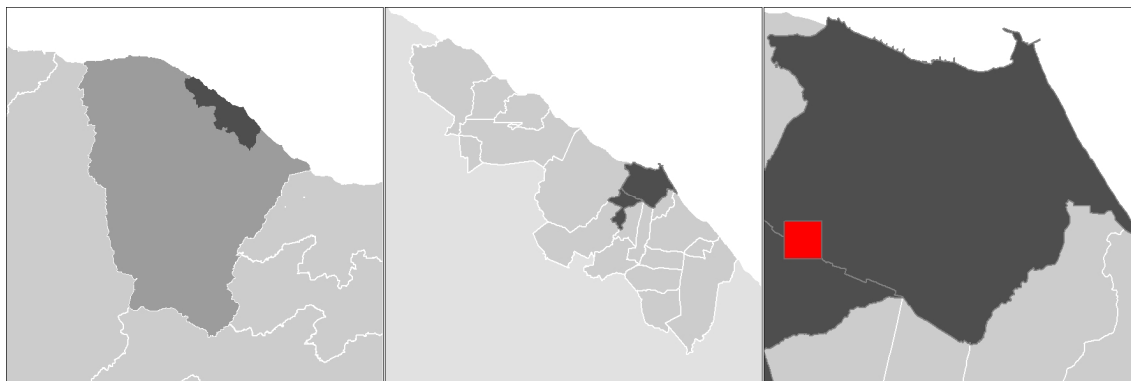


Fig. 1 - Localização da área estudada (em vermelho), na fronteira entre os municípios de Fortaleza e Maracanaú, parte da Região Metropolitana de Fortaleza no estado do Ceará, Brasil.

Duarte et al. (2012) tratam da ontologia do ambiente urbano como aquela que define e organiza as relações significativas entre objetos e características encontradas nesses aglomerados. Entre as principais classes dessa ontologia os autores destacam as redes, que descrevem os domínios de conectividade, e a morfologia urbana que contém diversos sistemas.

A presente pesquisa busca tratar os assentamentos populares urbanos como sistema inerente à essa ontologia do ambiente urbano, buscando compreender seu quadro geral a partir do caso particular do bairro Presidente Vargas no município de Fortaleza. Sobre o desenvolvimento de uma ontologia para o desenho urbano, Beirão (2012) salienta que trabalhos futuros deverão desenvolver a representação da propriedade urbana e o uso do solo focando em como esses conceitos e representações são utilizados no processo de projeto urbano.

Nesse sentido vê-se aberto um amplo espectro de possibilidades na compreensão desse sistema no quadro da realidade brasileira, conforme observam Pereira & Silva (2001):

“O objetivo de se criar um sistema conceitual que, embora sendo independente, corresponda ao mundo real, é, em termos de planejamento, entender a situação atual e suas tendências, antecipar os cenários futuros e avalia-los, para possível intervenção que pode ser simulada no sistema conceitual, antes de aplicada no sistema do mundo real, atendendo à crescente preocupação com a eficiência e com a equidade do processo de planejamento.” (PEREIRA & SILVA, 2001, p.99)

Enquadra-se aqui o bairro Presidente Vargas como subsistema urbano do sistema complexo da região metropolitana de Fortaleza. Nesse contexto pretende-se aprofundar na caracterização da morfologia urbana própria de assentamentos populares urbanos, tomando como base o conceito de assentamentos precários definido pelo Ministério das Cidades do Brasil (CIDADES, 2010).

Segundo aquela instituição (CIDADES, 2010) os assentamentos precários são porções do território urbano que apresentam características comuns, apesar de possuírem tipologias e dimensões variadas. São áreas predominantemente residenciais habitadas, em sua maioria, por famílias de baixa renda e apresentam precariedades das condições de moradia que vão desde a ausência de regularidade fundiária e deficiências construtivas das habitações até o insuficiente abastecimento de infraestrutura de saneamento, transporte, equipamentos sociais e insalubridade geral dos terrenos.

Historicamente esses territórios são conformados a partir de estratégias da população local “para viabilizar, de modo autônomo, solução para suas necessidades habitacionais diante da insuficiência e inadequação das iniciativas estatais” (CIDADES, 2010) o que acaba imprimindo características morfológicas muito peculiares desses territórios, tanto pela forma como se apropriam do território urbano como pela própria configuração de suas porções edificadas (Fig. 2).

