

Moura, Ana Clara M. Estudo exploratório de aplicação de métricas de paisagem na caracterização da dinâmica de transformação regional – potenciais de transformação das manchas urbanas. Anais VIII Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos - ENABER, Juiz de Fora, Brasil, 8-10 set 2010, UFJF.

## **Estudo exploratório de aplicação de métricas de paisagem na caracterização da dinâmica de transformação regional – potenciais de transformação das manchas urbanas**

**Ana Clara Mourão Moura**

**Escola de Arquitetura, Depto Urbanismo, UFMG**

Rua Paraíba 697, Savassi, Belo Horizonte – MG, CEP 30130-140, [anaclara@ufmg.br](mailto:anaclara@ufmg.br)

### **Resumo:**

Trata-se de estudo exploratório de aplicação de recursos de mensuração, espacialização e interpretação de métricas da paisagem para ocupações urbanas. O objetivo é identificar e caracterizar os fragmentos da paisagem composta pelas manchas urbanas segundo seus fatores de medição da matriz dos fragmentos; efeitos de borda e área nuclear (*core*); tamanho, forma e grau de isolamento dos fragmentos. Os estudos visam verificar se as métricas auxiliam para se identificar características do grau de estabilidade e potencial de expansão das manchas urbanas, grau de influência entre as manchas através de mensurações de distâncias e conectividade, grau de isolamento e de heterogeneidade das manchas em função das métricas de área núcleo e relação perímetro-área, entre outras avaliações. O resultado é a caracterização da morfologia de ocupação urbana em escala regional, identificando áreas de potencial de transformação e crescimento espacial, assim como os elementos estruturantes da paisagem que atuam como atrito à ocupação. Escolhe como área de investigação a o Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, em sua porção da Região Metropolitana de Belo Horizonte. É em estudo exploratório que resulta em algumas previsões de transformação espaciais urbanas, com vistas a motivar interesses sobre o tema.

Palavras chaves: Análise Espacial, Métricas de Paisagem, Dinâmica Urbana

### **Abstract:**

This is an exploratory study of application resource measurement, spatial and interpretation of landscape metrics for urban occupations. The aim is to identify and characterize the fragments of the urban landscape composed of patches according to their factors of measuring the array of fragments, edge effects and the nuclear (*core*) size, shape and degree of isolation of the fragments. The studies aimed to determine whether the metrics to help identify characteristics of the degree of stability and potential for expansion of urban patches, level of influence between patches through measurements of distances and connectivity, degree of isolation and heterogeneity of the spots according to the metric core area and perimeter-area ratio, among other assessments. The result is a characterization of the morphology of urban occupation in a region scale, identifying areas of potential growth and spatial processing, as well as key elements of the landscape that act as friction to the occupation. Choose area of research the Quadrilátero Ferrífero in Minas Gerais, in its portion in Metropolitan Area of Belo Horizonte. It is an exploratory study that results in some predictions of urban spatial transformation, in order to motivate interest on the subject.

Keywords: Spatial Analysis, Landscape Metrics, Urban Dynamics

## **1 INTRODUÇÃO**

A modelagem de dados ambientais é vasto campo para emprego das geotecnologias, sobretudo do geoprocessamento e de processos de álgebra de mapas e mensuração de ocorrências espaciais com vistas a dar apoio à caracterização da ocupação territorial. Entre os estudos de modelagem de dados espaciais mais recentes, destacam-se os que visam à identificação de padrões que possam dar subsídios à compreensão dos motivos que levaram a uma determinada distribuição espacial, assim como os estudos preditivos das tendências de expansão da ocupação.

Os modelos de aplicação de métricas da paisagem foram propostos inicialmente pelos estudos da Ecologia da Paisagem e da Biologia da Conservação. O objetivo era identificar e caracterizar os fragmentos da paisagem para selecionar as unidades com melhores condições para a preservação ambiental, assim como dar apoio às escolhas de arranjos espaciais que poderiam favorecer a biodiversidade, o equilíbrio das espécies, o fluxo gênico entre unidades e a formação de corredores ecológicos que estariam em equilíbrio com as ocupações antrópicas do território.

Em virtude da ampla aceitação do tema pelo meio científico, existem softwares que realizam as medições espaciais dos fragmentos de paisagem, resultando em suas classificações segundo os fatores de medição da matriz dos fragmentos; efeitos de borda e área nuclear (*core*); tamanho, forma e grau de isolamento dos fragmentos; avaliação das condições de metapopulação (relacionada ao fluxo gênico); conectividade entre os fragmentos através de corredores e trampolins ecológicos (*stepping stones*).

A riqueza de respostas que podem ser obtidas através da aplicação dos modelos de mensuração de métricas de paisagens nos estudos biológicos de avaliação de áreas de interesse ambiental nos motivou a realizar testes de verificação da aplicabilidade dessas métricas nos estudos de distribuição da ocupação antrópica no território, mais especificamente da análise da morfologia das manchas urbanas. São realizadas medições de fatores de forma nas manchas de ocupação urbana nas regiões do Quadrilátero Ferrífero e Região Metropolitana de Belo Horizonte (Fig.1), selecionadas devido à concentração e dinâmica de transformação da ocupação antrópica observada nestas áreas, em função da complexidade de



## **2 BASE CONCEITUAL – MORFOLOGIA URBANA E MÉTRICAS DE PAISAGEM**

A questão da forma das cidades, a morfologia das ocupações urbanas, sempre foi do interesse do urbanismo desde os primórdios da criação das cidades. As primeiras tentativas de estabelecer uma ordem para os aglomerados humanos foram traduzidas em formas, em desenhos geometrizados de espacialização das distribuições das funções e uso para as cidades. Há vasta bibliografia sobre o tema, mas vamos destacar o trabalho apresentado por Lynch (2007) em “A boa forma da cidade”, publicado em 1981.

Na obra, o autor defende: “As cidades, tais como os continentes, são simplesmente enormes fatos da natureza, aos quais temos que nos adaptar. Estudamos a sua origem e função porque esses aspectos são interessantes e também porque se tornam úteis para se fazerem previsões.” O autor propõe três ramos de teorias para se explicar a cidade como um fenômeno espacial: um baseado na teoria do planejamento, que se ocupa das complexas decisões públicas para o desenvolvimento da cidade; outro baseado na teoria funcional que explica que elas tomam a forma que têm e como funciona esta forma; e finalmente a teoria normativa, que aborda as ligações generalizáveis entre os valores humanos e a forma dos aglomerados populacionais ou de como se reconhece uma boa cidade quando se encontra uma.

