

**UNIVERSIDADE:** Universidade Federal do Paraná/Setor de Ciências da Terra  
**NUCLEO DISCIPLINAR:** Sensoriamento Remoto e Meteorologia Aplicada  
**TÍTULO DO TRABALHO:** USO DOS FRACTAIS NA ANÁLISE DA  
**FRAGMENTAÇÃO DE UMA CENA URBANA ATRAVÉS DE IMAGEM DE ALTA  
RESOLUÇÃO**

**AUTORES :** Graziella Valença de Souza; Prof. Dr. Jorge Silva Centeno (Orient.)

**E-MAIL DOS AUTORES:** [regan.gra@gmail.com](mailto:regan.gra@gmail.com) ; [centeno@ufpr.br](mailto:centeno@ufpr.br)

**PALAVRAS-CHAVE:** Padrões de cena urbana. Fragmentação. Análise fractal.

**PALABRAS CLAVES:** Padrones de escena urbana. Fragmentación. Análisis fractal.

## 1. INTRODUÇÃO

Imagens de satélite de alta resolução espacial fornecem informações detalhadas sobre as cidades, o que possibilita a análise de características espaciais orientada a objeto, superando as limitações da abordagem do pixel no processo de classificação (MACHADO e CAETANO, 2004).

Resultantes do processo de segmentação da imagem, os objetos são homogêneos, representados de forma consistente e reproduzível (BAATZ e SCHÄPE, 1999), porém com formas bastante complexas, o que a Geometria Euclidiana Clássica não consegue descrever adequadamente através de formas simples como retas, planos, esferas e cubos.

Formas geométricas de grande complexidade, denominadas fractais, são caracterizadas e explicadas pela Geometria Fractal, cujas três características fundamentais são auto-semelhança em diferentes níveis de escala, dimensão fractal e sua complexidade infinita (BACKES e BRUNO, 2005).

Este trabalho apresenta um estudo que utiliza fractais para analisar uma cena urbana da cidade de Curitiba – PR.

O objetivo foi, através de uma imagem segmentada e classificada *Quickbird pan-sharpened*, encontrar parâmetros que possam ser utilizados para o estudo da cena urbana. O objetivo específico foi verificar a aplicação da dimensão fractal (D) e do parâmetro de Pareto (a) para as diferentes classes na área de estudo e a relação entre eles.

## 2. ÁREA DE ESTUDO E MATERIAIS

A área de estudo está localizada no estado do Paraná, no município de Curitiba, bairro Jardim das Américas.

A Empresa TESE (Tecnologia em Sistemas Espaciais) forneceu duas imagens no sistema *Quickbird*, geo-referenciadas, datadas de 06 de março de 2002, sendo uma pancromática com resolução espacial de 0,70m, corrigida geometricamente, e outra multiespectral, com

resolução espectral de 4 bandas e resolução espacial de 2,8m. A inclinação do sensor é de aproximadamente 15°.

O desenvolvimento deste trabalho se fez com os *softwares* Envi® 4.2 para a correção geométrica e fusão das imagens; eCognition® 3.2 para a segmentação, classificação e cálculo das áreas e perímetros; MSEXcel® 2003 para cálculo da Dimensão Fractal e Parâmetro de Pareto e Matlab® 6.5 para execução dos gráficos.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Correção Geométrica

A correção geométrica foi realizada através do *software* ENVI® 4.2 na imagem multiespectral com base na imagem pancromática, já corrigida anteriormente.

Foram escolhidos cuidadosamente 13 pontos de controle bem distribuídos na imagem, realizando a correção com um RMS de 0,6.

#### 3.2 Fusão das imagens

A fim de obter uma imagem com uma resolução espacial de 0,70m em uma composição com alta resolução espectral (4 bandas), foi realizada a fusão entre as imagens pancromática e multiespectral, através do Método das Componentes Principais.

No *software* ENVI® 4.2 através do Interpolador Bilinear, a imagem multiespectral foi reamostrada, obtendo a mesma resolução espacial da imagem pancromática.

O processo de fusão das imagens por Componentes Principais foi constituído por três etapas:

- Transformação direta da imagem multiespectral reamostrada no sistema RGB;
- Como a primeira componente (principal) é a que possui o maior número de informações, esta foi substituída pela banda pancromática, a fim de enriquecer os detalhes da imagem multiespectral;
- Transformação inversa para retornar a imagem ao sistema de cores original resultando na imagem híbrida.

