



MÉTRICAS DA PAISAGEM COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA URBANIZAÇÃO NA ESTRUTURA DA PAISAGEM: O CASO DE CUIABÁ, BRASIL

DOI: 10.19177/rgsa.v7e42018411-432

Marcelo Paes de Barros¹

RESUMO

O desenvolvimento da agricultura em larga escala em regiões de cerrado no Mato Grosso, nos anos 70, trouxe um processo de urbanização rápido e não planejado nas cidades do estado, resultando em consequências negativas, como a degradação ambiental. Este estudo teve como objetivo avaliar as mudanças da paisagem urbana, resultado desse processo, de 1980 a 2010, em Cuiabá, Brasil. Métricas em nível de paisagem, incluindo métricas de área, densidade e tamanho de retalhos, aresta, forma, vizinho mais próximo e complexidade, calculadas usando o programa, de análise de estrutura de paisagem, Fragstats, com base na interpretação de imagens Landsat, foram usadas para descrever mudanças na estrutura da paisagem causadas pela urbanização. Os resultados mostraram que a área dos fragmentos de vegetação diminuiu de 20,4%, nestes 30 anos, sendo maior entre os anos de 1980 e 1995. A paisagem tornou-se ecologicamente mais fragmentada e menos complexa devido à linearização da forma urbana, com blocos de rua regulares e espaços verdes cultivados, como parques urbanos, jardins e ruas, resultado de modificações humanas na estrutura da paisagem.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Dimensão Fractal. Ecologia de Paisagens.

¹ Engenheiro Civil e Físico pela UFMT. Doutor em Física Ambiental pela UFMT. Docente do Instituto de Física na Universidade Federal de Mato Grosso. E-mail: marcelo.paes@fisica.ufmt.br

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do Tema

Estabelecidas para praticar a agricultura, as primeiras cidades logo foram lideradas por sacerdotes, que interpretavam a vontade dos deuses, ou monarcas, cidadãos belicosos que protegiam a terra que originara a cidade. Conforme as suas vontades, os sacerdotes construíram templos, os monarcas palácios e ambos construíram túmulos (GLANCEY, 2007).

Entretanto, independente do sistema de governo, já nas primeiras aglomerações humanas, Corbella e Yannas (2003) destacaram uma preocupação comum: a construção de um espaço modificado no qual o ser humano possa sentir-se protegido. Assim, nos primeiros estágios das cidades, os fatores naturais foram uma influência dominante na determinação das relações espaciais. Todavia, para Santos (1993), o início de um processo social complexo, após a segunda guerra mundial, resultado da profunda interação entre ciência e técnica, onde o aumento dos fluxos, de capitais e pessoas, e a expansão do consumo em formas diversas impulsionaram a vida de relações nas cidades, ativou o próprio processo de urbanização. A diferença deste período, ante as formas anteriores do meio geográfico, vem da relação estabelecida com a natureza. Agora as mudanças que ocorrem na natureza estão subordinadas a lógica do mercado, produzindo um espaço cada vez mais denso, uma situação em que o ambiente natural, onde ainda existe, tende a recuar, às vezes brutalmente.

Por outro lado, longe de ser um sistema desordenado, segundo uma concepção orgânica, a expansão da cidade segue em um estado dinâmico de equilíbrio, onde “as partes que compõem o sistema se auto regulamento através de uma teia de relações, que garantem ao conjunto a flexibilidade necessária para se adaptar a condições mutáveis” (CAPRA, 2006, p.82). O aparente caos e diversidade da forma física das cidades, segundo Salingaros (2005), são, por excelência, exemplos de sistemas complexos: emergente, longe do equilíbrio, exigindo enormes energias para manter-se, exibindo padrões de desigualdades geradas através de aglomeração e competição intensa por espaço e saturada de sistemas de fluxos. Muitos autores sugerem que essa forma fragmentada, instável e contraditória do ambiente urbano, produto da auto-organização do sistema, tem como resultado uma

geometria que se aproxima da geometria fractal (LYNCH, 1985; PORTUGALI, 2000; SALINGAROS, 2000; BATTY, 2008).

Neste sentido alguns trabalhos utilizaram a geometria fractal para avaliar a morfologia dos espaços urbanos a partir do estudo de imagens de satélites, encontrando correlações positivas entre a expansão das áreas urbanizadas e a dimensão fractal destas ao longo do tempo (DIBARI, 2007; TANG et al., 2008; LI et al., 2010). Styers et al. (2010) utilizaram Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e análise fractal aplicadas para a fração de vegetação derivada de uma imagem LANDSAT de Indianápolis, EUA, para desenvolver um sistema de classificação da saúde de ecossistemas florestais situados em ambientes submetidos uma rápida urbanização.

Além da dimensão fractal, outros índices da ecologia da paisagem, denominados por métricas de paisagem, são utilizados em estudos das relações entre a forma e a fragmentação do ambiente urbano e fenômenos sociais e ambientais (DIBARI, 2007; LI et al., 2009). A ecologia da paisagem, ramo da ecologia, tem como foco a investigação e a compreensão da heterogeneidade espacial em múltiplas escalas com base em três características da paisagem: estrutura, função e mudança (FORMAN e GODRON, 1986).

DiBari (2006), utilizou quatro métricas de paisagem para descrever as mudanças na estrutura da paisagem causadas pela urbanização na área metropolitana de Tucson, EUA, entre 1984 e 1998. Segundo o autor, os índices, dimensão fractal (FRAC), de maior fragmento (LPI), distância ao vizinho mais próximo (ENN), e interspersão e justaposição (IJI), forneceram uma visão abrangente da estrutura da paisagem, incluindo extensão, forma, isolamento e proximidade, e de contágio, respectivamente. Os resultados indicaram um aumento no número de fragmentos de vegetação no espaço da cidade com uma consequente redução da área média de cada fragmento de 2,73 ha, em 1984, para 0,53 ha, em 1998.

Li et al. (2010) utilizaram dados de sensoriamento remoto, SIG e métodos de ecologia da paisagem para avaliar quantitativamente a dinâmica espacial e temporal do desenvolvimento urbano sobre zonas úmidas da área da baía Lianyungang, China. A intensidade das mudanças na paisagem devido à rápida urbanização produziu uma fragmentação das áreas úmidas e um aumento na complexidade das formas destes fragmentos, comprovados, com o aplicativo FragstatsTM 3.3

(MCGARIGAL e MARKS, 1995), pela redução drástica do LPI das zonas úmidas de arroz e pântanos de sal e pelos aumentos nos valores dos índices, dimensão fractal (FRAC) e forma (SHAPE), respectivamente. Carneiro et al. (2011), utilizando o mesmo aplicativo, encontraram uma pequena redução de áreas de Agricultura, da ordem de 0,6%, entre 2005 para 2008 no município de Rio Verde, GO, constatando a manutenção da dinâmica econômica agropecuária do lugar.