Para desenvolver seus argumentos, o autor nos leva a visitar as diferentes materializações dos pensamentos de modo de ocupação do território, traduzidos em morfologias de cidades, que traduzem o que seriam as essências de seus funcionamentos, valores e modos de vida.

Corroborando com o autor, podemos lembrar clássicos exemplos de cidades cuja forma representa os objetivos a que se destinaram, tais como a “Cidade Jardim” de Ebenezer Howard (1902), projetada na forma de anéis concêntricos a partir de um ponto focal e conformando uma rede de cidades muito semelhante ao protótipo proposto por Christaller (1933). Podemos citar muitos exemplos de ocupações medievais e o caso de Palmanova, na Itália, construída no final do século XVI para defender as fronteiras da região de Veneza e, devido a esse objetivo, foi desenhada na forma de estrela de nove pontas, visando ampliar as condições de visibilidade de defesa sobre o território. Podemos lembrar a cidade linear de Tony Garnier (1918), que propôs estruturar a ocupação urbana na forma de uma esteira de produção ao longo do eixo de uma ferrovia ou rodovia, visando otimizar a produção. Podemos lembrar o caso de Belo Horizonte, desenhada para ocupar uma área definida por um

anel de contorno; assim como podemos citar o caso de Brasília, desenhada para ocupar um plano piloto composto por um eixo central e eixos na forma de uma grande asa, que nos lembra muito a forma de um avião.

A questão da forma urbana é de amplo interesse. Contudo, é nosso objetivo verificar se os procedimentos metodológicos de medição de métricas da paisagem podem trazer ganhos para os estudos das dinâmicas de ocupação territorial urbana. Até que ponto a forma da cidade está relacionada com sua condição de crescimento de expansão? O argumento que defendemos é que há, sim, relação. Defendemos que as cidades de maior complexidade de forma apresentam maior dinâmica e são menos estáticas, pois podem ser caracterizadas como espaços em processo de transformação e de ampliação de suas fronteiras. Por outro lado, cidades caracterizadas por formas mais nucleadas e menos estreladas, com aspecto morfológico de massas mais compactas, possuem maior estabilidade, por maior atividade baseadas em núcleos e centralidades, mas apresentam menor dinâmica de crescimento no sentido de expansão territorial.

A origem do interesse em métricas da paisagem está relacionada aos estudos da Ecologia da Paisagem. De acordo com FORMAN e GORDON (1986), ela se baseia *“no estudo da estrutura, função e dinâmica de áreas heterogêneas compostas por ecossistemas interativos, ou seja, ela possibilita que a paisagem seja avaliada sob diversos pontos de vista, permitindo que seus processos ecológicos e a influência humana, no contexto geográfico possam ser estudados em diferentes escalas temporais e espaciais.”*

A partir dessa conotação de envolvimento do homem e suas inter-relações com o ambiente, surge a visão integradora de sistemas, onde se integram a Ecologia da Paisagem e a Biologia da Conservação. Assim, a Ecologia da Paisagem estuda um sistema onde há relação entre seus componentes, estudando a composição e a estrutura ecológica. A estrutura ecológica refere-se à geometria dos componentes da paisagem, tanto biogenéticas como geológicas. (Nascimento, 2010).

A variação estrutural ocorre em escala na paisagem, tamanho, forma, e relações espaciais de comunidades, entre outras, daí o interesse em abordar métricas dos componentes espaciais através de área, perímetro, relação perímetro/área, área núcleo, fator de forma, distância euclidiana, entre outros. Os estudos são sobre o efeito de borda e a área nuclear; estudo do tamanho, forma e grau de isolamento dos fragmentos; estudos de conectividade entre os fragmentos (corredores e trampolins ecológicos).

### **3 METODOLOGIA**

A metodologia empregada foi estruturada em etapas de trabalho de construção de base cartográfica de espacialização de manchas de ocupação urbana, no cálculo de métricas de paisagem das formas urbanas, na elaboração de mapas de distribuição de padrões de métricas e na análise dos resultados obtidos.

#### **3.1. Construção da base cartográfica de manchas urbanas**

A elaboração do mapeamento de manchas urbanas em escala regional, como o necessário para o trabalho aqui apresentado, é classicamente realizado através de processamento digital de imagens de satélite de média resolução ou de vetorização a partir de imagens de melhor resolução. Iniciamos nossos estudos testando essas fontes e os resultados que poderíamos obter. Contudo, para um estudo de métricas, seria necessário obter representações espaciais capazes de identificar as nuances de suas morfologias, tais como os braços de eixos, as formas conformadas pelos agrupamentos, enfim: um nível mais bem detalhado que o promovido pela generalização das classificações de imagens de satélite.

Assim, optamos por trabalhar com a base de dados pontuais de postes de energia elétrica da CEMIG, projeto GEMINI, aos quais aplicamos modelos de transformação de dados pontuais em manchas de agrupamento do serviço, o que conforma a mancha antropizada na área de estudo, ou seja: a representação mais próxima da real mancha de ocupação urbana que se pode obter (Fig. 2 e 3).

O nosso argumento se baseia no fato de que o serviço de energia elétrica em Minas Gerais é muito bem distribuído, chegando onde há ocupação humana do território, independente de ser área rural ou urbana. Destaca-se que a área de estudo se localiza na Região Metropolitana de Belo Horizonte, aonde chega eletrificação em praticamente 100% de onde há ocupação humana. O banco de dados de poste separa o serviço em área rural e urbana, o que nos permitiu fazer a mancha da área antropizada total, a área antropizada em espaço rural e a área antropizada em espaço urbano.

Áreas Atropizadas  
Região Metropolitana de Belo Horizonte - MG

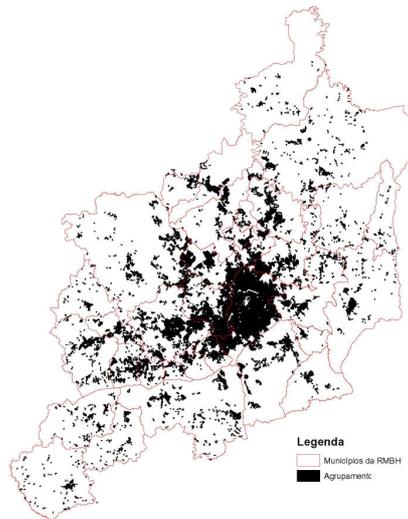


Fig. 2 – Manchas urbanas na área de estudo

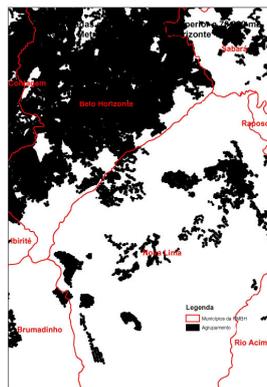


Fig. 3 – Grau de detalhamento da forma

### **3.2. Aplicação do cálculo de métricas da paisagem para estudos das manchas urbanas**

Uma vez obtida a camada de manchas urbanas pelo procedimento anteriormente explicado, o cálculo de métricas foi realizado no software livre Fragstats. Contudo, antes de sua utilização, a coleção de dados foi preparada em formato grid no software ArcView Spatial Analyst.

