

APLICAÇÃO DOS CONCEITOS E MÉTRICAS DE ECOLOGIA DA PAISAGEM NA GESTÃO DA PAISAGEM URBANA

APPLYING ECOLOGICAL LANDSCAPE CONCEPTS AND METRICS IN URBAN LANDSCAPE MANAGEMENT

Bráulio Magalhães Fonseca*
Rodrigo Pinheiro Ribas**
Ana Clara Mourão Moura***

RESUMO

Os conceitos de Ecologia da Paisagem aplicados ao planejamento urbano podem favorecer a hierarquização dos fragmentos de vegetação, identificando os de maior importância segundo os modos de ocupação dos setores das cidades. Apresenta-se, aqui, o estudo do município de São Gonçalo do Rio Abaixo, em profunda transformação devido à exploração de minério de ferro no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. A metodologia pressupôs a classificação de imagens de satélite RapidEye e mapeamento de uso e cobertura do solo; a aplicação de métricas de paisagem (área, perímetro, distância ao vizinho mais próximo, área central, índice de forma e NRVI); a integração de métricas usando análise multicritério. Foram identificadas áreas propícias para políticas públicas que promovam a gestão da cobertura vegetal considerando não apenas as áreas verdes institucionais, mas também as propriedades particulares, entendendo a cobertura vegetal como uma rede sistêmica.

Palavras-chave: Ecologia da Paisagem. Métricas de paisagem. Análise espacial. Planejamento urbano.

ABSTRACT

The concepts of Landscape Ecology applied to urban planning may favor the hierarchical classification of vegetation fragments, identifying the most important ones according to the city zones' land use. We present the case study of São Gonçalo do Rio Abaixo, a town that is going through a deep transformation process due to the iron mining activities in the Iron Quadrangle in the state of Minas Gerais. The methodological process presupposes the classification of RapidEye satellite images and mapping of use and land cover;

* Geógrafo, mestre e doutor em Análise Ambiental pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (IGC/UFMG). Professor adjunto do Departamento de Cartografia do IGC/UFMG e pesquisador do Laboratório de Geoprocessamento da Escola de Arquitetura da UFMG (GEOPRO-EA/UFMG).
CV: <http://lattes.cnpq.br/8551916275030169>

** Geógrafo e analista ambiental pelo Centro Universitário de Belo Horizonte (UNI-BH). Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais e doutor em Geografia pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (IGC/UFMG). Professor adjunto do Departamento de Geografia da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) e coordenador do Laboratório de Cartografia (CARTOLAB).
CV: <http://lattes.cnpq.br/1852310735226265>

*** Arquiteta e urbanista pela Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais (EA/UFMG). Mestre em Geografia pelo Instituto de Geociências (IGC/UFMG). Doutora em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Professora Associada do Departamento de Urbanismo e coordenadora do Laboratório de Geoprocessamento da EA/UFMG (GEOPRO-EA/UFMG).
CV: <http://lattes.cnpq.br/6448889980942931>

application of landscape metrics (area, perimeter, distance to nearest neighbor, core area, shape index and NRVI); and the integration of metrics using multi-criteria evaluation. Areas that are appropriate for the application of public policies, which promote the management of the vegetation cover, have been identified. These comprise not only the institutional green areas but also private properties, since the vegetation cover must be understood as a systemic network.

Keywords: Landscape Ecology. Landscape metrics. Spatial analysis. Urban landscape.

1 INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO

A paisagem urbana sempre foi uma forma de retratar valores coletivos do modo de coabitação em um território, produzindo identidade e vínculo com o “espaço”, que se hierarquiza no sentido de “lugar”. (TUAN,1983). Com o vertiginoso crescimento da ocupação urbana e de uma sociedade que tem no urbano a sua principal forma de habitar, deixando o território não urbano apenas como o local da produção, cabe avaliar a rapidez de transformação e a falta de expressão da construção da cidade, sobretudo da redução dos valores associados à presença da cobertura vegetal.

No que diz respeito ao papel da cobertura vegetal nas cidades, observa-se no Brasil uma significativa perda desse valor cultural e ambiental. Há perda ambiental, que reflete nas mudanças de temperatura, umidade e na biodiversidade dos conjuntos urbanos, mas é necessário entender que também há perda de valores culturais. Esta se relaciona à mudança da essência do lugar, do *genius loci* das cidades, segundo o conceito definido por Schulz (1980), e, mais especificamente, das cidades no território de Minas Gerais, área de investigação do presente estudo – uma vez que a paisagem das cidades da região sempre apresentou, como característica importante, equilibrada justaposição de cobertura vegetal com a ocupação antrópica.

Os espaços verdes podem ter diferentes funções no espaço urbano. Eles cumprem a função de manutenção da qualidade estética e atenuam o sentimento de opressão em relação às grandes edificações. Eles criam possibilidades de socialização e lazer para a população. Há, também, espaços que não necessariamente devem ter uso direto pela população, mas cumprem funções de proteção da biodiversidade, proteção contra problemas geotécnicos, áreas para recarga de aquíferos e para proteção de mananciais; outros têm como função proporcionar o equilíbrio ambiental relacionado ao clima, à umidade do ambiente e qualidade do ar e ao controle acústico. (LOBODA; ANGELIS, 2005; SIRKIS, 2008).

De acordo com Falcón (2007), os conceitos relacionados ao planejamento de espaços verdes foram oficialmente incorporados ao planejamento urbano a partir da conferência “Man and Biosphere” (MAB), da United Nations Organization for Education, Science and Culture (UNESCO), realizada em 1988 em Barcelona. Nesse congresso foram definidos princípios básicos para o planejamento do “verde urbano” para uma cidade sustentável.