Nesta mesma linha, o presente artigo tem por objetivo avaliar as mudanças da paisagem urbana, em função da quantidade, complexidade e organização dos fragmentos de vegetação arbórea, na cidade de Cuiabá, MT, no período de 1980 a 2010.

1.2 Área de Estudo

Fundada em 8 de abril de 1719 por bandeirantes paulistas que, paralelamente à extração de ouro, buscavam índios neste sertão brasileiro, Cuiabá, a Capital do estado de Mato Grosso, situada à margem esquerda do rio de mesmo nome, nasceu de um arraial onde foram construídas casas, igrejas e estabelecido um pequeno comércio com a necessidade de regularizar o abastecimento para seus habitantes, ocupados somente com a mineração (SIQUEIRA, 2002).

A decadência das minas auríferas no final do século XVIII, a Guerra do Paraguai (1865 – 1870) e um mal trazido pelos combatentes, ainda pior que a própria guerra, a varíola, refletiram diretamente sobre a vida da cidade. Isolada do restante do País, o abastecimento da Vila passou a ser realizado pelas grandes propriedades de senhores de escravos e pequenos sítios dedicados a gêneros de abastecimento ao mercado local.

Ao final do século XIX e início do século XX desenvolveu-se no estado o ciclo econômico da exploração vegetal, em especial das erva-mate, poaia e borracha. “Na primeira metade do século XX, o redirecionamento da política econômica do país atribuiu ao estado um novo papel”, absorver mão-de-obra excedente de outras regiões e se transformar em produtor de alimentos (HIGA, 2005, p.32).

A intensificação deste processo produziu, na década de 1980, as mais altas taxas de crescimento populacional da história da cidade, com uma expansão de 136% do seu sítio urbano sobre as áreas periféricas. O ritmo de crescimento da cidade não foi acompanhado pelo investimento do setor público em infraestrutura e serviços para atender as necessidades da população. A demora no atendimento

dessas necessidades resultou na ocupação ilegal de áreas periféricas, originando os bairros Santa Izabel, Del Rei, Renascer, entre outros (VILARINHO NETO, 2005). O crescimento desordenado da área urbana gerou grandes problemas ambientais como: córregos assoreados e cheios de esgoto, poluição do ar e sonora e a formação de ilhas de calor nas áreas centrais (PIAIA, 1997).

Atualmente a Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá (RMVRC), estabelecida pela Lei Estadual Complementar 27/2009, compreendendo os municípios de Cuiabá, Várzea Grande, Nossa Senhora do Livramento e Santo Antônio de Leverger, apresenta uma população de 834.060 habitantes, com tendência de crescimento (IBGE, 2010). Atendendo aos municípios do estado e de estados vizinhos em diferentes áreas socioeconômicas, especialmente no setor de serviços, os municípios da RMVRC consolidam a função de metrópole regional com o desafio de transformar estes espaços em ambientes mais saudáveis e produtivos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente buscou-se identificar e espacializar os diferentes usos do solo urbano na área de estudo em três momentos diferentes: 1980, 1995 e 2010. Para mapear esses padrões de urbanização e cobertura do solo foram utilizadas as seguintes cenas:

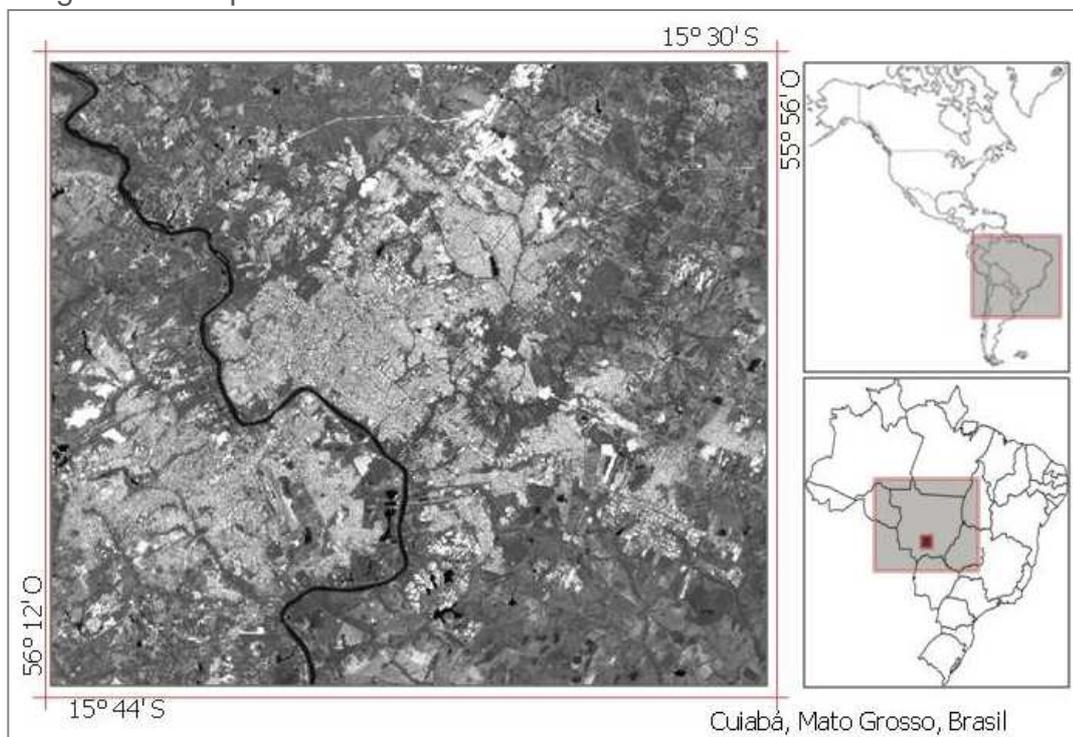
- a. LANDSAT-3, órbita/ponto 243/71, com passagem em 03 de janeiro de 1980;
- b. LANDSAT-5, órbita/ponto 226/71, com passagem em 28 de maio de 1995;
- c. LANDSAT-5, órbita/ponto 226/71, com passagem em 18 de março de 2010.

As imagens, disponíveis no sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foram selecionadas através do catálogo de imagens da Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGI-INPE) seguindo o critério de menor cobertura de nuvens e datas de passagens dos satélites numa mesma estação, seca ou chuvosa.