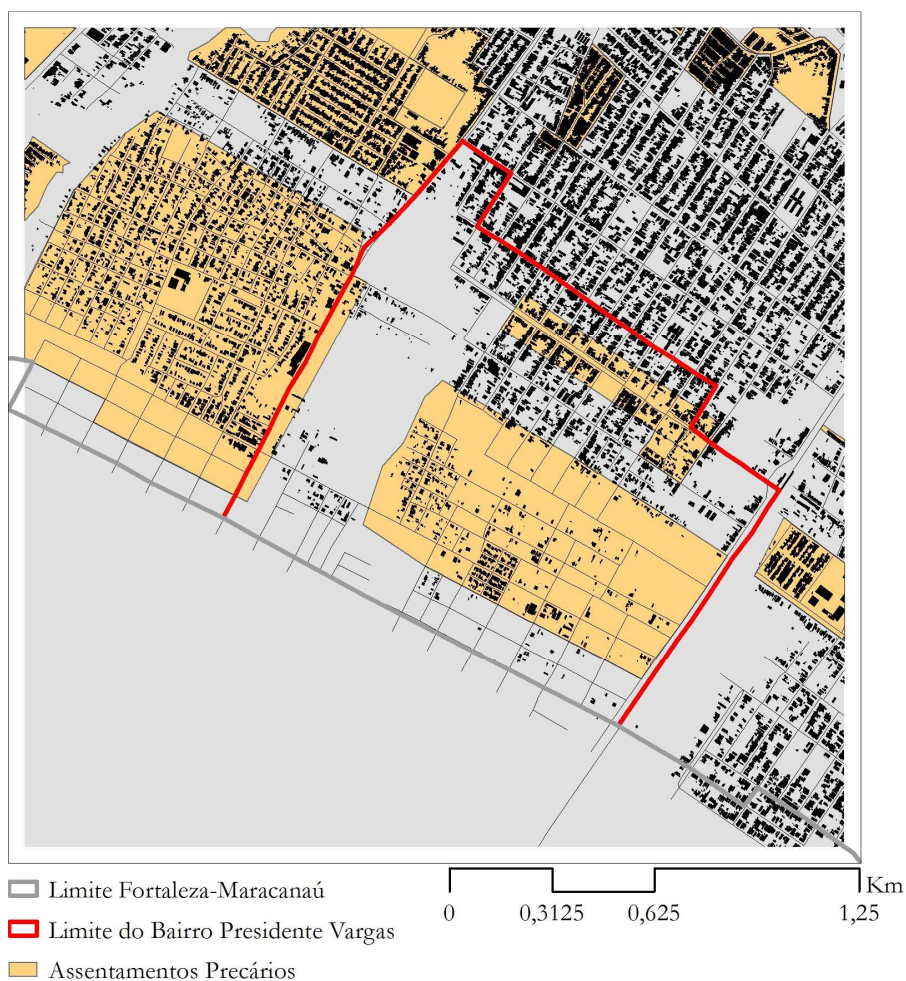


Fig. 2- Mapeamento das edificações e assentamentos precários na área de estudo. Fonte: elaborada pelo autor com base nos dados disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Fortaleza.

Percebe-se, tanto pela especificidade morfológica da realidade dos assentamentos populares urbanos como pelo alto grau de informalidade na apropriação desses territórios pelos seus habitantes, a complexidade da configuração desse espaço urbano (Fig. 2 e Fig. 7). Optou-se no presente estudo tomar-se como base de análise uma área de 2,5x2,5km circunscrita no bairro em questão, de modo a tentar construir uma leitura local sem perder a percepção do contexto urbano do qual o mesmo faz parte.

Apesar do aparente vazio existente no mapa vetorizado de edificações e arruamentos disponibilizados pela prefeitura é nítido que existem lacunas de informação quando verificamos a foto de satélite imediatamente anterior e posterior ao levantamento realizado pela prefeitura (B. e C. da Fig. 7). É nesse contexto que buscou-se ampliar a compreensão desse território através do uso das imagens de satélite que veremos adiante.

Ao tratar das diferentes abordagens correntes acerca da morfologia urbana Oliveira (2016) categoriza quatro aproximações dominantes: i) a abordagem histórico-geográfica; ii) a abordagem tipológica projetual; iii) a sintaxe espacial e iv) a análise espacial. O autor observa forças e fragilidades de cada uma delas, explicitando o potencial de combinação das mesmas e ainda salientando a possibilidade de sua utilização integrada.

Apesar de perceber-se aqui o potencial de aglutinação dessas abordagens, perpassando ainda pelos métodos típicos do space matrix (BERGHAUSER PONT & HAUPT, 2009), o desenvolvimento da sintaxe espacial através da análise da lacunaridade (AMORIM et al., 2014) e os padrões de projeto baseados em gramática (BEIRAO et al., 2012) a presente pesquisa pretende partir inicialmente de uma abordagem histórico-geográfica de compreensão da morfologia urbana desses assentamentos populares.

Toma-se, portanto, dois conceitos importantes dessa abordagem: i) cintura periférica e ii) região morfológica. Segundo Whitehand (2007, apud. OLIVEIRA, 2016) uma cintura periférica forma-se nas franjas urbanas através de diferentes processos de transformação e pode ser evidenciado pelo registro da evolução física de uma cidade. Já uma região morfológica, segundo a mesma abordagem, tende a ser uma área que apresenta certa unidade de configuração que a distingue de suas áreas envolventes (OLIVEIRA, 2016).

Percebe-se aqui a importância de uma percepção que inclui a variável tempo na transformação de um setor urbano e, nesse contexto, como determinadas regiões desse setor vão se configurando e formando unidades que permitam classificar sua leitura. Acredita-se, portanto, que a leitura de diferentes momentos das características geográficas de um território, através do uso de imagens de satélite, amplia a possibilidade de interpretação da morfologia urbana e enriquece o input de dados úteis ao desenvolvimento de projetos urbanos.

O aprofundamento desses conceitos, aliado à exploração das ferramentas GIS e de projeto urbano paramétrico (LOPES et al., 2015), favorece a compreensão dos dados territoriais e morfológicos intra-urbanos e oferece uma contribuição significativa na forma como se aborda o estudo de assentamentos populares urbanos. O artigo busca investir no desenvolvimento de métodos e técnicas para lidar com a elaboração de projetos urbanos em situações de significativa heterogeneidade. (GIL et al., 2011; HILLIER et al., 2000; MESEV et al., 1995)

A presente pesquisa busca validar a abordagem histórico-geográfica da morfologia urbana através do uso das imagens de satélite (matriciais ou raster) e do método da classificação supervisionada (Fig. 6) para leitura e interpretação de séries históricas do perímetro urbanos do bairro Presidente Vargas.

Acredita-se que o método em questão poderá apresentar os seguintes benefícios: i.) A abordagem reduz o tempo de estimativa de áreas de uso e ocupação do solo de territórios para alimentação do banco de dados da pesquisa; ii.) Permite analisar as mudanças de densidade do uso do solo ao longo de períodos estabelecidos com base nas fontes de imagens e iii) Viabiliza a checagem da confiabilidade dos dados originados com base no método graças a existência de índices de desempenho da classificação.