O software *Fragstats* foi desenvolvido pelo Departamento de Conservação de Recursos Naturais da Universidade de *Massachusetts*. Ele quantifica a configuração areal (em manchas) e espacial de fragmentos em uma paisagem. Os desenvolvedores informam que é incumbência dos usuários estabelecerem bases para definir os padrões da paisagem, de modo que, a partir do apoio de uma ferramenta, possam investigar os valores representativos e o que eles podem significar na caracterização do objeto de investigação. Por exemplo: ele mede a

área núcleo mediante a definição do que seria uma dimensão mínima para ser considerada como um núcleo, mas o valor do que se considera núcleo em cada caso só pode ser definido por conhecimento do especialista que faz a investigação ou por cotejo frente à realidade, em processo de testes de valores, o que conhecemos por abordagem heurística. Segundo Teixeira e Christofolletti (1997), a heurística é um método intuitivo de tentativas para abordar um problema e chegar a uma solução final mediante aproximações sucessivas.

A métrica de *area core* se baseia na identificação do maior núcleo possível a partir de uma distância à borda. A métrica de círculo inscrito identifica o maior círculo que pode ser encaixado na mancha. (Figuras 4 a e b).

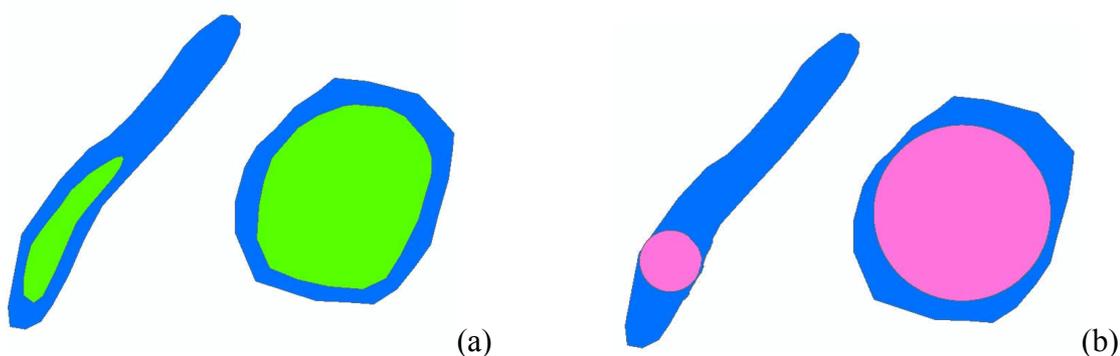
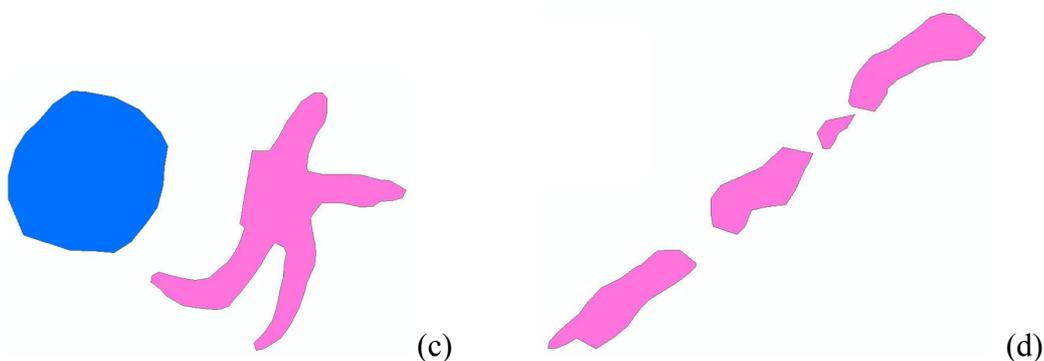


Figura 4 – (a) Relação de *area core* e (b) Relação de círculo inscrito

A métrica de relação perímetro/área tem muita relação com o efeito de borda, pois quanto maior a relação de perímetro sobre a área maior é a exposição da mancha em relação ao contexto onde ela está inserida, maior o contato das manchas urbanas com áreas que no futuro podem ser preenchidas com a ocupação. A relação de conectividade identifica a proximidade entre os fragmentos, futuras conurbações e o que é relacionado ao grau de isolamento dos fragmentos, avaliação das condições de metapopulação (intercâmbio entre fragmentos) e conectividade entre os fragmentos através de corredores e trampolins ecológicos (*stepping stones*). (Figura 4 c e d).



No presente trabalho foram calculadas as métricas de área, perímetro, círculo inscrito, contigüidade, área núcleo (*area core*), índice de área núcleo e número de áreas núcleo e relação perímetro/área (Fig 5 a Fig. 12 ).