Um retângulo envolvente foi definido de forma que a área de estudo ficasse restrita aos limites de longitude 55° 56' a 56° 12' Oeste e latitude 15° 30' a 15° 44' Sul, conforme Figura 1 (INPE, 2010a). Este limite, obtido através da imagem LANDSAT 5 de 2010, apresentada anteriormente, compreende áreas efetivamente urbanizadas dos municípios de Cuiabá e Várzea Grande, áreas urbanizadas no

perímetro de expansão urbana e na zona rural, perfazendo uma superfície de aproximadamente 735 km².

Figura 1. Mapa base da área de estudo.



Fonte: INPE, 2010a.

Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental

Para o tratamento digital das imagens foi utilizado o aplicativo SPRING v.5.1.3 (INPE, 2010b), gratuitamente distribuído pelo INPE.

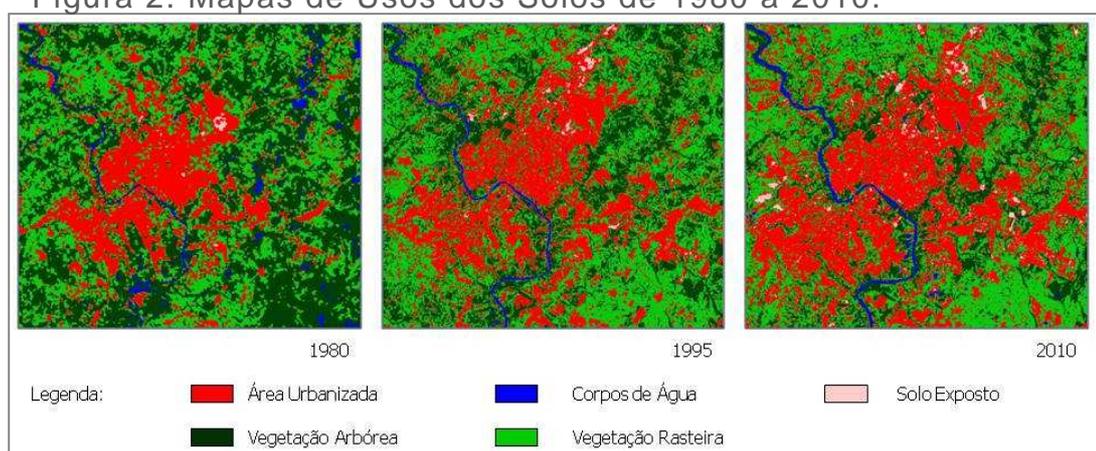
Para identificar os diferentes usos do solo urbano na área de estudo nos momentos registrados pelas imagens procedeu-se uma classificação automática das imagens registradas. De acordo com os objetivos do trabalho, mostrou-se mais adequada, para uma maior separabilidade do uso do solo urbano, a classificação não supervisionada, utilizando as combinações das bandas 1 e 5 para o sensor TM, e as bandas 5 e 6 para o sensor MSS, realizada pelo algoritmo MAXWER, com limiar de aceitação de 100%. Foram identificadas cinco classes de ocupação dos solos: uma para superfícies de corpos de água, duas classes para alvos de elevada reflectância, solos expostos e áreas urbanizadas, e duas classes associadas às áreas com vegetação, áreas de vegetação arbórea, correspondentes aos dosséis das árvores, e áreas de vegetação de gramíneas, caracterizadas por grama, capim e arbustos dispersos.

Na classe vegetação arbórea, ou ainda fragmentos de vegetação arbórea, como serão tratados neste artigo, os pixels após a classificação, compreendem os fragmentos ainda íntegros do cerrado original da região, além da arborização de

ruas e praças, bosques de terrenos desocupados e quintais, e até mesmo árvores isoladas com dimensões de copa suficientes para reconhecimento do classificador conforme as resoluções espaciais das imagens.

As imagens classificadas em cada época deram origem aos mapas de usos dos solos apresentados na Figura 2.

Figura 2. Mapas de Usos dos Solos de 1980 a 2010.



Fonte: INPE, 2010b.

Os modelos de mesoescala confeccionados de cada época, os mapas de usos dos solos, como uma grade de células, aplicados ao software Fragstats™ 3.3, permitiram ponderar a fração coberta por estas classes dentro da área de estudo, além de quantificar a fragmentação de cada classe neste espaço.

Para a determinação da direção do vetor crescimento urbano da área no período em estudo, no aplicativo SPRING cada mapa de usos dos solos, submetido a uma grelha uniforme 5x5, produziu, a partir do mapa original, 25 recortes secundários. Submetendo os arquivos referentes aos recortes secundários ao aplicativo FRAGSTATS™ 3.3 foi possível determinar o valor da área correspondente ao uso de solo classificado como área urbanizada em cada recorte secundário. Assim, cada recorte secundário (i) referente a um ano (t), devidamente referenciado pelas coordenadas do centro destes recortes (X_i e Y_i), foi associado a uma quantidade, em ha, de área urbanizada (A_i).

Os valores das áreas urbanizadas em cada recorte dos mapas foram utilizados, segundo a Equação 01, para determinar as coordenadas do baricentro da área urbanizada da cidade de Cuiabá em cada época.

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^{25} (A_i \cdot X_i)}{\sum_{i=1}^{25} A_i} \quad Y_t = \frac{\sum_{i=1}^{25} (A_i \cdot Y_i)}{\sum_{i=1}^{25} A_i}$$

Equação 01

Onde:

X_t e Y_t → Coordenadas do baricentro do mapa de uso dos solos no ano t;

A_i → Área urbanizada no recorte i do ano t;

X_i e Y_i → Coordenadas do centro do recorte i do ano t.

Para a caracterização da rapidez da urbanização, em função da quantidade, complexidade e organização dos fragmentos de vegetação arbórea na área de estudo no período foram utilizadas as métricas da paisagem, conforme a descrição de McGarigal e Marks (1995):

Área da Classe (*Class Area – CA*)

A métrica, expressa em hectare, corresponde à área total de uma classe i dentro da paisagem, calculada pela soma das áreas, em m², de todos os fragmentos j correspondentes a mesma classe.

$$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10000} \right)$$

Equação 02

Onde a_{ij} é a área do fragmento j da classe i em m².

Porcentagem da Paisagem (*Percentage of Landscape – PLAND*)

Porcentagem da Paisagem expressa o percentual da paisagem que é composto pelos fragmentos de uma mesma classe.

$$PLAND = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} \left(100 \right)$$

Equação 03

Na equação 03, a_{ij} é a área do fragmento j da classe i e A é a área total da paisagem, ambas em m².