MODELAGEM DA INFORMAÇÃO EM AMBIENTE SIG E INPUT PARA UM PROJETO URBANO PARAMÉTRICO

Beirao, Montenegro & Arrobas (2012) adotam o termo CIM (Modelagem da Informação da Cidade) para descrever uma estrutura capaz de formular, gerar e avaliar planos urbanos. Segundo os autores trata-se de uma estrutura focada no processo de projeto cuja principal ideia é conectar “um modelo paramétrico de um setor urbano com os dados relacionados a este, provendo simultaneamente um ambiente de projeto e um ambiente analítico”. Esse sistema integrado de modelagem da informação é explorado ainda em Moreira & Cardoso (2017) e Beirao & Duarte (2018).

Os autores tratam dos SIG como um dos componentes responsáveis por prover dados de entrada no Banco de Dados (BD) dessa estrutura CIM. Pereira & Silva (2001) observam que o SIG “se refere a um pacote de software que permite o tratamento automatizado de dados gráficos e não gráficos georreferenciados” cujo componente mais importante é a base de dados com o qual se relaciona. Porém, diante das limitações na qualidade e quantidade de dados disponíveis sobre os assentamentos populares urbanos, particularmente no caso da cidade de Fortaleza, buscou-se incrementar os dados georreferenciados para a área em estudo através da implementação de imagens matriciais conseguidas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Brasil (INPE).

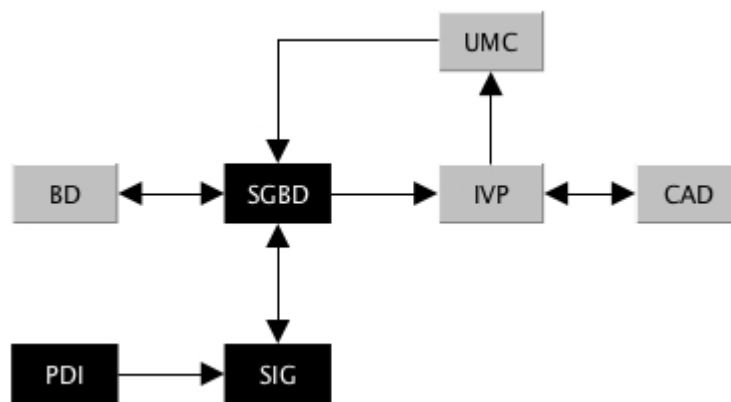


Fig. 3- Estrutura do Sistema Integrado de Modelagem da Informação da Cidade. Fonte: elaborado pelo autor, adaptado de Moreira and Cardoso (2017) e Beirao and Duarte (2018).

Esses dados matriciais, oriundos de levantamentos orbitais feitos por meio de sensoriamento remoto, foram utilizados como input necessários à verificação das porções de territórios que se pretendeu analisar. Essa fonte de dados nos permitiu ter acesso a períodos não registrados pelos dados disponibilizados pela prefeitura local mas, por se tratarem de imagens matriciais, fez-se necessário introduzir a etapa de Processamento Digital de Imagens (PDI) no tratamento das imagens de modo a facilitar sua leitura (Fig. 3, 4 e 5).

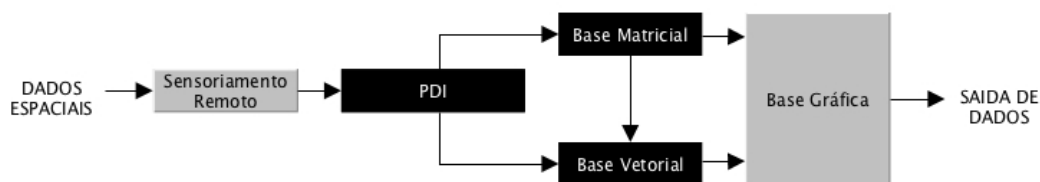


Fig. 4- Processo de formação da base de dados com base em sensoriamento remoto. Fonte: elaborado pelo autor com base em Pereira and Silva (2001).

É necessário salientar que a resolução das imagens processadas é fundamental para a definição das classes de categorias de uso do solo, seja ele urbano ou rural. Segundo o manual técnico de uso da terra (IBGE, 2013) o tipo de informação obtido dos sensores remotos dependem, dentre outras, de quatro características dos sensores escolhidos para os estudos propostos: resolução espacial, resolução radiométrica, resolução espectral e resolução temporal. A resolução espacial corresponde ao tamanho da menor área visada pelo sensor e deve ser compatível com a escala do mapeamento proposto. A resolução radiométrica se refere à quantidade de dados embutida em cada banda de imagem produzida pelo satélite.

A resolução espectral caracteriza a “capacidade do sensor em operar em várias e estreitas bandas espectrais”(IBGE, 2013) que auxiliam na distinção das características de diferentes tipos de uso do solo por onde o satélite passou a visada. Por fim a resolução temporal se relaciona com o “intervalo de tempo que cada satélite revisita uma mesma área”, mas, no presente estudo, também computa-se aqui o tempo de operação do satélite que, para o estudo, corresponde à possibilidade de observação das transformações de um determinado perímetro geográfico ao longo do tempo.

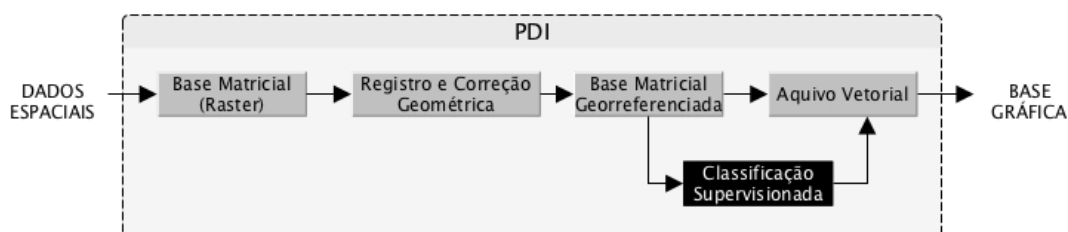


Fig. 5- Processamento digital de imagens. Fonte: elaborado pelos autores.