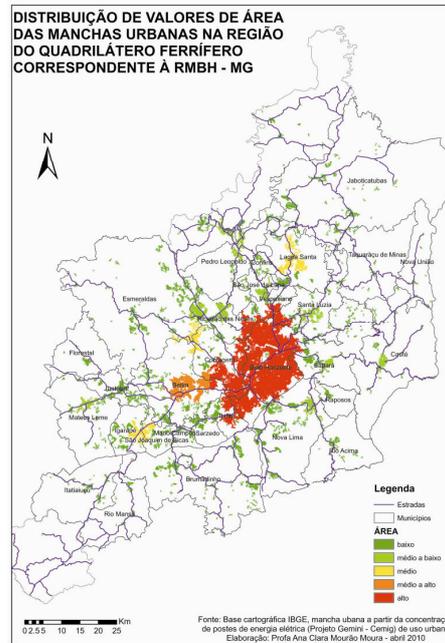


Fig. 5 – Distribuição de valores de área

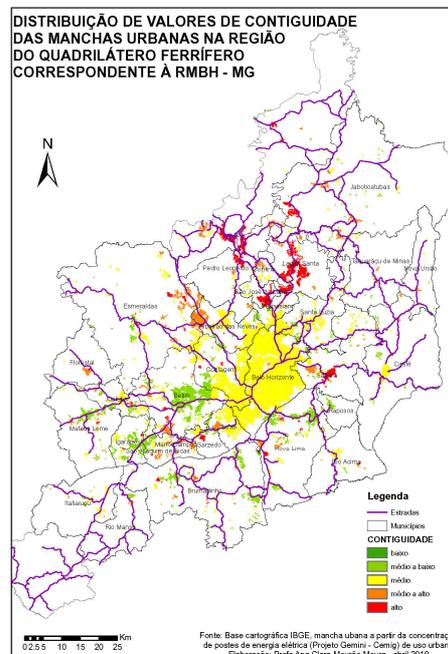


Fig. 6 – Distribuição de valores de contigüidade

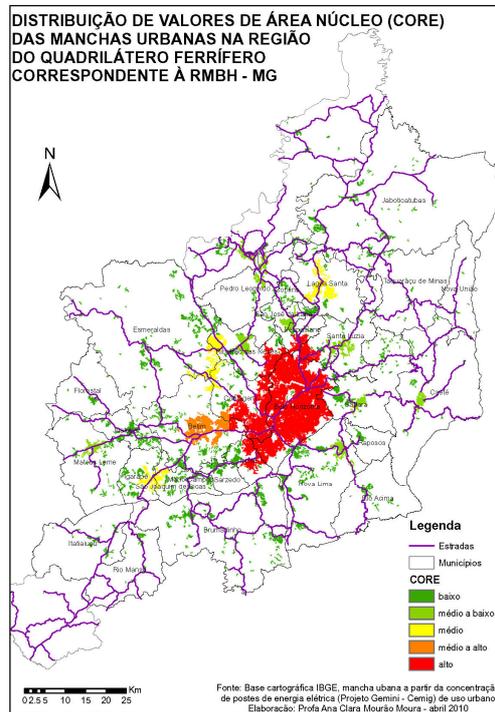


Fig. 7 – Distribuição de valores de área núcleo

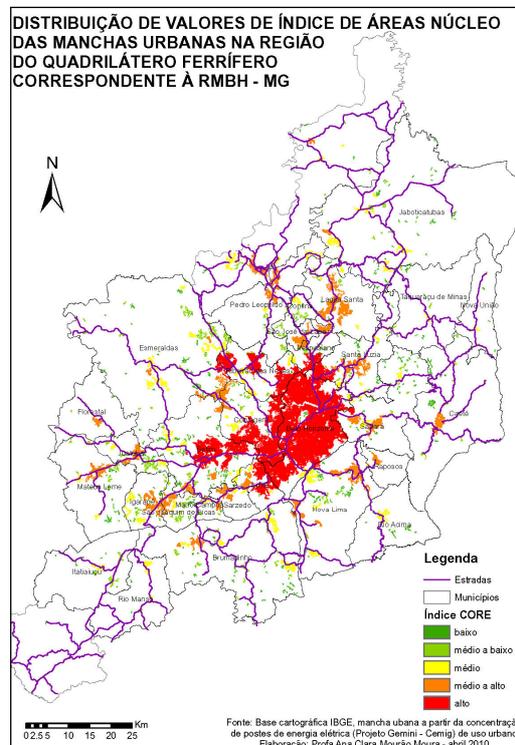


Fig. 8 – Distribuição de valores de índice de área núcleo

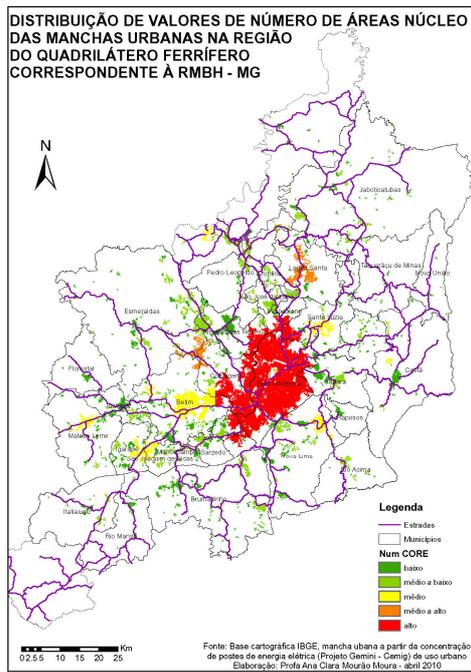


Fig. 9 – Distribuição de valores de número de área núcleo

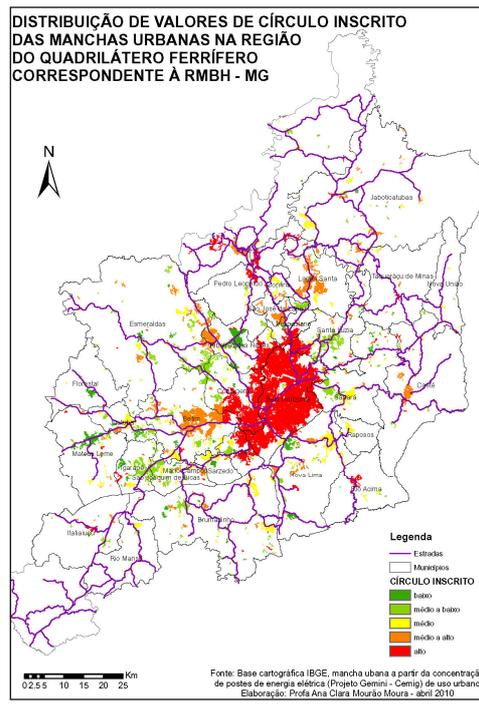


Fig. 10 – Distribuição de valores de círculo inscrito

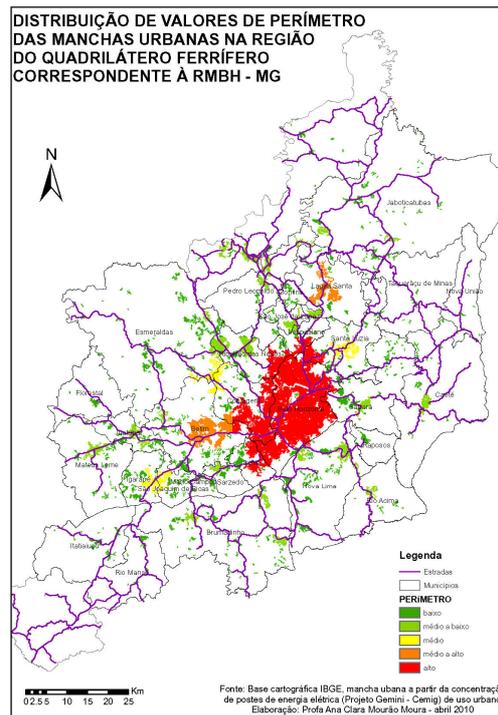


Fig. 11 – Distribuição de valores de perímetro

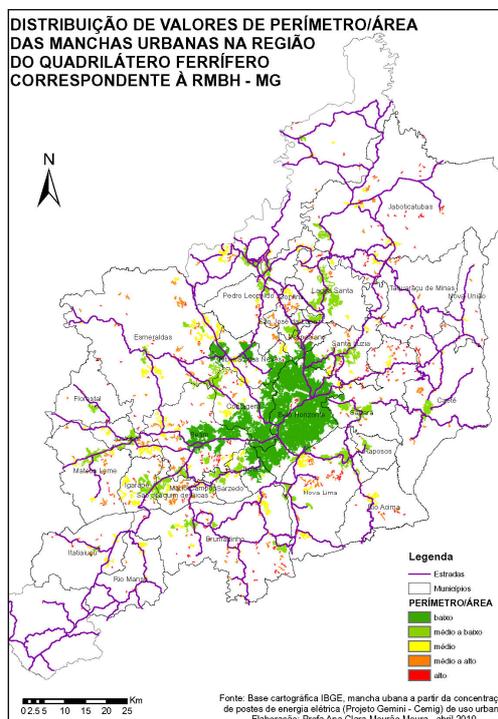


Fig. 12 – Distribuição de valores de relação perímetro/área

### **3.3 Aplicação de análise multicritérios para integração das métricas para caracterização das potencialidades das manchas urbanas**

A análise de multicritérios é um procedimento de análise espacial para síntese de variáveis, a partir da definição de valores para o processo de média ponderada, realizada por álgebra de mapas.

Segundo Moura (2003) a Análise de *Multicritérios* é um procedimento metodológico de cruzamento de variáveis amplamente aceito nas análises espaciais. Ela é também conhecida como *Análise Hierárquica de Pesos*. O procedimento baseia-se no mapeamento de variáveis por plano de informação e na definição do grau de pertinência de cada plano de informação e de cada um de seus componentes de legenda para a construção do resultado final. A matemática empregada é a simples *Média Ponderada*.

O emprego da Média Ponderada cria um espaço classificatório, ordinal, que pode ser também entendido como uma escala de intervalo. Esse processo pode também ser utilizado em escala nominal, desde que os eventos sejam hierarquizados segundo algum critério de valor. A ponderação deve ser feita por conhecedores dos fenômenos e das variáveis da situação avaliada, ou pelo conhecimento prévio de situações semelhantes. Nesse processo, a possibilidade de se ponderar de modo inadequado uma situação é o inverso do número de ponderações atribuídas.