Magalhães (2013) defende que a caracterização dos fragmentos de cobertura vegetal segundo forma, qualidade e posição em relação aos demais fragmentos é um importante passo para o adequado planejamento do papel da cobertura vegetal

urbana. O autor defende que sejam estudadas, para cada fragmento, as condições de qualidade ambiental, funcional e estética. A partir dessa caracterização, podem ser destinados os usos de proteção da biodiversidade, áreas de lazer e socialização, efeito estético, qualidade ambiental (ruído, temperatura, qualidade do ar, umidade) e segurança (proteção de áreas de risco geotécnico ou proteção de recursos hídricos).

O reconhecimento da distribuição da cobertura vegetal, da qualidade e das características da morfologia dessa vegetação e as mensurações de forma, dimensões e distância entre ocorrências de cobertura vegetal são favorecidos pelo emprego das geotecnologias. As geotecnologias são compostas por coleta e tratamento da informação, armazenamento da informação e produção de análise espacial – um conjunto de métodos e técnicas que promove significativo progresso na representação e análise da terra. (MOURA, 2014). No estudo de caso da cobertura vegetal, destacam-se os processos de classificação de imagens de satélite, a estruturação de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) de fragmentos aos quais são associados atributos em tabelas alfanuméricas e a aplicação de modelos de análise espacial.

O conjunto de geotecnologias configura um complexo potencial de emprego de *softwares*, métodos e modelos. Diante das muitas possibilidades que são apresentadas a um pesquisador, o ponto chave é a adequada escolha metodológica, em virtude dos objetivos a serem alcançados. O planejamento de processos a ser empregado é fundamental, posto que um labirinto de possibilidades se abre para o pesquisador. É importante tornar claras as etapas para os agentes envolvidos, dar ampla visualização aos diferentes usuários e, com isso, cooptar o interesse em participação.

1.1 CONCEITOS DE GEODESIGN E ECOLOGIA DA PAISAGEM APLICADOS AO PLANEJAMENTO DA PAISAGEM URBANA

O Geodesign visa à ocupação contextualizada da paisagem, respeitando condicionantes naturais e culturais. Em síntese, é projetar com o território e para o território. (STEINITZ, 2012). Enquanto conceito, o objetivo do Geodesign é a integração sustentável das atividades antrópicas com o ambiente natural, respeitando peculiaridades culturais e possibilitando processos de tomada de decisão de forma democrática. (GOODCHILD, 2010; MILLER, 2012; BATTY, 2013; ERVIN, 2012). Enquanto prática, o Geodesign é uma metodologia sistemática de planejamento territorial baseada em ferramentas de SIG e em novas ferramentas específicas, que estão sendo desenvolvidas pelos pesquisadores do tema.

Em 1938, o geógrafo Carl Troll introduziu o conceito de Ecologia da Paisagem na terminologia científica por meio do artigo *Landschaftökologie*, sendo o termo oriundo de seus estudos acerca da interpretação de fotografias aéreas na investigação do espaço geográfico. (TROLL, 1939). Segundo Troll (1939), a imagem aérea, por si só, é capaz de permitir a observação de diversas condições de um lugar, fornecendo ampla imagem da associação entre as plantas, as unidades geomorfológicas, a rede hídrica, a localização de centros urbanos (entre outros), com a qual é possível inferir

sobre determinadas relações entre os fatores paisagísticos – que deverão, posteriormente, ser mais bem esclarecidas, mediante trabalho de campo. A Ecologia da Paisagem é uma disciplina que vem gerando conhecimento para ações mais efetivas de planejamento ambiental e urbano, visto que seu principal enfoque é o estudo das inter-relações entre os aspectos bióticos e abióticos em paisagens heterogêneas, observando a interferência antrópica. Observando os conceitos instituídos dentro do escopo da Ecologia da Paisagem por Forman e Gordon (1986), tem-se que a paisagem possui uma estrutura formada por três elementos – Matriz, Mancha e Corredor –, sendo que o estudo da relação espacial entre eles constitui um tema central de pesquisa na área.

Segundo Lang and Blaschke (2009), para a avaliação analítica da estrutura da paisagem desenvolveu-se um conjunto de métodos designado de medidas da estrutura da paisagem, que orienta os procedimentos metodológicos em direção à tendência científica prospectiva com grande orientação quantitativa. De acordo com Metzger (2006), os mapas de categorias de uso e cobertura do solo representam fonte de dados para a quantificação da estrutura da paisagem a partir de métricas de paisagem, possibilitando a investigação ecológica por meio de padrões espaciais.

De acordo com Botequilha-Leitão et al. (2006), é necessária atenção na seleção das métricas a serem empregadas, uma vez que alguns dos parâmetros utilizados podem apresentar respostas redundantes nos valores finais. Existe um vasto conjunto de métricas disponíveis para análise de paisagem, mas dentro desse espectro de métricas, o uso de um conjunto restrito e bem concatenado de parâmetros é suficiente para direcionar as interpretações ecológicas mais substanciais.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo a aplicação de métricas de paisagem na caracterização e avaliação dos fragmentos florestais urbanos e periurbanos para identificar suas vocações relacionadas com diversos tipos de utilização, como: atividades sociais (parques e recreação); proteção da paisagem (qualidade bioclimática e beleza cênica); proteção ambiental (manutenção da biodiversidade); segurança (controle de riscos geotécnicos e proteção de mananciais).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O município de São Gonçalo do Rio Abaixo está localizado na província mineral do Quadrilátero Ferrífero, região central do estado de Minas Gerais, na Região Sudeste do Brasil. Possui grandes reservas de *commodities* minerais, sobretudo de minérios de ferro e ouro, de grande importância para a economia brasileira. O território de São Gonçalo do Rio Abaixo (figura 1) teve como vetor de ocupação a procura por terras férteis para a prática da agricultura às margens dos rios Una e Santa Bárbara, bem como a procura de ouro no leito do rio Santa Bárbara no século XVIII. (PMSGRA, 2013; IBGE, 2013). A partir da primeira metade do século XX, quando a produção industrial de minério de ferro se desenvolve efetivamente, o município passa a sofrer influências dessa atividade. Atualmente, a exploração mineral constitui a atividade econômica mais importante do município.