METODOLOGIA – CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE IMAGENS LANDSAT 5, 7 E 8

Nesse estudo será utilizada a técnica da classificação supervisionada de imagens raster para a análise de imagens dos satélites Landsat 5, 7 e 8 possibilitando, por meio do cruzamento dos resultados de séries temporais, gerar uma descrição da morfologia urbana daquele assentamento. Os dados levantados e classificados a partir daquelas imagens de satélite serão comparados com os dados vetorizados e georreferenciados adquiridos junto à

gestão municipal local de modo a traçar um panorama da consolidação urbana do território escolhido, bem como possibilitar a análise das transformações de uso do solo a ela associadas. No estudo de caso as imagens de satélite servirão como suporte adicional à modelagem da informação de territórios urbanos, auxiliando na representação de dados espaciais e no desenvolvimento de métodos de projeto urbano paramétrico. (BEIRAO et al., 2012; LOPES et al., 2015; MOREIRA & CARDOSO, 2017)

O uso de imagens raster para a interpretação de informações é comum em escalas regionais (1:250.000, 1:100.000 ou 1:20.000). Trata-se de um recurso utilizado nos campos da geologia e geografia, entre outros, para permitir uma melhor compreensão da situação das condições do solo (urbano ou rural) na data ou período que o levantamento fotogramétrico foi realizado. (Leão et al., 2007; Messias & Garofalo, 2015)

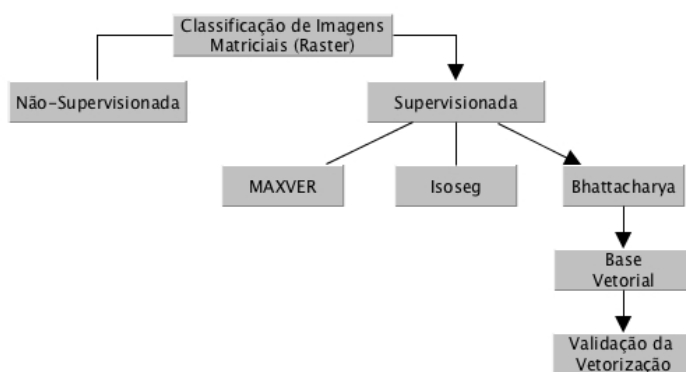


Fig. 6 - Método de Classificação de imagens matriciais selecionado. Fonte: elaborado pelos autores.

Devido a altitude de operação dos satélites responsáveis pela coleta dessas fotogrametrias, frequentemente observa-se que os estudos que utilizam imagens raster não chegam à um nível de aproximação que permita uma caracterização mais clara de perímetros intra-urbanos (1:5.000, 1:2.000 e 1:1.000) já que a resolução de suas imagens dificilmente permite visualizar informações em escalas mais próximas do nível do bairro, o que facilitaria por exemplo a visualização de ocupação das quadras, edificações e arruamentos no caso da leitura de aglomerados urbanos. Por uma limitação operacional a presente pesquisa não teve acesso a fontes de imagens pagas, como Quickbird ou WorldView que têm resoluções que permitem efetivamente uma maior aproximação do espaço intra-urbano. (AMORIM & BARROS FILHO, 2017)

A vantagem do uso de produtos de sensoriamento remoto está na sua ampla capacidade de cobertura da terra, dentro do espectro temporal em que seus respectivos satélites foram lançados. Apesar da restrição na eventual baixa resolução das imagens adquiridas, o processamento digital dessas imagens, através de técnicas de classificação digital, possibilita uma interpretação bastante precisa dos dados de origem. Leão et al. (2007) observa que:

“Os produtos obtidos por meio de processamento digital de imagens devem ter sua acurácia avaliada a partir de uma verdade de campo a fim de conferir maior confiabilidade e facilitar o processo de tomada de decisão. Atualmente um dos principais parâmetros que devem ser fornecidos junto aos mapas é a avaliação do erro envolvido no produto.” (LEÃO et al., 2007, p.939)

Este levantamento inicial pretende descrever quais técnicas comuns a outros campos de conhecimento podem favorecer a interpretação de imagens raster no âmbito de escalas mais próximas de perímetros intra-urbanos.

Para o presente estudo foram utilizadas imagens TM/Landsat 5 de 20/07/1985 e 19/06/1991, ETM+/Landsat 7 de 28/08/2002 e OLI/Landsat 8 de 02/08/2013, 08/08/2015 e 14/09/2017. Pretende-se aqui descrever sucintamente as propriedades de resolução das imagens de satélite originadas para estudos do território brasileiro e, conseqüentemente, identificar qual fonte e método de classificação melhor se adequam ao objetivo do artigo.

Sensor/Satélite	Resolução radiométrica	Resolução Espectral	Resolução Espacial
TM/Landsat 5	8 bits	Multiespectral	30 m
ETM+/Landsat 7	8 bits	Multiespectral	30 m
		Pancromática	15 m
OLI/Landsat 8	16 bits	Multiespectral	30 m
		Pancromática	15 m

Tabela 1 - Resolução radiométrica, espectral e espacial dos sensores/satélites utilizados na pesquisa. Fonte: elaborado pelos autores.

As imagens foram coletadas através do catálogo do INPE e selecionadas segundo a informação de cobertura de núvens da área em estudo de modo a obter uma interpretação clara do uso do solo na região, evitando portanto confusões de interpretação após a classificação das mesmas. O georreferenciamento das mesmas e a composição das bandas multispectrais bem como a fusão da banda pancromática no caso das imagens ETM+/Landsat 7 e OLI/Landsat 8 foram feitas utilizando o software Spring 5.5.3 disponibilizado pelo próprio INPE e Qgis 2.18, ambos de licença e códigos livres.

Antes de realizar a classificação das imagens através da vetorização dos dados matriciais foi necessário definir as categorias de uso da terra permitida pela resolução das imagens dos satélites selecionados pela pesquisa. Pela resolução das imagens percebeu-se que só seria possível perceber manchas gerais de uso do solo. As classes definidas foram: Área urbanizada, área industrial e institucional, vegetação e água.