Número de Fragmentos (*Number of Patches – NP*)

A métrica NP corresponde ao número de fragmentos, de determinada classe i , existentes na paisagem.

$$NP = n_i \quad \text{Equação 04}$$

O termo n_i é exatamente o número de fragmentos da classe i existentes na paisagem.

Densidade de Fragmentos (*Patch Density* – PD)

Importante para a comparação de paisagens de dimensões variadas, este índice expressa a quantidade de fragmentos por unidade de área, sendo um bom indicador da fragmentação da paisagem para determinada classe.

$$PD = \frac{n_i}{A} \left[10000 \right] \quad \text{Equação 05}$$

Onde n_i é o número de fragmentos da classe i existentes na paisagem e A a área total da paisagem em m^2 .



Índice de Maior Fragmento (*Largest Patch Index* – LPI)

Medida simples de dominância, a métrica LPI corresponde à percentagem da paisagem ocupada pelo maior fragmento de determinada classe i .

$$LPI = \frac{\max_{j=1}^n(a_{ij})}{A} \left[100 \right] \quad \text{Equação 06}$$

Na equação 06, $\max(a_{ij})$ é a área do maior fragmento da classe i e A a área total da paisagem, ambas em m^2 .

Área Média do Fragmento (*Mean Patch Area – AREA*)

A métrica expressa a área média dos fragmentos da classe *i* na paisagem.

$$AREA = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \left(\frac{1}{10000} \right) \quad \text{Equação 07}$$

Os termos n_i e a_{ij} expressam, respectivamente, o número de fragmentos da classe *i* existentes na paisagem e a área do fragmento *j* da classe *i*.

Índice de Forma Ponderado pela Área (*Shape Index Area-Weighted Mean – SHAPE*). O índice de forma indica o quanto irregular é uma forma, medindo a complexidade da forma de um fragmento em relação à forma básica, o quadrado, o menor nível de complexidade. O valor do índice SHAPE tem limite inferior igual a 1, quando todos os fragmentos apresentam a forma de um quadrado, indicando fragmentos mais retilíneos, com forte ação humana. O índice SHAPE apresenta maior valor quanto mais complexo for o fragmento.

$$SHAPE = \sum_{j=1}^n \left\{ \left(\frac{0,25p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right) \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right\} \quad \text{Equação 08}$$

Na equação 08, a_{ij} e p_{ij} são, respectivamente, a área, em m^2 , e o perímetro, em m , do fragmento *j* da classe *i*, e n_i é o número de fragmentos da classe *i* existentes na paisagem.

A métrica SHAPE foi ponderada pela área de cada fragmento, de forma que fragmentos maiores tiveram maior peso no cálculo da métrica que fragmentos menores.

Dimensão Fractal dos Fragmentos Ponderada pela Área (*Area-Weighted Mean Patch Fractal Dimension – FRAC*)

A dimensão fractal varia entre 1 e 2, para um fragmento bi-dimensional. Valores próximos a 1 indicam formas com perímetros muito simples, como círculos ou quadrados. Polígonos mais complexos têm seus perímetros aumentados, também ocupando mais área, de forma que o valor do índice FRAC se aproxima de 2. O índice supera as limitações de outros índices que relacionam perímetro e área, interessantes por refletirem a complexidade da forma.

$$FRAC = \sum_{j=1}^n \left\{ \left(\frac{2 \ln(0,25p_{ij})}{\ln a_{ij}} \right) \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right\} \quad \text{Equação 09}$$

Os termos a_{ij} e p_{ij} expressam, respectivamente, a área, em m^2 , e o perímetro, em m , do fragmento j da classe i , e n_i é o número de fragmentos da classe i .

A métrica FRAC também foi ponderada pela área de cada fragmento, assim para a sua determinação os fragmentos maiores tiveram maior peso no cálculo que os fragmentos menores.

Dimensão Fractal Perímetro-Área (*Perimeter-Area Fractal Dimension* – PAFRAC). O índice é calculado pela divisão de 2 pela inclinação da linha de regressão obtida pela regressão do logaritmo das áreas dos fragmentos pelo logaritmo dos perímetros dos fragmentos. Também refletindo a complexidade da forma, como as métricas FRAC e SHAPE, a métrica PAFRAC só faz sentido se a relação logarítmica entre o perímetro e a área for linear em toda a gama de dimensões de fragmentos.

Pelo fato de empregar uma análise de regressão, o índice está sujeito a resultados espúrios quando são usadas poucas amostras. As duas abordagens de Dimensão Fractal oferecem respostas um pouco diferente, não sendo possível afirmar qual é superior à outra, de forma que ambas são utilizadas na prática, cabendo ao pesquisador observar a melhor abordagem para os seus estudos.

$$PAFRAC = \frac{2}{\frac{\left(n_i \sum_{j=1}^n (\ln p_{ij} - \ln a_{ij}) \right) - \left(\sum_{j=1}^n \ln p_{ij} \right) \left(\sum_{j=1}^n \ln a_{ij} \right)}{\left(n_i \sum_{j=1}^n \ln p_{ij}^2 \right) - \left(\sum_{j=1}^n \ln a_{ij}^2 \right)}} \quad \text{Equação 10}$$

Na equação 10, os termos a_{ij} e p_{ij} expressam, respectivamente, a área, em m^2 , e o perímetro, em m, do fragmento j da classe i , e n_i é o número de fragmentos da classe i .

Distância Média ao Vizinho Mais Próximo Ponderada pela Área (Area-Weighted Mean Nearest Neighbor Distance – ENN)

A métrica corresponde à distância média, em m, do fragmento para o fragmento vizinho da mesma classe mais próximo, com base na menor distância de borda a borda. O índice reflete o grau de isolamento de um fragmento.

$$ENN = \sum_{j=1}^n \left(h_{ij} \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \quad \text{Equação 11}$$

Onde n e h_{ij} expressam, respectivamente, o número de fragmentos da classe i e a menor distância do fragmento j da classe i até outro fragmento de mesma classe e a_{ij} a área, em m^2 , do fragmento j da classe i .

A métrica ENN foi ponderada pela área de cada fragmento, de forma que fragmentos maiores tiveram maior peso no cálculo da métrica que fragmentos menores.

Índice de Agregação (Aggregation Index – AI)

O Índice de Agregação responde às exigências para a quantificação dos níveis de agregação em uma única classe. A determinação do valor do índice para determinada classe i é baseada nas bordas compartilhadas por pixels de mesma classe, não incluindo adjacências com fragmentos de outras classes. Apenas vizinhanças internas à paisagem são utilizadas no cálculo desta métrica, adjacências com o limite do recorte da paisagem não afetam a métrica.