No presente estudo foram selecionadas as métricas que respondiam, a nosso juízo, por condições de estabilidade, dinâmica e fator de influência.

A condição de estabilidade significa estar em estado de ocupação já estabelecida, com tradicional centro de atividades e conformação clara. Ela foi medida pelo tamanho da mancha e sua densidade, obtidos pela combinação das métricas de área, perímetro e área core (em pesos iguais).

A condição de dinâmica significa estar em estado de transformação, com potencial de expansão caracterizada pelas formas que avançam como tentáculos pelo território e com o tempo irão provocar adensamentos em volta desses primeiros eixos lançados. É medida pelo grau de complexidade da forma, obtida pela combinação de Perímetro/área (peso 70%), índice área core (peso 30%).

A condição de influenciar e de ser influenciado foi avaliada pelo estudo de fator de influência. O estudo se justifica porque um estudo de condições de contágio torna-se

interessantes pela interpretação intuitiva de sua probabilidade: probabilidade de uma célula tomada ao acaso de pertencer a uma dada classe; e probabilidade condicional em que, dado que a célula pertence a uma classe, uma de suas células vizinhas pertence a outra dada classe. O produto é a probabilidade de duas células adjacentes, tomadas ao acaso, pertencerem às duas dadas classes. Varia com o número, o tamanho, a contiguidade e a dispersão dos fragmentos da paisagem. No presente estudo o fator foi elaborado através da combinação das métricas de área, perímetro, círculo inscrito e contigüidade (em pesos iguais).

#### **4 RESULTADOS OBTIDOS**

A análise dos resultados deve avaliar se é apenas o fator de forma que interfere nas condições das manchas urbanas, ou se haveriam fatores físicos, geográficos, que condicionariam suas formas. Para análise desta possível realidade, construímos mapa altimétrico e nele lançamos as manchas urbanas e a infra-estrutura viária existente, com vistas a dar apoio à interpretação dos resultados (Fig. 13 e Fig. 14).

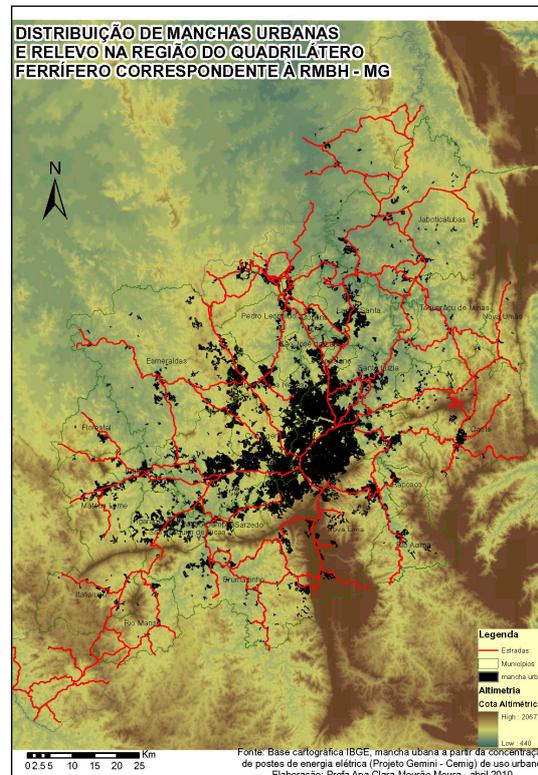


Fig 13 – Altimetria da região, manchas urbanas, divisas municipais e infra-estrutura viária.