As imagens foram recortadas de modo a mostrar o bairro em estudo inscrito num quadrado de 2,5x2,5km que mostra a relação imediata do bairro com sua situação urbana. Para a classificação supervisionada foi utilizado o algoritmo Bhattacharya (Fig. 6) por este apresentar maior índice Kappa de confiabilidade da classificação segundo Leão et al. (2007)

O índice Kappa apresenta, segundo Leão et al. (2007), a precisão geral do mapa, a precisão de cada classe temática, bem como os erros de omissão e de inclusão dos pixels selecionados na amostra (Gonçalves, Pereira, & Souza, 2005; Leão et al., 2007). Tomou-se como base o desempenho do índice Kappa utilizado por Messias e Garofalo (2015) apresentado na Tabela 2. (Apud. Landis & Koch, 1977).

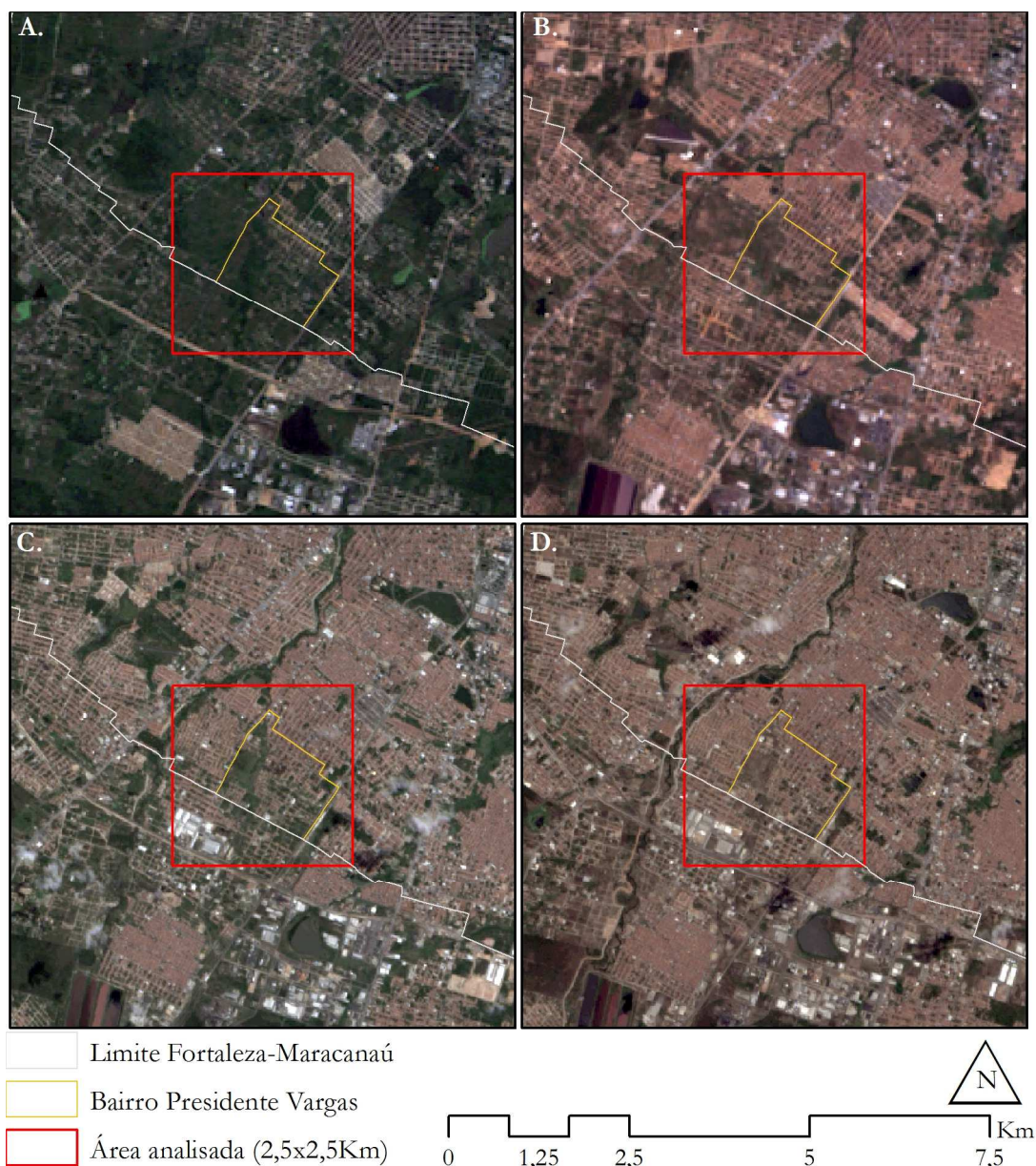


Fig. 7 - Composição das bandas espectrais de imagens em cor natural pelos sensores/satélites utilizados no estudo: (A.) TM/Landsat 5 registrado em 20 de julho de 1985; (B.) ETM+/Landsat 7 registrado em 28 de agosto de 2002; (C.) OLI/Landsat 8 registrado em 02 de agosto de 2013 e (D.) OLI/Landsat 8 registrado em 14 de setembro de 2017. Fonte: elaborado pelos autores.

A composição de bandas utilizadas para cada sensor/satélite, bem como os valores de similaridade e área de pixel escolhidas, a classificação para o mapeamento temático bem como o índice Kappa de confiabilidade são apresentados nos Tabela 3 - Resultado da verificação de desempenho geral das classificações supervisionadas realizadas e média de confusão dos pixels. Fonte: elaborado pelos autores. (LEÃO et al., 2007) Os mapas resultantes

da classificação e os índices de transformação intra-urbanas observadas são apresentados nas Figuras 8 e 9.

Índice Kappa	Desempenho da classificação
$K \leq 0$	Péssimo
$0 < K \leq 0,2$	Mau
$0,2 < K \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < K \leq 0,6$	Bom
$0,6 < K \leq 0,8$	Muito Bom
$0,8 < K < 1$	Excelente

Tabela 2 - Categorias de desempenho (índice Kappa) de classificação supervisionada de imagens. Fonte: adaptado de Messias and Garofalo (2015).