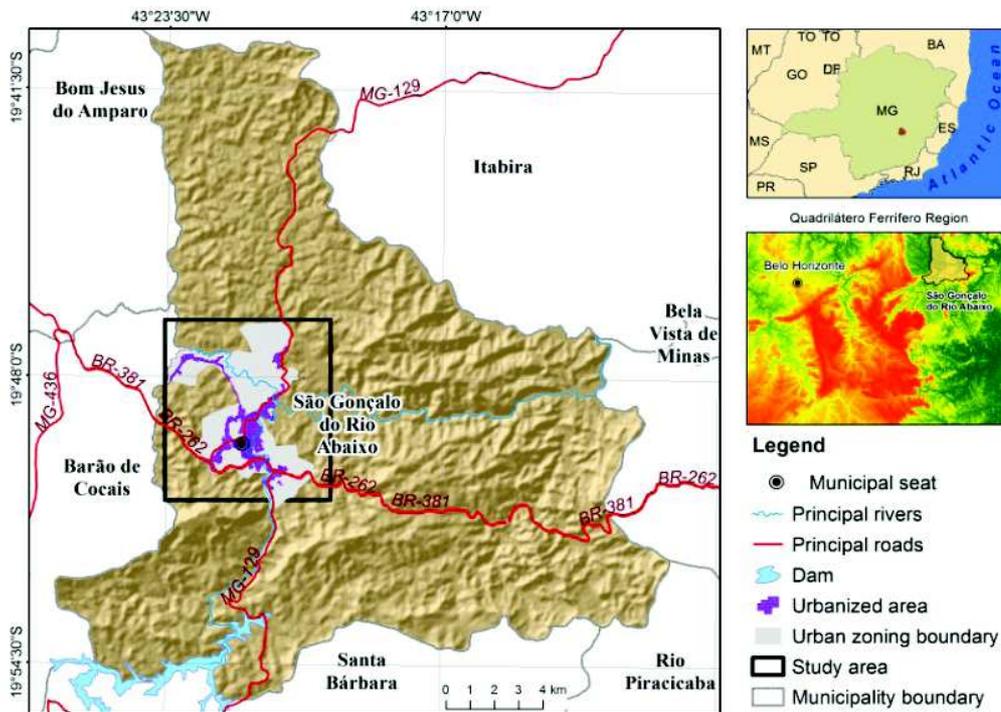


Figura 1 Localização do município de São Gonçalo do Rio Abaixo (MG).
Fonte: Produzida por Bráulio Magalhães Fonseca, Rodrigo Pinheiro Ribas e Ana Clara Mourão Moura a partir de bases cartográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

2.1 MÉTODOS

As análises apresentadas neste tópico foram estruturadas de acordo com o *framework* do Geodesign proposto por Steinitz (2012).

2.1.1 MODELOS DE REPRESENTAÇÃO – CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE IMAGENS E BASES CARTOGRÁFICAS

Imagens ortorretificadas com resolução espacial de 5 metros do sensor RapidEye, do ano de 2013, foram adquiridas na Secretaria de Meio Ambiente do Município de São Gonçalo do Rio Abaixo. O processamento digital foi realizado no programa SPRING 5.2.1, iniciando com a correção radiométrica entre as três cenas utilizadas; posteriormente, foi realizado o mosaico das cenas e aplicado o realce de contraste. Após o pré-processamento das cenas e a realização do mosaico de imagens, iniciou-se o processo de interpretação visual e estruturação da chave de interpretação que auxiliará a classificação automática.

Empregou-se o algoritmo de classificação supervisionada Máxima Verossimilhança (MAXVER), o qual é utilizado para análises pixel a pixel. Esse algoritmo utiliza apenas a informação espectral de cada pixel para identificar as regiões homogêneas e considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando

parâmetros estatísticos. O valor mínimo definido para a aceitação do desempenho geral das amostras de pixels coletados no processo de classificação foi de 95%. Posteriormente, executou-se a pós-classificação, processo no qual são eliminados alguns ruídos nas imagens, ou seja, áreas classificadas erroneamente são corrigidas, utilizando-se a edição matricial disponível no software SPRING 5.2.1. A matriz classificada em formato *raster* é exportada para o formato vetorial (*shapefile*).

Foi utilizada a base cartográfica em formato *shapefile* do zoneamento urbano municipal, contendo informações referentes aos parâmetros urbanísticos de taxa de ocupação, taxa de permeabilidade e coeficiente de aproveitamento. Também foi utilizado um arquivo *shapefile* de pontos, com a localização de novos projetos aprovados para serem executados até 2020.

2.1.2 MODELOS DE PROCESSOS: CALCULANDO MÉTRICAS DE PAISAGEM

Para o cálculo das métricas, empregou-se a extensão gratuita V-LATE (*Vector-based Landscape Analysis Tools Extension*) do software ArcGIS 10.2. Para tanto, a imagem classificada em formato *raster* foi convertida para o formato vetorial (*shapefile*) e, em seguida, foram selecionados os polígonos referentes à cobertura vegetal densa. Sobre os fragmentos selecionados foram calculados os índices de Ecologia da Paisagem referentes à área, perímetro, *core area*, *shape index* e *distance to nearest neighbor*.

As áreas núcleo de cada fragmento de vegetação representam suas respectivas áreas internas, as quais são menos afetadas por fatores externos (*edge effects*). No interior dos fragmentos de vegetação, são observadas condições de estabilidade, principalmente para espécies sensíveis aos efeitos perturbadores de borda, o que é válido para processos bióticos e abióticos, sobretudo em função das relações laterais e funcionais de cada fragmento. (METZGER, 2006). A métrica de área núcleo foi estabelecida a partir de uma zona de amortecimento de 100 metros da borda para dentro.