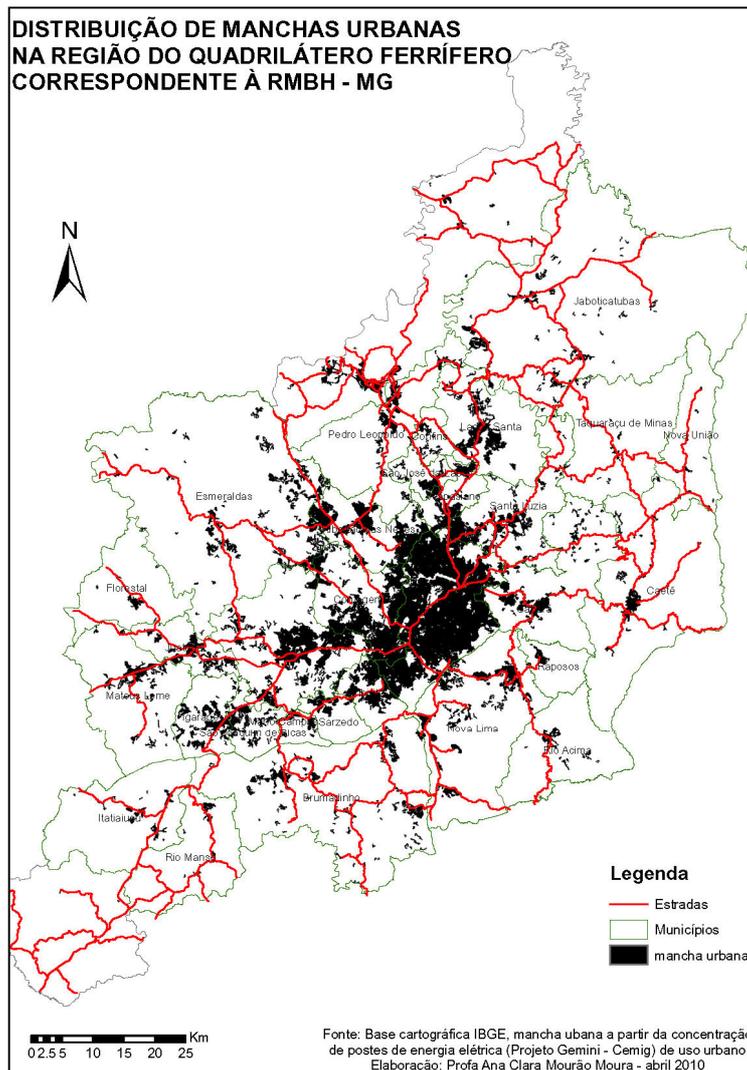


Fig. 14 – Manchas urbanas, divisas municipais, infra-estrutura viária.

#### **4.1 Fatores de Dinâmica Morfológica das manchas urbanas**

A síntese de identificação das manchas urbanas que mais apresentam condições de dinâmica da forma, e que estariam mais propensas a ações de expansão e transformação urbana em virtude de suas condições morfológicas de forma urbana, é apresentada na Fig. 15. Destaque para as manchas urbanas em cores quentes (amarelo a vermelho). Para avaliação de possíveis atritos ou impedâncias espaciais, analisados o resultado também a partir da observação das condições de relevo (Fig 16).

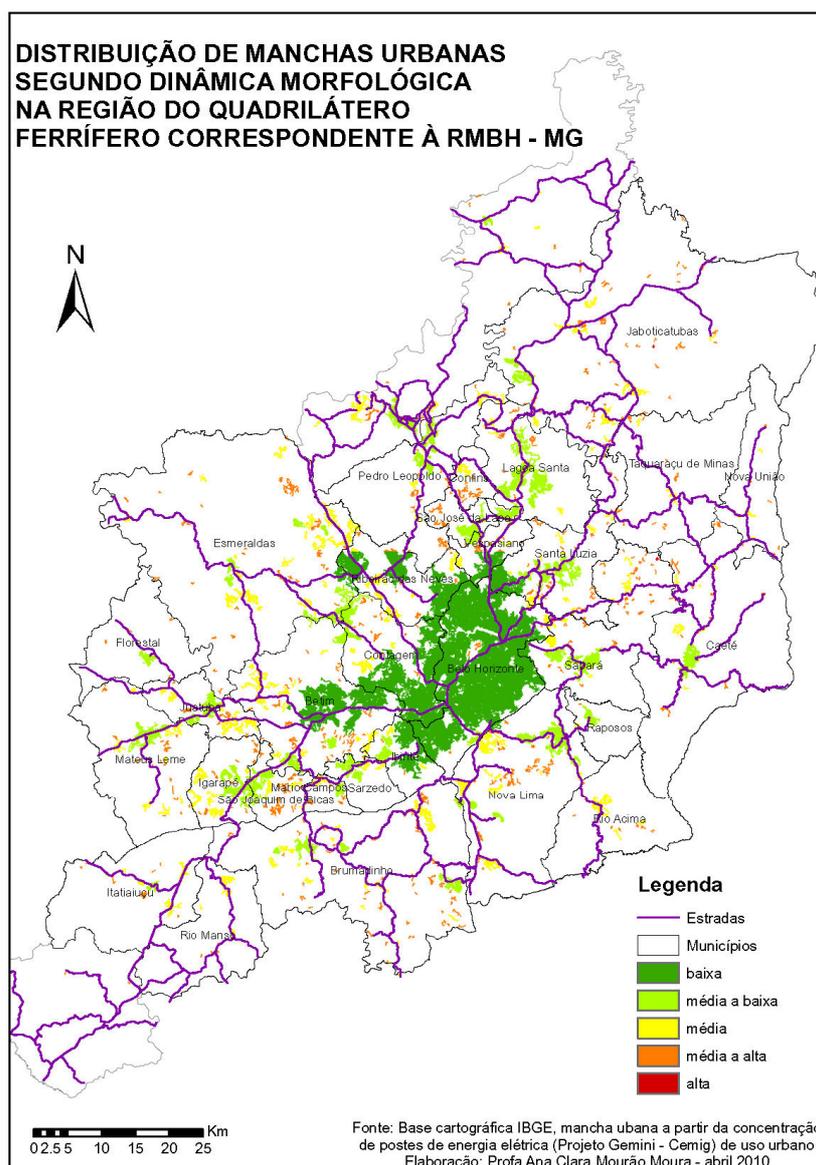


Fig. 15 – Fatores de Dinâmica Morfológica das manchas urbanas

As áreas menos dinâmicas seriam aquelas que já conformam o conjunto tradicional central da área (em verde). As áreas mais dinâmicas se desenvolvem ao longo de estradas, com destaque para regiões de Nova Lima e Brumadinho, e destaque também para o conjunto formado por Esmeraldas, Betim, Juatuba, Igarapé, Mateus Leme e São Joaquim de Bicas. Destaque especial para Confins, São José da Lapa e Nova Lima.