A agregação máxima, $AI = 100$, é obtida quando existe um único fragmento da classe, compacto, não necessariamente um fragmento quadrado.

$$AI = \frac{g_{ii}}{\max \rightarrow g_{ii}} \left(100 \right) \quad \text{Equação 12}$$

Onde g_{ii} corresponde ao número de adjacências entre pixels de mesma classe e g_{iimax} ao número máximo de adjacências dos pixels da classe i .

Apesar de serem calculadas as métricas para todas as classes, as análises foram realizadas essencialmente a partir dos valores das métricas da classe Vegetação Arbórea, com as métricas da classe Área Urbanizada utilizadas, apenas, como complementares ao estudo.

3.1 Vetor Crescimento Urbano

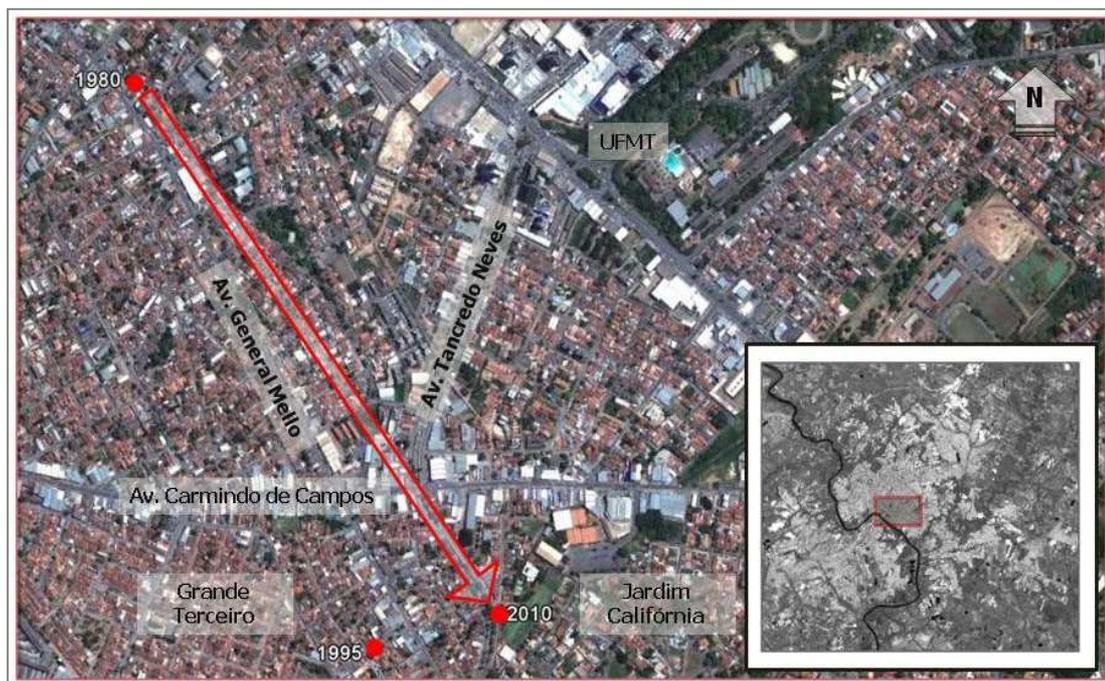
Como, na utilização para este trabalho, o baricentro está relacionado à distribuição das áreas urbanizadas no limite geográfico definido inicialmente, a determinação dos baricentros tornou possível o estabelecimento do vetor deslocamento das áreas urbanizadas ao longo dos 30 anos em estudo.

Na Figura 3 (Google Earth, 2010) estão representados os resultados encontrados para as posições dos baricentros da área urbanizada da conurbação Cuiabá/Várzea Grande em cada uma das três épocas do estudo.

O resultado evidenciou o maior incremento destas áreas urbanizadas no período na porção sudeste da cidade de Cuiabá. Nesta região encontra-se a saída para as BRs 163 e 364, principal acesso da cidade às regiões sul e sudeste do país, além da saída para a cidade de Chapada dos Guimarães, que tem recebido um grande número de empreendimentos imobiliários nos últimos anos. Esses atratores forçaram a direção do vetor crescimento urbano para esta região da cidade.

Um outro fator a ser observado é o reduzido crescimento urbano na cidade de Várzea Grande. Situada a direita da margem do rio Cuiabá, é uma cidade de grandes contradições: a segunda maior cidade do estado em população com um dos menores territórios. Sem vocação agrícola, característica principal do estado, a cidade precisa encontrar a sua sustentabilidade na urbanidade. Porém, a cidade carece de muitos equipamentos e serviços urbanos de forma que sua população utiliza os serviços da capital, tornando-se uma cidade dormitório para muitos destes.

Figura 3. Vetor deslocamento do baricentro das áreas urbanizadas.



Fonte: Google Earth, 2010.

3.2 Avaliação da Evolução da Paisagem Urbana na Área de Estudo

Nesta análise da expansão urbana da Grande Cuiabá nos últimos trinta anos, de 1980 a 2010, duas categorias de índices de paisagem foram escolhidas: a primeira a partir da quantificação dos fragmentos de cada classe de uso dos solos, a segunda a partir da perspectiva da organização, e consequente heterogeneidade espacial, e da complexidade do uso dos solos.

Os resultados das metodologias aplicadas às imagens de satélites mostraram a rapidez da expansão da urbanização na Grande Cuiabá nos últimos 30 anos. Os fragmentos classificados como urbanos aumentaram em 10.828 ha, passando de 21,47% da área total delimitada para o estudo (PLAND), em 1980, para 36,53% em 2010, com uma taxa de crescimento praticamente constante entre 1980 e 1995 e entre 1995 e 2010, conforme Tabela 1.

A evolução da área dos solos expostos, que apresentaram um aumento de 8 vezes no período, também foi um bom indicador da rapidez do avanço da urbanização sobre a paisagem natural, provocado pela especulação imobiliária.