O índice de forma foi proposto por Forman e Gordon (1986) e avalia a complexidade da forma de fragmento de vegetação em relação a uma feição padrão, qual seja uma forma circular. Quanto mais a mancha se desvia da morfologia redonda, maior será o valor desse índice adimensional, segundo a fórmula onde p é o perímetro do fragmento e a é a sua área:

$$SI = \frac{p}{2\sqrt{\pi \cdot a}} \quad (1)$$

Para uma análise quantitativa dos remanescentes florestais em relação às zonas urbanas, aplicou-se o *Normalized Remaining Vegetation Index* (NRVI), proposto por Bonnet, Ferreira e Lobo (2006):

$$NRVI = \frac{rv - aa}{rv + aa} \quad (2)$$

Onde: *rv* corresponde à vegetação natural remanescente por zona urbana e *aa* representa as áreas antropizadas por zona urbana, que correspondem aos usos antrópicos dos terrenos.

2.1.3 AVALIAÇÃO

O procedimento de análise de multicritérios é amplamente utilizado para a criação de síntese de valores baseada na ponderação de critérios ou variáveis. Neste trabalho, a avaliação multicriterial (MCA) é baseada na média ponderada amparada por *knowledge-driven evaluation*. Nesse caso, a atribuição de pesos é feita por conhecedores dos fenômenos da área de estudo, bem como das variáveis analisadas. (MOURA, 2014; MALCZEWSKI, 1999, 2006).

Para avaliar qualitativamente a cobertura vegetal, foi realizada uma MCA considerando as métricas *core area*, *shape index* e *distance to nearest neighbor*. Considerou-se que os fragmentos com melhor qualidade e relação harmônica com as áreas urbanas são os que apresentam maior área *core*, um índice de forma que indique morfologia mais estável em relação às características da área de estudo e menor distância do próximo fragmento de vegetação. Os valores foram normalizados e a cada uma dessas métricas foram atribuídos pesos iguais de 33%.

Posteriormente, foi feita uma análise combinatória entre o resultado da MCA e o resultado do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI - INRF), combinando os valores da MCA (menor que 0.6 – valores baixos; acima de 0.6 – valores altos) e do NRVI (de -1 a 0 – valores baixos; de 0 a 1 – valores altos), conforme exemplificado na tabela 1. Como resultado, foi possível identificar as zonas urbanas de alta significância ambiental, quais sejam as áreas com alta quantidade e alta qualidade de fragmentos de vegetação.

Tabela 1 Análise Combinatória entre a Qualidade (MCA) e a Quantidade (NRVI) de Vegetação por Zona Urbana

	NRVI (Quantidade)	Valores baixos	Valores altos
MCA (Qualidade)	Valores Combinatórios	0 (-1 a 0)	1 (0 a 1)
Valores Baixos	0 (< 0.6)	0	1
Valores altos	2 (>0.6)	2	3

0 – Baixa qualidade e baixa quantidade; 1 – Baixa qualidade e alta quantidade; 2 – Alta qualidade e baixa quantidade; 3 – Alta qualidade e alta quantidade.

Fonte: Produzida por Bráulio Magalhães Fonseca, Rodrigo Pinheiro Ribas e Ana Clara Mourão Moura.

2.1.4 MUDANÇAS, IMPACTOS E DECISÃO

Foi realizada uma análise de potencial de impactos considerando a concentração espacial de novos projetos, aprovados pela gestão municipal, que estão em fase de execução e com prazo para conclusão até 2020. Para tal, gerou-se um mapa de concentração de novos projetos, aplicando-se o estimador de densidade de Kernel sobre pontos localizados nas áreas onde ocorrem ou ocorrerão obras referentes a esses projetos. Em seguida, foi realizada uma análise combinatória (tabela 2), relacionando o mapa de concentração de novos projetos com o mapa de significância ambiental.

Tabela 2 Análise Combinatória entre a Significância Ambiental e a Concentração de Novos Projetos

		Concentração de Projetos Aprovados	Valores Baixos	Valores Altos
Significância Ambiental	Valores Combinatórios		0	1
Valores Baixos	0		0 (0)	1
Valores Baixos	2		2 (2 e 3)	3

0 – Baixa concentração de projetos e baixa significância ambiental; **1** – Alta concentração de projetos e baixa significância ambiental; **2** – Baixa concentração de projetos e alta significância ambiental; **3** – Alta concentração de projetos e alta significância ambiental.

Fonte: Produzida por Bráulio Magalhães Fonseca, Rodrigo Pinheiro Ribas e Ana Clara Mourão Moura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos foram desenvolvidos de acordo com os modelos de representação, processos, avaliação, mudança, impactos e decisão, conforme proposto no arcabouço metodológico de análise da paisagem sugerido por Steinitz (2012).

3.1. REPRESENTAÇÃO E PROCESSOS

A área de estudo é caracterizada pelo equilíbrio entre as áreas de pastagem (matriz) e de vegetação densa, conforme apresentado na tabela 3.

Tabela 3 Quantificação das Classes de Uso e Cobertura do Solo

Uso e cobertura do solo	Área (ha)	%
Corpos hídricos	30.39	0.59
Área urbanizada	193.47	3.77
Campos rupestres/afloramentos rochosos	12.08	0.24
Floresta (vegetação densa)	2.137.74	41.62
Pastagem degradada	2.317.36	45.12

Reflorestamento com eucalipto	351.74	6.85
Solo exposto	93.04	1.81
Total	5.135.82	100.00

Tabela indicando a distribuição de tipologias de uso e cobertura do solo na área de estudo.

Fonte: Elaborada por Bráulio Magalhães Fonseca, Rodrigo Pinheiro Ribas e Ana Clara Mourão Moura a partir da classificação da imagem de satélite RapidEye, dados de 2014.

As métricas de paisagem foram aplicadas na classe floresta (vegetação densa), que apresenta distância média do vizinho mais próximo de 39 metros, indicando relativa conectividade entre os fragmentos; o índice de forma médio de 2, indicando fragmentos com morfologias fora do padrão morfológico circular, sendo mais suscetíveis aos efeitos de borda; a área núcleo média é de 10 mil m². As três métricas analisadas foram calculadas por fragmento de vegetação (figura 2).