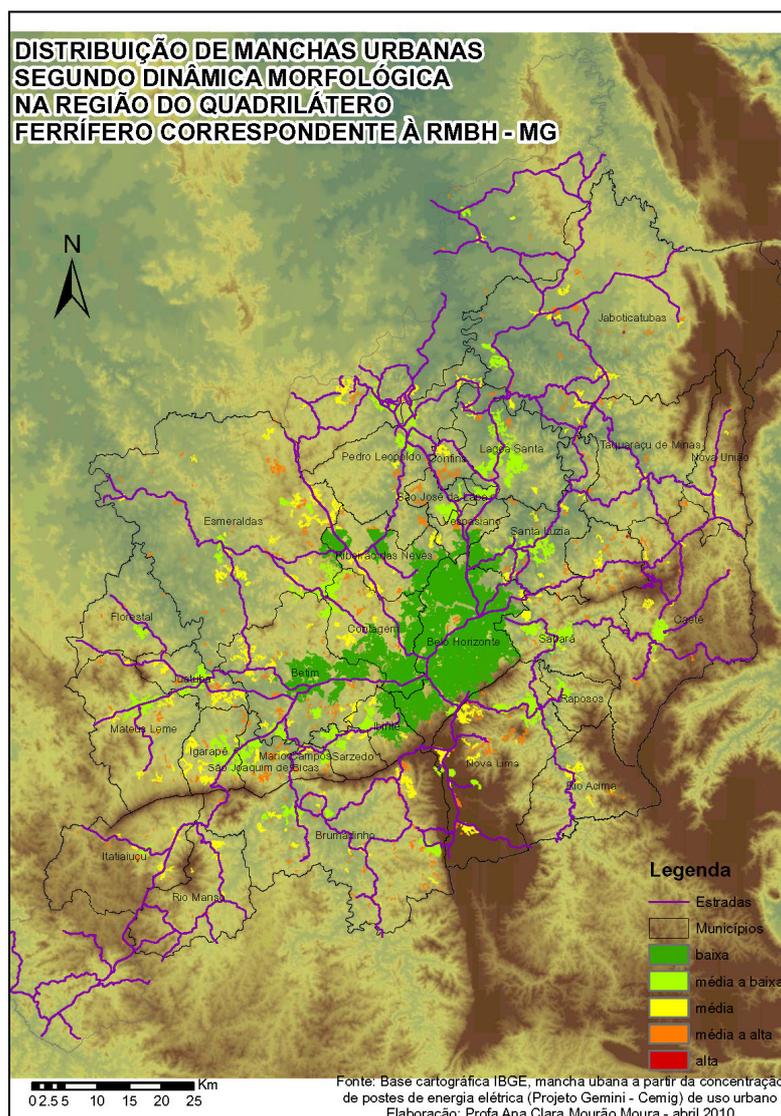


Fig. 16 – Fatores de Dinâmica Morfológica das manchas urbanas e atrito imposto pelo relevo

Quanto ao relevo, apenas Nova Lima e Brumadinho têm que enfrentar atritos espaciais para suas expansões. A única mancha de significativa estabilidade que não é conurbada com Belo Horizonte é a mancha urbana de Lagoa Santa.

#### 4.2 Fatores de Estabilidade Morfológica das Manchas Urbanas

A estabilidade morfológica indica áreas que podem ser caracterizadas como já possuidoras de uma tradição territorial, pois suas manchas já são bem estabelecidas e bem definidas na paisagem.



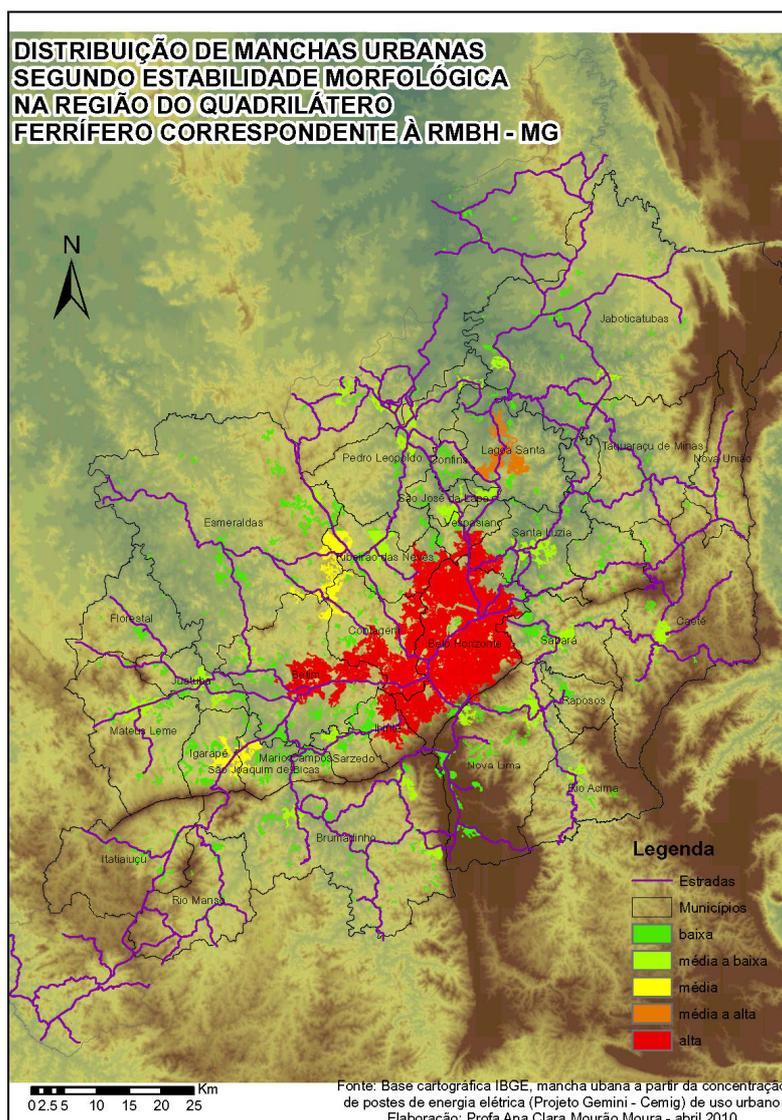


Fig. 17 – Fatores de Estabilidade Morfológica das Manchas Urbanas e conformações impostas pelo relevo.