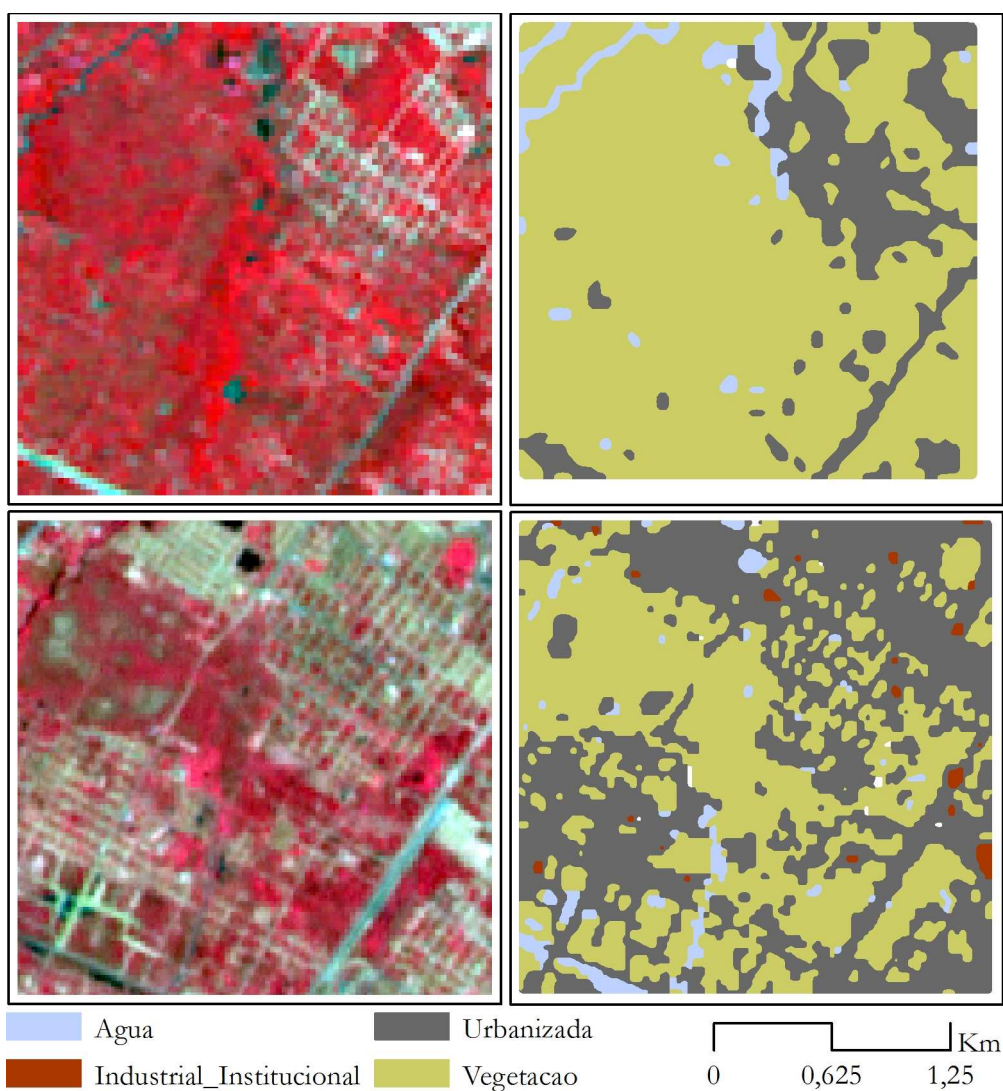


Fig. 8 – Resultado da Composição das bandas espectrais em Infravermelho (imagens à esquerda) e das classificações supervisionadas (imagens à direita) com base nos sensores/satélites TM/Landsat 5 de 1985 (acima) e ETM+/Landsat 7 de 2002 (abaixo). Fonte: elaborado pelos autores.