As zonas urbanas com as menores quantidades de remanescentes florestais, (valores -1 e -0.9), em laranja e vermelho, correspondem às áreas destinadas ao uso misto (residencial e comercial) e ao uso industrial, respectivamente (figura 3). É importante ressaltar que mais de 50% das zonas urbanas já urbanizadas apresentam equilíbrio entre as áreas antropizadas e as áreas com remanescentes florestais, valores de NRVI próximo de 0, numa escala de valores que vai de -1 a +1. Na área de estudo, os valores variam de -1 a 0,6 – significando adequada e equilibrada condição ambiental das zonas urbanas.

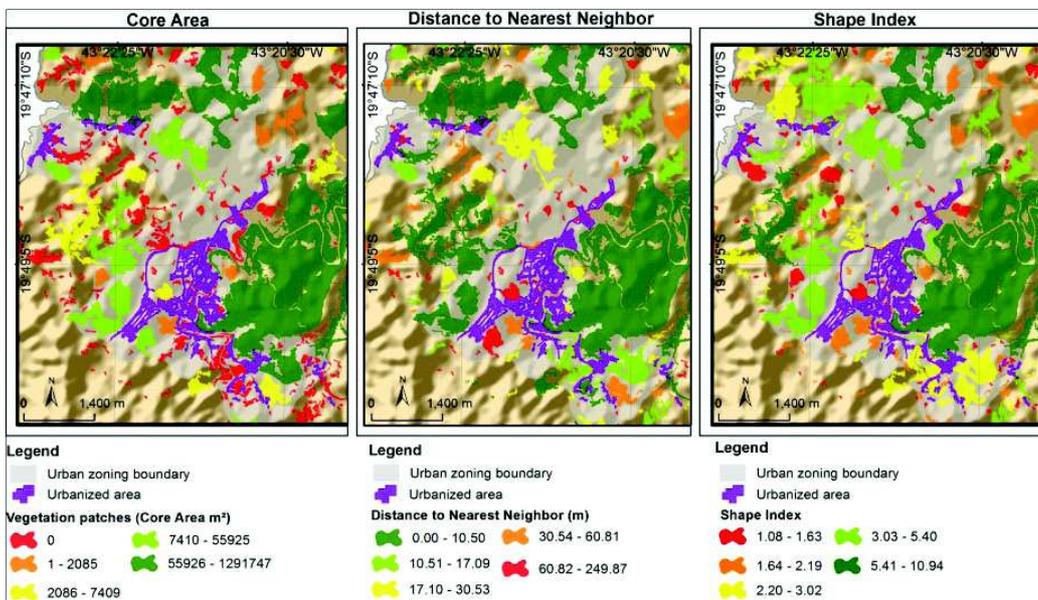


Figura 2 Métricas de paisagem analisadas.

Fonte: Produzida por Bráulio Magalhães Fonseca, Rodrigo Pinheiro Ribas e Ana Clara Mourão Moura a partir de dados de uso do solo por processamento de imagens de satélite RapidEye e cálculo de métricas de paisagem.

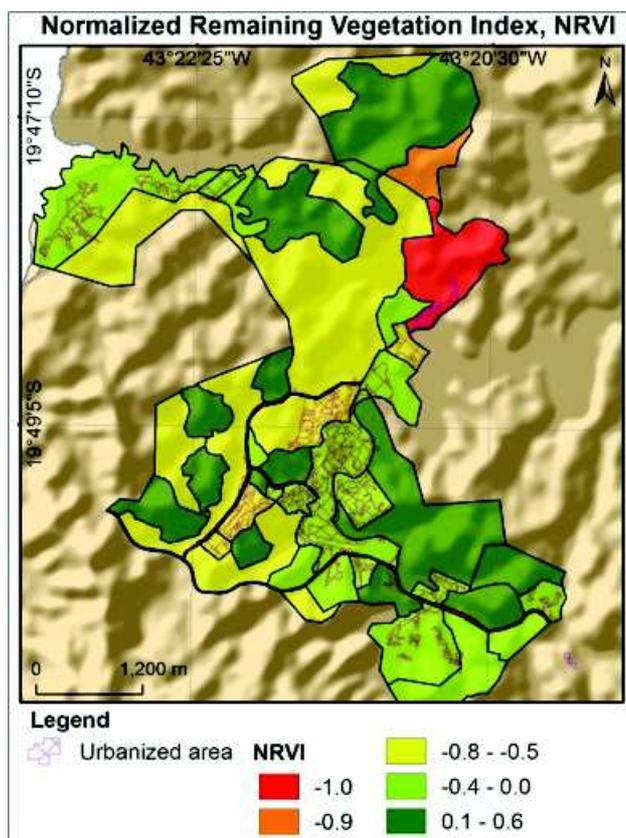


Figura 3 Índice de remanescentes de vegetação por zona urbana.
Fonte: Produzida por Bráulio Magalhães Fonseca, Rodrigo Pinheiro Ribas e Ana Clara Mourão Moura a partir de dados de uso do solo por processamento de imagens de satélite RapidEye e cálculo de índice normalizado de vegetação.

As áreas em amarelo correspondem às zonas urbanas que possuem poucos remanescentes florestais e são classificadas pelo zoneamento urbano como zonas de interesse urbano, ou seja, áreas destinadas à expansão urbana imediata. As áreas em verde escuro, com maior quantidade de remanescentes florestais, correspondem às zonas de proteção ambiental urbana e às áreas de interesse ambiental. A zona urbana com a maior quantidade de vegetação remanescente (à direita na figura 3) é uma área de interesse ambiental onde ocorrem pesquisas na área de farmacologia e que é estudada para a criação de um parque municipal. Já a segunda maior zona urbana com a maior quantidade de remanescentes florestais é uma área residencial com glebas de 1.000 m².