Tabela 1 – Evolução das métricas da paisagem para os fragmentos de cada tipo de ocupação do solo entre 1980 e 2010

Métricas de Quantificação da Paisagem							
Classe	Ano	CA (ha)	PLAND (%)	NP	PD (10 ⁻² ha ⁻¹)	LPI (%)	AREA (ha)
Corpos d'água	1980	2194,5	2,91	1035	1,37	0,13	2,12
	1995	822,6	1,11	233	0,31	0,54	3,53
	2010	1204,5	1,63	595	0,80	0,65	2,02
Vegetação arbórea	1980	30687,3	40,70	1612	2,13	15,10	19,04
	1995	20534,3	27,77	4498	6,04	3,61	4,57
	2010	14986,7	20,27	4178	5,61	1,24	3,59
Vegetação rasteira	1980	26131,2	34,66	2646	3,50	4,85	9,88
	1995	30548,7	41,31	4236	5,69	9,51	7,21
	2010	29511,1	39,91	4239	5,69	6,62	6,96
Urbano	1980	16188,8	21,47	1850	2,45	10,40	8,75
	1995	21479,4	29,04	2514	3,37	17,07	8,54
	2010	27016,8	36,53	2261	3,03	16,88	11,95
Solo Nu	1980	190,08	0,25	79	0,10	0,07	2,41
	1995	567,54	0,77	390	0,52	0,07	1,46
	2010	1233,45	1,67	801	1,08	0,08	1,54

Métricas da Complexidade e da Organização da Paisagem						
Classe	Ano	SHAPE	FRAC	PAFRAC	ENN (m)	AI
Corpos d'água	1980	1,98	1,10	1,58	223,3	34,81
	1995	6,96	1,24	1,33	158,8	82,99
	2010	5,85	1,21	1,30	144,4	80,70
Vegetação arbórea	1980	24,01	1,33	1,63	161,3	64,60
	1995	6,45	1,21	1,37	68,2	82,62
	2010	4,59	1,19	1,38	73,5	80,26
Vegetação rasteira	1980	14,49	1,28	1,67	161,7	51,88
	1995	20,53	1,32	1,50	61,7	81,68
	2010	15,94	1,30	1,50	61,90	82,18
Urbano	1980	11,77	1,24	1,57	168,8	66,24
	1995	20,85	1,29	1,38	67,6	65,54
	2010	19,91	1,30	1,40	65,8	88,32
Solo Nu	1980	1,86	1,10	1,49	288,1	44,36
	1995	1,69	1,09	1,31	241,3	74,79
	2010	1,60	1,08	1,29	195,6	75,09

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018

Com relação aos fragmentos arbóreos, a área total ocupada por esta classe diminuiu em 15.700 ha, passando de 40,70% da área total delimitada para o estudo, em 1980, para 20,27% em 2010. Essa redução foi mais intensa no período de 1980 a 1995, por volta de 13% da área total delimitada para o estudo, resultado condizente com as mais altas taxas de crescimento urbano da história da cidade que, segundo Vilarinho Neto (2005), ocorreram na década de 1980. Em 1995, a área urbanizada, com 29,04% da área total delimitada para o estudo, tornou-se dominante sobre os fragmentos de vegetação arbórea que neste ano ocupavam apenas 27,77% desta área.

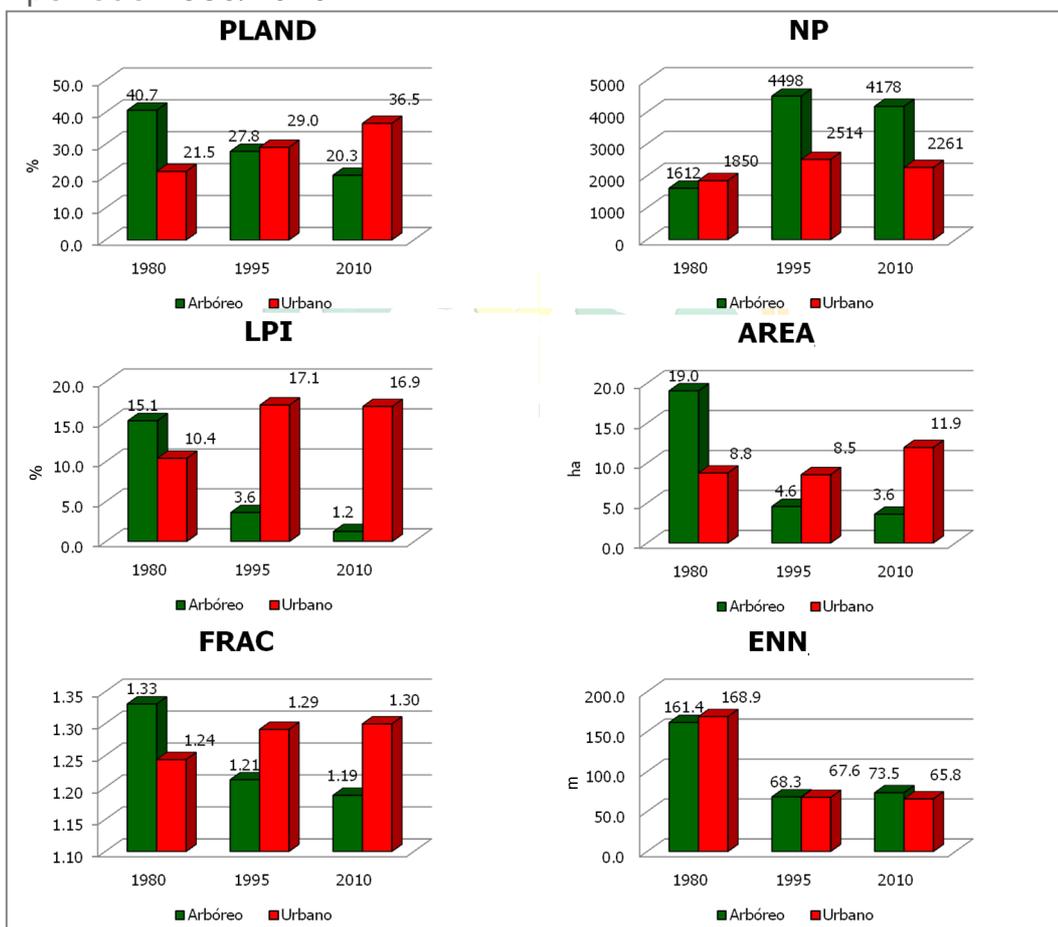
No entanto a redução da área total dos fragmentos arbóreos não foi provocada apenas pela evolução da área urbanizada. A classe vegetação rasteira também teve sua área ampliada no período, de 34,66%, em 1980, para 39,91% em 2010, da área total delimitada para o estudo. O resultado sugere que a vegetação rasteira, como as pastagens e agricultura do cinturão verde da cidade, também ampliou os seus domínios sobre os fragmentos de vegetação arbórea. Nesta estatística também aparecem vegetações rasteiras dos terrenos urbanos, denominadas comumente por mato, espaços que poderiam funcionar como estoques de vegetação arbórea de maior porte, ilhas em meio à urbanização, mas que voltados à especulação imobiliária, sofrem todos os anos uma limpeza nada seletiva, muitas vezes com uso do fogo.

As diferenças das sazonalidades das estações do ano, além das diferenças entre as datas das imagens não permitiram inferências quanto à evolução da área ocupada pelos corpos d'água na área delimitada para o estudo.