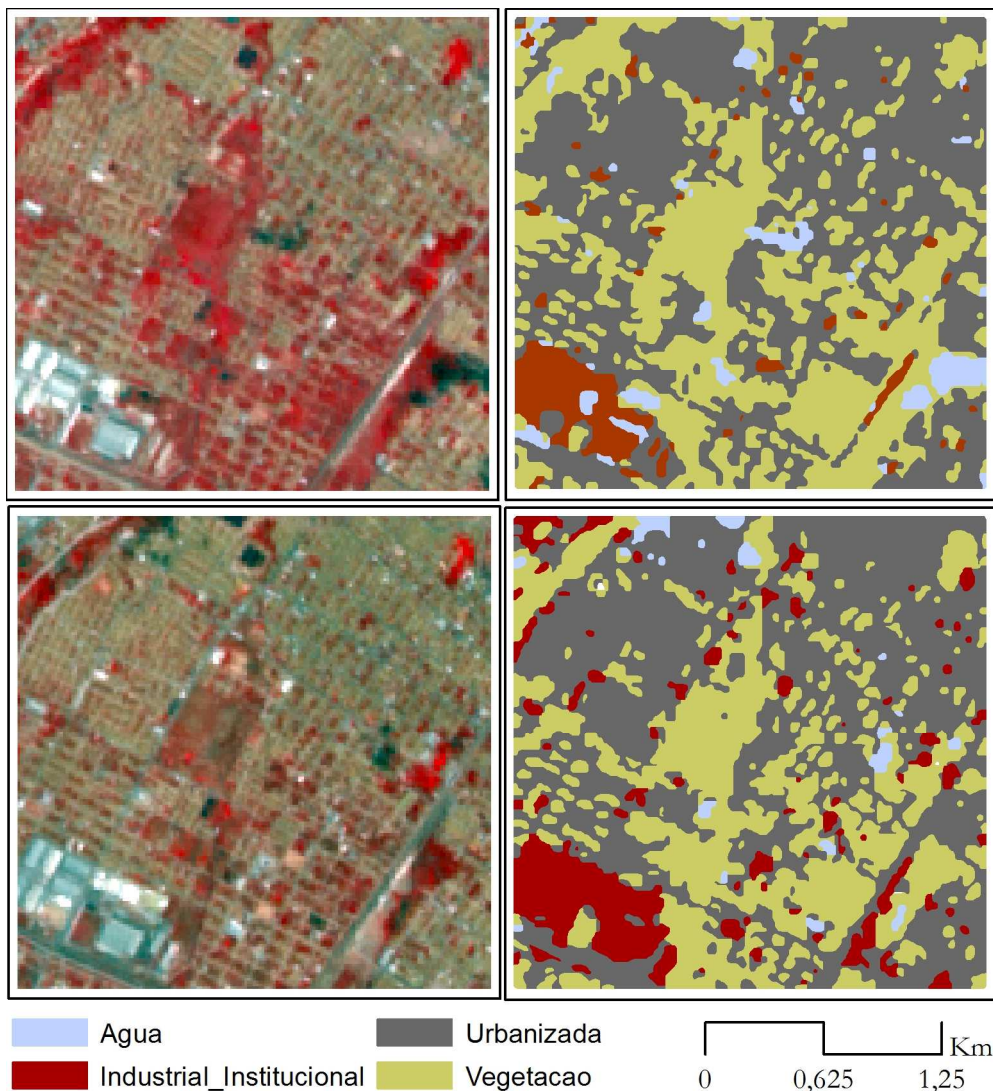


Fig. 9- Resultado da Composição das bandas espectrais em Infravermelho (imagens à esquerda) e das classificações supervisionadas (imagens à direita) com base nos sensores/satélites OLI/Landsat 8 de 2013 (acima) e OLI/Landsat 8 de 2017 (abaixo). Fonte: elaborado pelos autores.

RESULTADOS – INDICADORES URBANOS DE SÉRIES TEMPORAIS

Apesar da baixa resolução espacial das imagens de satélite utilizadas (Tabela 1) foi possível extrair informações esclarecedoras sobre as mudanças ocorridas na área de estudo ao longo dos 32 anos das séries de imagens levantadas. A resolução das imagens raster foi fator limitante dos tipos de classes definidas para análise da cobertura do território e resultaram em uma pequena variação dimensional entre as imagens levantadas pelo satélite

em 1985 e as demais. Mesmo assim foi possível observar entre os anos de 1985 e 2017, considerando a proporção ocupada pelas áreas classificadas na série temporal, uma redução de 40% da cobertura de água e de 41% da cobertura vegetal da região. Concomitantemente observou-se uma expansão da cobertura antropizada em mais de 300% e o surgimento de instalações industriais que antes eram inexistentes e em 2017 ocupavam uma área de 10,08% do território em estudo.

A figura 10 apresenta uma visão geral desses resultados. O nível de precisão destes números está limitado pela resolução das imagens utilizadas mas oferecem um importante indicador trans-temporal que pode ser muito útil em fases iniciais de projeto e planejamento urbano, particularmente nos casos onde as fontes oficiais de dados inexistem ou são limitados como costuma ser o caso de assentamentos populares urbanos.

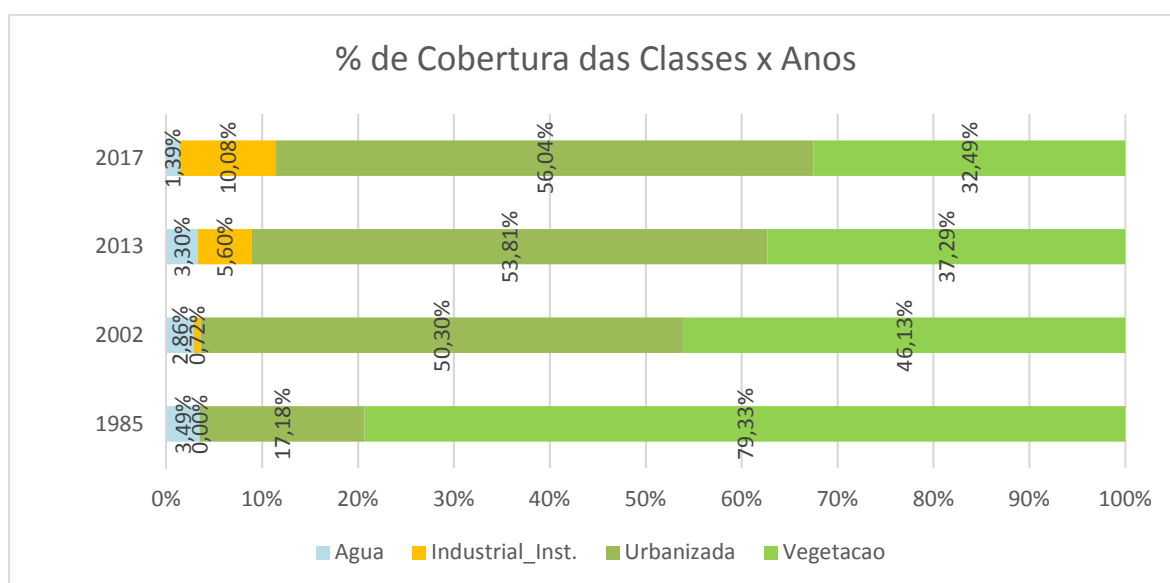


Fig. 10 - Cobertura do solo ao longo dos anos observados através das imagens de satélite.

O método utilizado pelo estudo, da classificação supervisionada das imagens dos satélites Landsat, demonstrou-se bastante útil na complementação das informações do banco de dados da pesquisa o que pode ser confirmado pelo desempenho geral da classificação supervisionada realizada (Tabela 3). Além disso tornou possível expandir as fontes de dados da mesma pois esta dependia dos registros oficiais de informações georreferenciadas ou de vetores produzidos manualmente sobre imagens levantadas por sensoriamento remoto.