#### 4.3 Fatores de Condições de Influenciar das manchas urbanas

O estudo dos fatores de condições de influenciar resulta na formação de eixos bastante interessantes ao longo do eixo norte (área de interesse atual dos programas do governo) seguido do eixo que liga Belo Horizonte a Betim. A grande região conurbada central é sempre um destaque, devido ao enorme fragmento conformado pela mancha urbana da capital metropolitana e suas conurbações.

Além das áreas que mais se destacam, devemos observar também as que estão em

média condição, adquirindo esse status, pois são do interesse para a identificação das centralidades (Fig 18). Observa-se que a topografia não influencia tanto na conformação dessas áreas (Fig. 19).

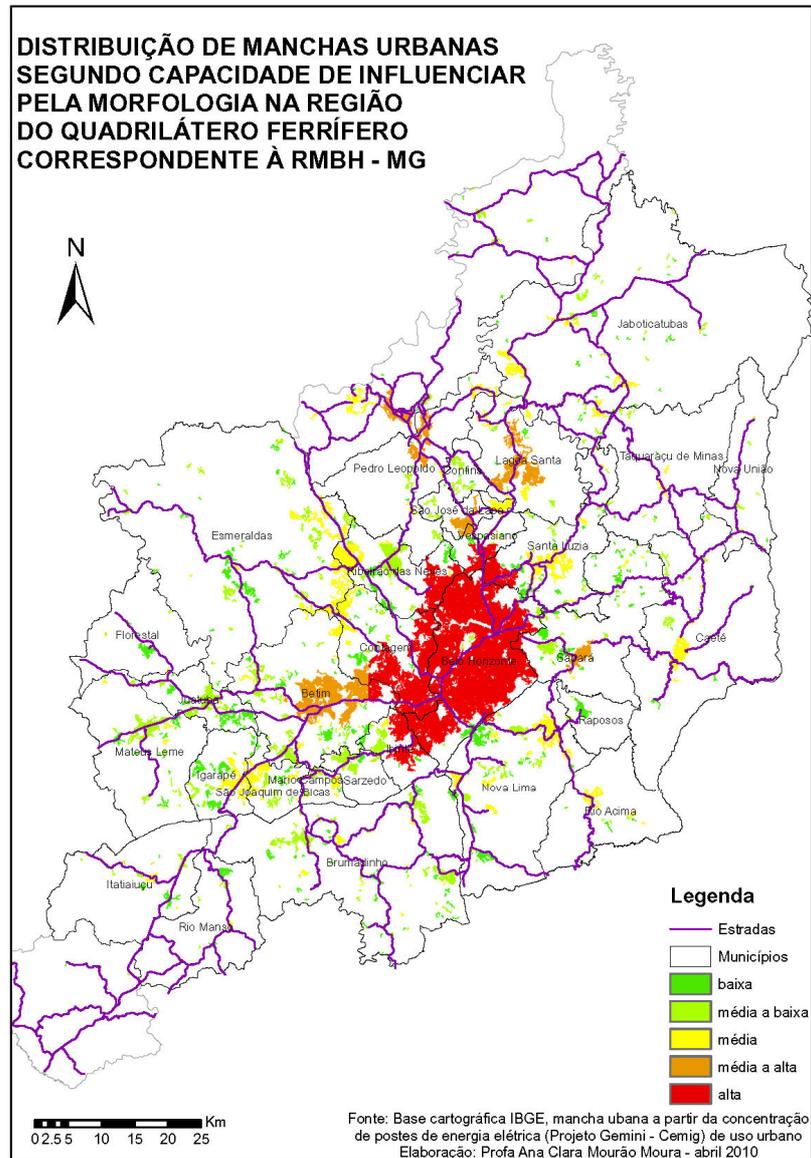


Fig. 18 – Fatores de Capacidade de Influenciar segundo condições morfológicas das manchas urbanas.



Existem alguns estudos de aplicação dessa lógica de análise espacial em pesquisas de cobertura vegetal e análise de áreas de preservação. As investigações são muito desenvolvidas na questão de biomas, condições mínimas para preservação de espécies animais e vegetais. A abordagem ainda é nova, mas é possível achar referências sobre o tema.

Contudo, para estudos urbanos é tudo muito novo. Estamos na etapa de verificar a validade da lógica e de criar referências de valores e métricas que possam ser usadas para estudos semelhantes, mediante os ajustes necessários para cada realidade espacial da ocupação antrópica.

Diante do exposto, podemos afirmar que o presente estudo cumpre plenamente seu papel de comprovar que é possível aplicar métricas de paisagem para análises das morfologias das ocupações urbanas e seus rebatimentos sobre a ocupação regional.

## **6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Christaller, W. Central Places in Southern Germany. Trad. C.W. Baskin. New Jersey: Prentice-Hall, 1966. (orig. 1933).
- Forman, R.T.T., Gordon, M. Landscape Ecology. John Wiley & Sons, New York. 1986
- Howard, Ebenezer. Cidades Jardim de Amanhã. Trad. Marco Aurélio Lagonegro. São Paulo: Hucitec, 2002. (orig. 1898).
- Lynch, Kevin. A boa forma da cidade. Trad. Jorge M. C. A. Pinho. Edições 70, Lisboa, 2007. (orig. 1981).
- Moura, Ana Clara M. Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano. Belo Horizonte, Ed da autora, 2003.
- Nascimento, Jaqueline Serafim. Estudo da paisagem como base para o desenvolvimento e monitoramento de estratégias de conservação, com uso de análise multicriterial, em ambiente SIG, no mosaico de unidades de conservação da Serra do Cipó: MG. Dissertação de Mestrado em Geografia – IGC – UFMG, 2010.
- Teixeira, Amandio Luís de Almeida, Christofolletti, Antônio. Sistemas de Informação Geográfica – Dicionário Ilustrado. São Paulo, Editora Hucitec, 1997, p. 131.

## **7 Agradecimentos**

Agradecemos à valiosa colaboração da CEMIG, pela concessão de dados do projeto GEMINI para as investigações do PDDI – Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Agradecemos às alunas Jaqueline Serafim Nascimento e Junia Borges pela companhia nas investigações sobre o uso do software Fragstats.