A urbanização durante este período produziu um aumento no número de fragmentos (NP) de áreas construídas, de 1.850, em 1980, para 2.261 em 2010. Nos primeiros 15 anos do estudo houve um aumento substancial na dimensão do maior fragmento urbano (LPI), de 10,4% da área delimitada para o estudo, em 1980, para 17,1% em 1995, porém a área média (AREA) dos fragmentos foi praticamente a mesma. Por outro lado, entre 1995 e 2010, houve uma inversão nesta tendência, sugerindo que o crescimento urbano mais intenso foi concentrado na área central da cidade, nos primeiros 15 anos, crescendo horizontalmente para a periferia da cidade a partir de pequenos fragmentos isolados, que nos anos seguintes evoluíram, passando a aglutinar outros fragmentos, de forma que a quantidade destes reduziu de 2.514, em 1995, para 2.261, em 2010.

O índice dimensão fractal (FRAC), variando de 1,24 em 1980, para 1,29 em 1995 e 1,30 em 2010, conseguiu mostrar o aumento da complexidade da área urbanizada, confirmado pela redução da distância média entre os fragmentos (RNN), de 168,9 m, em 1980, para 65,8 m em 2010. A expansão horizontal, muito dispersa, experimentada nos primeiros 15 anos do estudo tornou a forma da malha urbanizada muito complexa, porém nos últimos 15 anos os índices mostraram que houve uma redução nessa velocidade, de forma que a urbanização passou a ocupar os vazios dentro da área já constituída. A Figura 4 mostra a evolução de alguns destes índices durante os últimos 30 anos.

Figura 4. Evolução de algumas métricas da paisagem para o período 1980/2010.



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Estas tendências diferentes entre a complexidade do uso do solo urbano nos dois períodos de 15 anos também puderam ser observadas nos índices de forma (SHAPE) e dimensão fractal perímetro-área (PAFRAC), ao indicarem variações elevadas na complexidade das formas nos primeiros 15 anos do estudo e uma ligeira redução na complexidade destas formas no período mais recente.

O índice de agregação (AI), baseado nas vizinhanças de pixels de mesma classe, confirmou essa tendência com uma agregação ligeiramente superior no ano de 1995, comparado ao ano de 1980, e uma evolução significativa para 88,32% no ano de 2010. O elevado valor deste índice em 2010, cujo valor máximo de 100% significa a existência de um único fragmento compacto da classe, confirmou a tendência de ocupação dos vazios não urbanizados no perímetro do estudo.

Por motivos diferentes aos apresentados pela área urbanizada, a quantidade de fragmentos de vegetação arbórea também aumentou em valores absolutos no mesmo período. Os fragmentos arbóreos evoluíram de 1.612, em 1980, para 4.178 em 2010. Naturalmente, as extensas superfícies vegetadas existentes em 1980 foram, em função da atividade destinada àquele espaço, retiradas por completo para constituir uma nova arborização, ou mantidas em parte, porém divididas em fragmentos com áreas bastante reduzidas, apenas para satisfazer uma legislação e uma fiscalização pouco efetiva. A acelerada redução da área de vegetação arbórea na região delimitada para o estudo pôde ser percebida também pela diminuição da dimensão do maior fragmento arbóreo (LPI), de 15,1% da área total da paisagem, em 1980, para 3,6% em 2010. As transformações resultaram em uma redução significativa na área média dos fragmentos ocupados por vegetação arbórea, de 19,0 ha, em 1980, para 3,6 ha em 2010.

Para a classe vegetação arbórea o índice dimensão fractal (FRAC), que variou de 1,33 em 1980, para 1,21 em 1995 e para 1,19, em 2010, conseguiu mostrar a diminuição da complexidade dos fragmentos de área vegetada, confirmada pela redução da distância média entre estes, de 161,4 m, em 1980, para 73,5 m em 2010. A redução da complexidade implica que os fragmentos de vegetação arbórea em 2010, em sua maioria, ficaram restritos aos formatos regulares dos lotes ainda não construídos, ou ao paralelismo das ruas, onde existe arborização pública, indicando que perturbações antropogênicas operaram sobre este espaço, forçando o desaparecimento desta categoria, na sua forma original, da paisagem.

O índice SHAPE descreveu bem a redução da complexidade das formas das áreas vegetadas no período, bastante intensa nos primeiros 15 anos, de 24,01 para 6,45, e moderada nos últimos 15 anos, passando para um valor de 4,59 em 2010. O índice PAFRAC, conseguiu indicar a rápida redução da complexidade das áreas vegetadas ocorrida entre 1980 e 1995, porém para o período 1995/2010 apontou

uma ligeira elevação da complexidade destas formas. A mesma discordância nos últimos 15 anos ocorreu quando este índice foi aplicado a classe área urbanizada.

Quanto à agregação das áreas vegetadas, o índice AI mostrou um aumento da agregação dos fragmentos arbóreos. Independente da quantidade de área vegetada, o índice de agregação, apontando para a vizinhança de pixels desta classe, indicou que os fragmentos de vegetação arbórea, antes dispersos por toda a área em questão, em 2010 apresentaram-se, na maior parte destes, concentrados nas margens dos muitos córregos que cortam a cidade além dos demais espaços citados anteriormente, sugerindo, conforme a definição, uma elevada agregação entre os pixels desta classe.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Brasil, nas últimas décadas, o crescimento populacional das cidades médias tem dado origem a novos processos econômicos, sociais e culturais. Em muitas destas cidades esse crescimento urbano trouxe uma série de problemas sociais e, diretamente ligados a estes, problemas ambientais, que resultam em aumentos dos gastos nas áreas de energia e saúde. Os problemas ambientais, como as inundações, a poluição do ar e a formação das ilhas de calor, derivam de perturbações impostas pelo homem sobre o ambiente.

Neste sentido, reorientar o crescimento da cidade, através do planejamento urbano, é condição necessária para oferecer uma melhor qualidade de vida para sua população. Esse novo redirecionamento passa pela revitalização das áreas centrais das cidades, pela melhoria dos sistemas de transportes coletivos e pela busca de soluções para a questão da habitação popular e na forma como essa nova estrutura possa interferir no ambiente.

A aplicação de métricas da paisagem associadas a SIG, como mostrado neste trabalho, pode fornecer aos gestores urbanos, gerentes e ecologistas, responsáveis pelas políticas de uso e ocupação dos solos urbanos, informações adicionais para entender as alterações sofridas na estrutura da paisagem, de forma a atuarem no reordenamento socioambiental do espaço urbano.