Sensor/Satélite	Desempenho Geral da Classificação (Índice Kappa)	Confusão Média dos Pixels Classificados
TM/Landsat 5 (1985)	1	0
ETM+/Landsat 7 (2002)	0,997	0,003
OLI/Landsat 8 (2013)	1	0
OLI/Landsat 8 (2017)	1	0

Tabela 3- Resultado da verificação de desempenho geral das classificações supervisionadas realizadas e média de confusão dos pixels. Fonte: elaborado pelos autores.

Acredita-se que o método poderá ser extrapolado para análise de imagens de melhor resolução (Quickbird e Ortofotogrametria feita por drones) o que tornará possível ampliar os tipos de classes observadas e sua checagem imediata em campo. A técnica da classificação supervisionada poderá ser comparada com outras técnicas conhecidas, como a análise orientada ao objeto para imagens de alta resolução espacial (LEONARDI, 2009). Esses levantamentos, associados ao método de classificação sistematizado apresentado neste trabalho, podem reduzir de modo significativo o tempo necessário para a aquisição de dados de territórios pouco conhecidos e tendem a tornar mais dinâmico o processo de análise da morfologia urbana de assentamentos populares favorecendo, conseqüentemente, a simulação de alternativas de solução para planos e projetos que busquem qualificar o espaço intra-urbano desse tipo de território.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, L.; BARROS FILHO, M. Convergência de métodos de descrição da forma urbana: análise de textura de imagens de satélite e análise gráfica visual. *Revista de Morfologia Urbana*, v. 5, n. 2, p. 65-81, 2017.
- AMORIM, L. M. E.; BARROS FILHO, M. N. M.; CRUZ, D. Urban texture and space configuration: an essay on integrating socio-spatial analytical techniques. *Cities*, v. 39, p. 58-67, 2014.
- BEIRAO, J. N. D. C. CityMaker: designing grammars for urban design. 2012. Thesis Faculty of Architecture, Department Urbanism Department Architectural Engineering + Technology, Delft University of Technology
- BEIRAO, J. N. D. C.; ARROBAS, P.; DUARTE, J. P. Parametric urban design: joining morphology and urban indicators in a single interactive model. *Congresso eCAADe'30*, 2012, Praga.
- BEIRAO, J. N. D. C.; DUARTE, J. P. Generic grammars for design domains. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, v. 32, p. 225-239, 2018.
- BEIRAO, J. N. D. C.; MONTENEGRO, N.; ARROBAS, P. City information modelling: parametric urban models including design support data. *PORTUGUESE NETWORK URBAN MORPHOLOGY - PNUM*. Brussels, Ljubljana: 1122-1134 p. 2012.
- BERGHAUSER PONT, M.; HAUPT, P. Space, density and urban form. S.l.: s.n., 2009. ISBN 978-90-5269-375-0.
- CIDADES, M. D. Guia para o Mapeamento e Caracterização de Assentamentos Precários. Brasília: Ministério das Cidades, 2010.
- DUARTE, J. P. et al. City induction: A model for formulating, generating, and evaluating urban designs. *Digital Urban Modelling and Simulation*, 2012, Springer-Verlag.
- GIL, J.; ALMEIDA, J.; DUARTE, J. P. The backbone of a City Information Model (CIM): Implementing a spatial data model for urban design. 2011.

- GONÇALVES, C. D. A. B.; PEREIRA, M. N.; SOUZA, I. M. Uso de imagens CBERS para mapeamento de uso do solo urbano como subsídio ao planejamento. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, Brasil: 969-977 p. 2005.
- HILLIER, B.; GREENE, M.; DESYLLAS, J. Self-generated Neighbourhoods: the role of urban form in the consolidation of informal settlements. *Urban Design International*, v. 5, p. 61-96, 2000.
- IBGE. Manual técnico de uso da terra. Rio de Janeiro: 2013.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.
- LEONARDI, F. et al. Avaliação comparativa entre classificação supervisionada por regiões e orientada a objeto para imagens de alta resolução espacial: Cbers 2B-HRC e Quickbird. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal, Brasil: 981-988 p. 2009.
- LEÃO, C. et al. Avaliação de métodos de classificação de imagens TM/Landsat e CCD/CBERS para o mapeamento do uso e cobertura da terra na região costeira do extremo sul da Bahia. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis, Brasil. p.939-946.
- LOPES, J. V. et al. Multidimensional Analysis of Public Open Spaces - Urban Morphology, Parametric Modelling and Data Mining. 33rd eCAADe Conference, 2015, Vienna University of Technology. p.351-360.
- MESEV, T. V. et al. Morphology from imagery: detecting and measuring the density of urban land use. *Environment and Planning A*, v. 27, p. 759-780, 1995.
- MESSIAS, C. G.; GAROFALO, D. F. T. Diferentes técnicas de classificação digital em imagens LANDSAT 8, para o mapeamento do uso do solo no município de Campinas-SP. XV Encuentro de Geógrafos de América Latina. Havana, Cuba 2015.
- MOREIRA, E.; CARDOSO, D. R. Sistema integrado de modelagem da informação como suporte ao planejamento e ao projeto urbanos. PORTUGUESE NETWORK URBAN MORPHOLOGY - PNUM 2017.
- OLIVEIRA, V. Morfologia urbana: diferentes abordagens. *Revista de Morfologia Urbana*, v. 4, n. 2, p. 65-84, 2016.
- PEREIRA, G. C.; SILVA, B. C. N. Geoprocessamento e Urbanismo. In: GERARDI, L. H. O. e MENDES, I. A. (Ed.). *Teoria, Técnicas, Espaços e Atividades: temas de geografia contemporânea*. Rio Claro: Programa de Pós-graduação em Geografia - UNESP, 2001.
- WHITEHAND, J. W. R. Cozenian urban morphology and landscapes. 6th International Space Syntax Symposium, 2007, Istanbul. Istanbul Technical University.