3.2 AVALIAÇÃO

Os fragmentos classificados como de baixa qualidade correspondem às manchas de vegetação, apresentam área núcleo pequena ou inexistente e estão isolados, sem possibilidade de formar corredores com outras manchas (figura 4a). No entanto, esses fragmentos são importantes, pois significam uma resistência natural em meio às áreas de urbanização mais adensadas. Tanto na área urbanizada quanto na área legalmente urbana (os limites do zoneamento urbano), os fragmentos de vegetação são importantes para a manutenção da qualidade bioclimática, haja vista a redução de temperatura de 3°C a 4°C sob manchas de vegetação em áreas urbanas. (ROBINETTE, 1972).

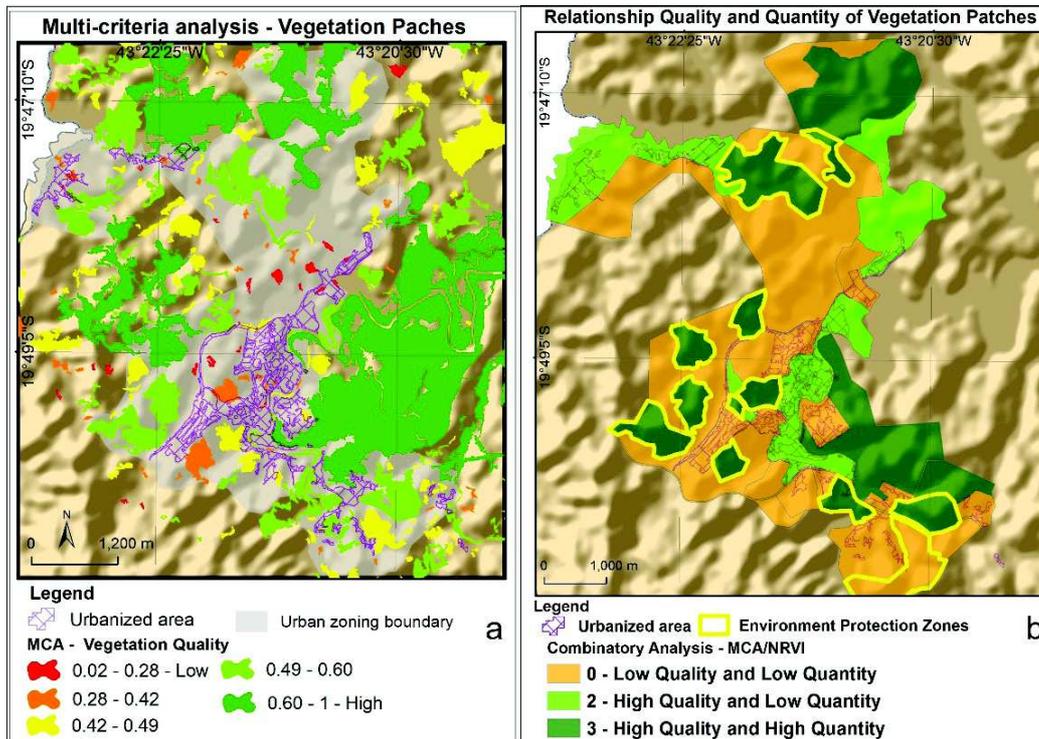


Figura 4 Resultado da análise de multicritérios por fragmentos de vegetação: (a) Resultado da análise combinatória entre a MCA e NRVI; (b) Comparado com as áreas de proteção ambiental existentes.
 Fonte: Produzida por Bráulio Magalhães Fonseca, Rodrigo Pinheiro Ribas e Ana Clara Mourão Moura a partir de dados de uso do solo por processamento de imagens de satélite RapidEye e cálculo de índice normalizado de vegetação.

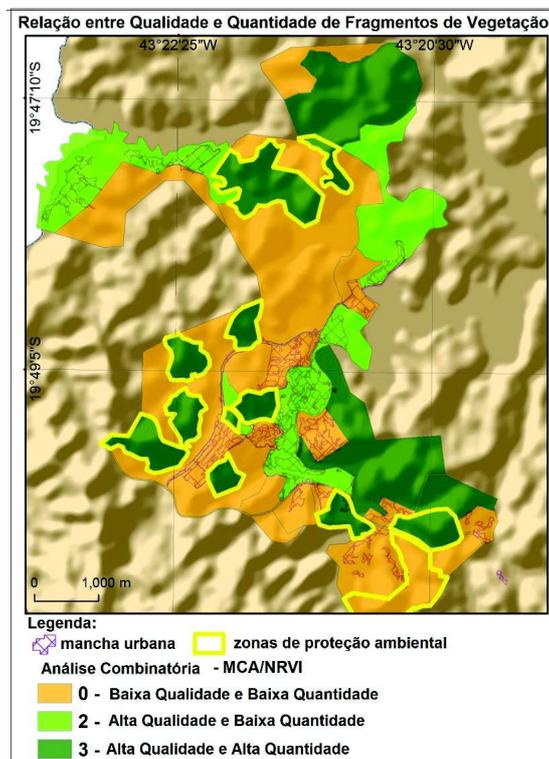


Figura 5 Resultado da análise de multicritérios por fragmentos de vegetação: comparação com as áreas de proteção ambiental existentes.
 Fonte: Produzida por Bráulio Magalhães Fonseca, Rodrigo Pinheiro Ribas e Ana Clara Mourão Moura, por dados de uso do solo por processamento de imagens de satélite RapidEye e cálculo de índice normalizado de vegetação.

A combinação entre a MCA e o NRVI resultou no mapa de significância ambiental da zona urbana (figura 5). Essa relação mostrou que as áreas de proteção ambiental do zoneamento urbano (áreas com borda amarela) apresentaram alta qualidade e alta quantidade de vegetação, com exceção de uma única área de proteção ambiental, ao sul da área urbana municipal, que deve ser alvo de recomposição florestal.