No caso em estudo, a cidade de Cuiabá, MT, os índices de fragmentos mostraram bastantes eficientes nestas quantificações, com sensibilidade suficiente para detectar a maior velocidade de urbanização ocorrida no período de 1980 a

1995. A fragmentação das áreas verdes, medida de difícil quantificação, foi descrita com muita propriedade pela dimensão fractal. Este índice ainda foi útil para ajudar a compreender a evolução do espaço urbano da cidade nos últimos 30 anos. O aumento da dimensão fractal das áreas urbanizadas e a sua redução para os fragmentos arbóreos neste período explicaram, respectivamente, o aumento e a diminuição da complexidade do padrão de ocupação de cada classe na região da grande Cuiabá.

Com relação à área florestada perdida ao longo destes 30 anos, algumas políticas públicas como a recuperação dos inúmeros córregos que cortam a cidade e a reconstituição da vegetação que os acompanha, constituída em parques urbanos, associadas a conservação das pequenas áreas verdes e a um programa efetivo de arborização de praças e vias públicas, podem fornecer para cada bairro da cidade o percentual e a distribuição das áreas verdes suficientes para uma melhor ambiência nestes espaços urbanos.



**LANDSCAPE METRICS AS A TOOL FOR EVALUATING EFFECTS OF
URBANIZATION ON LANDSCAPE STRUCTURE: THE CASE OF CUIABÁ,**
Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental **BRAZIL**

ABSTRACT

The development of large-scale agriculture in cerrado regions in Mato Grosso, Brazil, on the 1970s, brought along rapid and unplanned urbanization process in state's cities, resulting in negative consequences, such as environmental degradation. This study aimed at assessing of urban landscape changes, result of this process, from 1980 to 2010, in Cuiabá, Brazil. Landscape-level metrics, including area, patch density and size, edge, shape, nearest-neighbor, and complexity metrics, calculated using the landscape structure analysis program Fragstats, based on Landsat images interpretation, were used to describe changes in landscape structure caused by urbanization. The results showed that area of vegetation patches declined from 20,4%, in these 30 years, and were found to be highest between the years 1980 and 1995. The landscape became ecologically more fragmented and less complex due linearization of urban form, with regular street blocks and cultivated green space, such as urban parks, gardens, and street green spaces, result of human modifications on landscape structure.

Key Words: GIS. Fragmentation. Landscape Ecology. Fractal Dimension.

REFERÊNCIAS

BATTY, M. The Size, Scale, and Shape of Cities. **Science**, v.319, n.5864, p.769-771. Fev. 2008.

CAPRA, F. **A Teia da Vida**. Cultrix: São Paulo, 2006. 256p.

CARNEIRO, G. T.; CABACINHA, C. D.; FARIA, K. M. S.; SIQUEIRA, M.; LIMA, J. C. S. Cobertura Florestal do Município de Rio Verde, GO: estrutura e composição da paisagem entre 2005 e 2008. **Geografia** (Rio Claro. Impresso), v. 36, p. 335-357, 2011.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos: conforto ambiental**. 2. ed. Revan: Rio de Janeiro, 2003. 308p.

DIBARI, J. N. Evaluation of Five Landscape-level Metrics for Measuring the Effects of Urbanization on Landscape Structure: the case of Tucson, Arizona, USA. **Landscape and Urban Planning**, v.79, n.3-4, p.308-313. Mar. 2007.

FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape Ecology**. John Wiley & Sons: New York, USA, 1986. 619p.

GLANCEY, J. **A História da Arquitetura**. Loyola: São Paulo, 2007. 240p.

GOOGLE EARTH. **Aplicativo de Imagens de Satélites**. Disponível em: <<http://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em 04 fev. 2010.

HIGA, T. C. S. **Processo de Ocupação e Formação Territorial**. In: Morene G.; Higa T. C. S. organizadores. Geografia de Mato Grosso: território, sociedade e ambiente. Entrelinhas: Cuiabá, 2005. 296p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Primeiros Resultados do Censo 2010**, 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso em 14 dez. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Base de dados CBERS e Landsat**, 2010a. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/>>. Acesso em 12 jul. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **SPRING: Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas**, 2010b. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/spring>>. Acesso em 12 jul. 2010.

LI, J.; WANG, X.; WANG, X.; MA, W.; ZHANG, H. Remote Sensing Evaluation of Urban Heat Island and Its Spatial Pattern of the Shanghai Metropolitan Area, China. **Ecological Complexity**, v.32, n.6, p.413-420. Mar. 2009.

LI, Y.; ZHUA, X.; SUNA, X.; WANG, F. Landscape Effects of Environmental Impact on Bay-area Wetlands Under Rapid Urban Expansion and Development Policy: a case study of Lianyungang, China. **Landscape and Urban Planning**, v. 94, n.3, p.218-227. Mar. 2010.

LYNCH, K. **La Buena Forma de La Ciudad**. Gustavo Gili: Barcelona, ESP, 1985.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. FRAGSTATS: **Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station: Portland, USA, 1995. 132p.

PIAIA, I. I. **Geografia de Mato Grosso**. 3. ed. EDUNIC: Cuiabá, 1997. 184p.

PORTUGALI, J. **Self-organization and the City**. Springer: Berlin, DEU, 2000. 352p.

SALINGAROS, N. A. Complexity and Urban Coherence. **Journal of Urban Design**, v.5, n.3, p.291-316. Out. 2000. 364p.

SALINGAROS, N. A. Connecting the Fractal City. In: SALINGAROS, N. A. organizador. **Principles of Urban Structure**. Techne Press: Amsterdam, NLD, 2005. 252p.

SANTOS, M. **A Urbanização Brasileira**. 5. ed. Hucitec: São Paulo, 1993. 176p.

SIQUEIRA, E. M. **História de Mato Grosso: da ancestralidade aos dias atuais**. Entrelinhas: Cuiabá, 2002. 272p.

STYERS, D. M.; CHAPPELKA, A. H.; MARZEN, L. J.; SOMERS, G. L. Developing A Land-cover Classification To Select Indicators Of Forest Ecosystem Health In A Rapidly Urbanizing Landscape. **Landscape and Urban Planning**, v. 94, n.3, p.158-165. Mar. 2010.

TANG, J.; WANG, L.; YAO, Z. Analyses of urban landscape dynamics using multitemporal satellite images: a comparison of two petroleum-oriented cities. **Landscape and Urban Planning**, v.87, n.4, p.269-278. Set 2008.

VILARINHO NETO, C. S. **Dinâmica Urbana Regional**. In: Morene G.; Higa T. C. S. organizadores. **Geografia de Mato Grosso: território, sociedade e ambiente**. Entrelinhas: Cuiabá, 2005. 296p.