As zonas que possuem alta qualidade e baixa quantidade de vegetação, e que coincidem com áreas já urbanizadas, devem ser alvos de normativas específicas, visando à manutenção da vegetação existente. Nessas zonas estão os menores fragmentos de vegetação, portanto, os mais suscetíveis às ações antrópicas. No entanto, são manchas de vegetação importantes para a manutenção da qualidade bioclimática urbana.

3.3 MUDANÇA, IMPACTO E DECISÃO

As mudanças previstas para ocorrerem até 2020 correspondem a novos projetos que foram aprovados pela administração municipal. Muitos já estão em execução, a exemplo loteamentos, hospital, postos de saúde, prédios comerciais e residenciais, asfaltamento de estradas vicinais, pontes e o novo centro administrativo municipal. Observa-se uma tendência espacial de concentração desses projetos no entorno das áreas já urbanizadas, como pode ser observado na figura 6. As zonas com maior concentração de novos projetos desempenham função de catalisadoras da transformação da paisagem urbana, constituindo vetores de pressão sobre as manchas de vegetação.

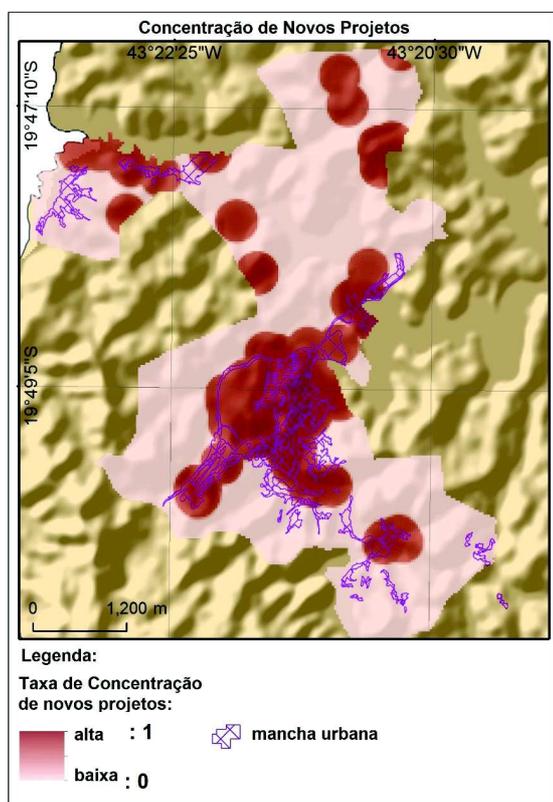


Figura 6 Concentração de novos projetos, distribuição por densidade de kernel.
Fonte: Produzida por Bráulio Magalhães Fonseca, Rodrigo Pinheiro Ribas e Ana Clara Mourão Moura, por densidade de kernel a partir de dados da prefeitura local.

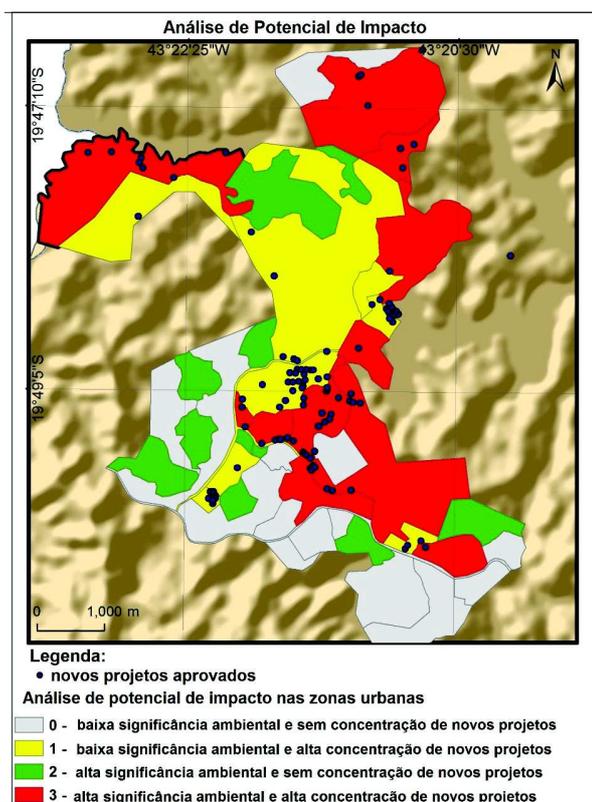


Figura 7 Distribuição de novos projetos e potencial de impacto por zona urbana.
Fonte: Produzida por Bráulio Magalhães Fonseca, Rodrigo Pinheiro Ribas e Ana Clara Mourão Moura a partir de dados da prefeitura local e de análise espaciais.

A análise combinatória entre o mapa de significância ambiental e o mapa de concentração de novos projetos resultou no mapa de potencial de impactos (figura 7). As zonas urbanas com potencial de impacto, em vermelho, possuem alta significância ambiental e alta concentração de novos projetos. Recomenda-se que tenham seus parâmetros urbanísticos e normativas legais alterados, visando à redução de possíveis impactos sobre os fragmentos de vegetação.

As zonas em amarelo na mesma figura possuem baixa significância ambiental e alta concentração de novos projetos. Nessas áreas recomenda-se a criação de normativas específicas para o estudo de impacto de vizinhança, visando à destinação para medidas de compensação ambiental e recomposição das áreas de vegetação. Uma proposta interessante seria a alteração do plano diretor, no sentido de ampliar a área mínima necessária para áreas verdes institucionais nas glebas em processo de parcelamento do solo.

4 CONCLUSÕES

As análises baseadas nos conceitos e métricas de Ecologia da Paisagem associadas às análises de multicritérios em ambiente SIG proporcionaram a caracterização e a classificação dos fragmentos de vegetação no contexto das zonas urbanas. Com a associação de análises qualitativas e quantitativas dos fragmentos de vegetação, apresentada para cada zona urbana, foi possível tecer comparações com o zoneamento

urbano em vigência e avaliar a funcionalidade das zonas em relação às possibilidades de preservação da cobertura vegetal arbórea.

A quantificação dos padrões estruturais da paisagem é um elemento chave na interpretação da composição e configuração espacial da paisagem. No entanto, cabe ressaltar que a quantificação da paisagem e o seu arranjo espacial não podem ser um propósito em si. É essencial que os conceitos da estrutura da paisagem e suas respectivas métricas sejam utilizados de acordo com as características ambientais inerentes a cada área estudada.

Observou-se que o zoneamento urbano do município é consistente em relação às áreas destinadas à proteção ambiental e de interesse ambiental, pois apenas uma área de proteção ambiental proposta pelo plano diretor apresentou baixa significância.

Portanto, o grande desafio é gerenciar a expansão urbana e os impactos ambientais associados para enfrentar a necessidade de preservar as áreas verdes urbanas de modo a manter a qualidade de vida. Nesse contexto, defende-se que o arcabouço metodológico e os conceitos de Geodesign podem contribuir para uma gestão integrada da paisagem urbana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATTY, Michael. Defining Geodesign (= GIS + design?). **Environment and Planning B: planning and design**. London: Pion, vol. 40, 2013, p. 1-2. DOI: 10.1068/b4001ed
- BONNET, Bárbara; FERREIRA, Laerte; LOBO, Fábio. Sistema de Reserva Legal extrapropriedade no bioma cerrado: uma análise preliminar no contexto da bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro: SBC, vol. 2, nº 58, 2006, p. 129-137.
- BOTEQUILHA-LEITÃO A.; MILLER J.; AHERN J., MCGARIGAL, K. **Measuring landscapes: a planner's handbook**. Island Press, Washington DC, 2006. 245 p.
- ERVIN, Stefan. A system for Geodesign. In: DIGITAL LANDSCAPE ARCHITECTURE. **Anais...** Dessau: Anhalt University, 2012, p. 1-14.
- FALCÓN, Antoni. **Espacios verdes para una ciudad sostenible: planificación, proyecto, mantenimiento y gestión**. Barcelona: Pili, 2007. 175 p.
- FORMAN, Richard; GORDON, Michael. **Landscape Ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1986. 619 p.
- GOODCHILD, Michael. Towards Geodesign: repurposing cartography and GIS? **Cartographic Perspectives**. Milwaukee: NACIS, v. 66, 2010, p. 55-69.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?>. Acesso em: 20 jun. 2013.
- LANG, Stefan; BLASCHKE, Thomas. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de textos, 2009. 424 p.
- LOBODA, Carlos Roberto; DE ANGELIS, Bruno Luiz Domingos. Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. **Ambiência**. Guarapuava: Unicentro, v. 1, n. 1, 2005, p. 125-139.
- MAGALHÃES, Danilo Marques. **Análise dos espaços verdes remanescentes na mancha urbana conurbada de Belo Horizonte - MG apoiada por métricas de paisagem**. 2013. 163 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. 163 p.
- MALCZEWSKI, Jacek. **GIS and multicriteria decision analysis**. New York: J. Wiley & Sons, 1999. 392 p.
- _____. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. **International Journal of Geographical Information Science**. London: Taylor & Francis, v. 20 n. 7, 2006, p. 703-726.
- METZGER, Jean Paul. How to deal with non-obvious rules for biodiversity conservation in fragmented landscapes? **Natureza e Conservação**. Rio de Janeiro: ABECO, vol. 4 nº 2, 2006, p. 125-137.

- MILLER, Willian. **Introducing Geodesign: the concept director of Geodesign Services**. Redlands: Esri Press, 2012. 36 p.
- MOURA, Ana Clara. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. 286 p.
- PMSGRA. Prefeitura Municipal de São Gonçalo do Rio Abaixo. **São Gonçalo do Rio Abaixo cada dia melhor**. Disponível em: <<http://www.saogoncalo.mg.gov.br>>. Acesso em: 20 jun. 2013.
- RIBAS, Rodrigo Pinheiro. **Análise espacial da conectividade estrutural na paisagem: uma aplicação no Mosaico de áreas protegidas do espinhaço: Alto Jequitinhonha - Serra do Cabral**. 2015. 219 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. 219 p.
- ROBINETTE, Gary. **Plants, people, and environmental quality**. Washington: Department of the Interior, National Park Service, 1972. 137 p.
- SCHULZ, Christian Norberg. **Genius loci, towards a phenomenology of architecture**. New York: Rizzoli, 1980. 213 p.
- SIRKIS, Alfredo. O desafio ecológico das cidades. In: MENDES, André Trigueiro. **Meio ambiente no século XXI**. Campinas: Armazém do Ipê, 2008, p. 215-229.
- STEINITZ, Carl. **A framework for Geodesign: changing geography by design**. Redlands: ESRI Press, 2012. 224 p.
- TROLL, Carl. Luftbildplan and ökologische bodenforschung. In: ZEITSCHRIFT DER GESELLSCHAFT FÜR ERDKUNDE. **Anais...** Berlin: Bonn University, 1939, p. 241-298.
- TUAN, Yi-Fu. **Espaço e lugar: a perspectiva da experiência**. São Paulo: Difel, 1983. 250 p.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio através do projeto "Geodesign e Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial: novos recursos das geotecnologias para gestão da paisagem da Regional Pampulha, Belo Horizonte", Processo 471089/2014-1, CHAMADA MCTI/CNPQ/MEC/CAPES Nº 22/2014, e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) – "Programa Pesquisador Mineiro – PPM IX", Processo TEC – PPM – 00059-15. Agradecem, em especial, à Prefeitura de São Gonçalo do Rio Abaixo, pelo acesso à coleção de dados, e o Ministério do Meio Ambiente, Governo Federal, pelo acesso às imagens RapidEye.

Nota do editor

Submissão: 27 mar. 2015

Aprovação: 5 abr. 2016