Este processo apresenta algumas perdas nas características espectrais, pois na segunda etapa é eliminada informação espectral para poder inserir informação espacial (MIQUELES e CENTENO, 2005).

#### 3.3 Segmentação

A obtenção das características espaciais orientada a objetos é executada em duas etapas: a segmentação e a classificação.

O processo de segmentação de imagens tem por objetivo dividir uma imagem em unidades homogêneas, considerando algumas de suas características intrínsecas como, por exemplo, a uniformidade espectral dos *pixels*, sua textura e contraste (WOODCOCK et al, 1994).

O critério de homogeneidade é uma combinação de parâmetros de cor e forma, em termos de suavidade e compactação dos objetos de imagem, na qual a aplicação de diferentes combinações dos vários parâmetros permite a criação de uma rede hierárquica de objetos de imagem (DARWISH et al, 2003).

A formação de regiões é controlada por um parâmetro, denominado parâmetro de escala (*scale parameter*), que é o resultado da combinação de dois fatores que descrevem a uniformidade em termos espaciais e espectrais das regiões formadas (MIQUELES e CENTENO, 2005).

Através da imagem híbrida e utilizando as bandas (4,3,2), o parâmetro de escala escolhido para este trabalho apresenta o valor 20 que foi o qual apresentou melhores resultados na segmentação. De acordo com as características da região, o parâmetro de forma foi definido como 70% e, conseqüentemente, o parâmetro de cor em 30%. A compacidade do contorno, que é o índice de suavização das bordas, ficou com valor 0,5. Todos estes valores foram obtidos experimentalmente.

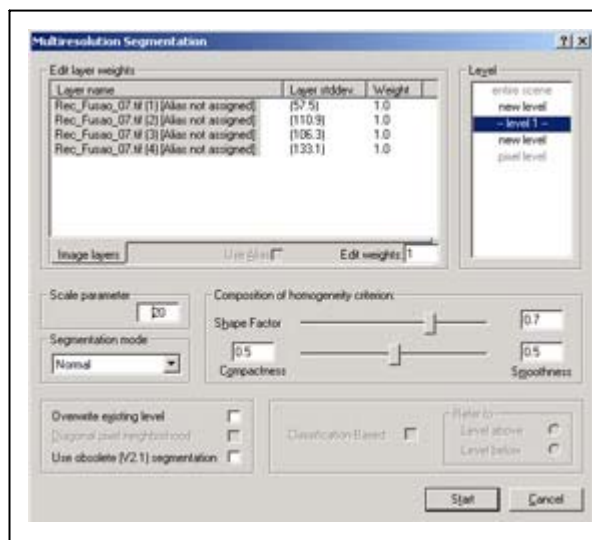


Figura 1: Configuração dos parâmetros de segmentação.

### 3.4 Classificação

A definição das classes foi feita com base nas feições existentes na imagem, sendo definidas quatro classes:

- Edificação;
- Vegetação;
- Vias;
- Sombras;

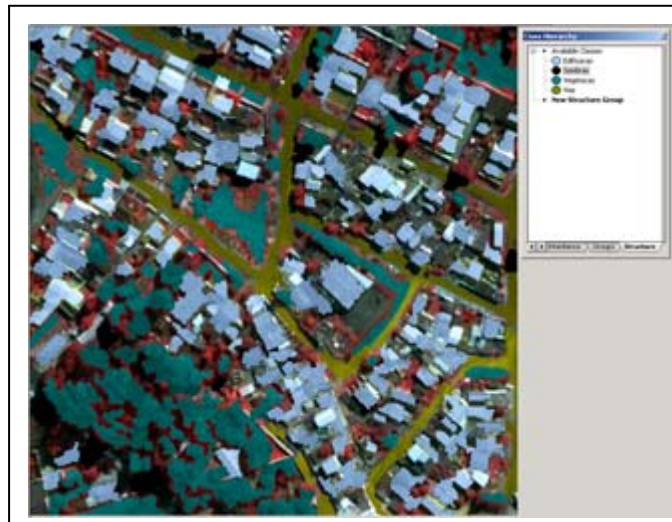


Figura 2: Classificação da imagem segmentada.

Após este processo, os dados foram exportados e neles constam o perímetro e a área de cada segmento, calculados pelo próprio eCognition®, utilizados nos cálculos do índice de dimensão fractal ( $D$ ) e parâmetro de Pareto ( $a$ ).

### 3.5 Dimensão Fractal

O índice de dimensão fractal é o número que representa o nível de irregularidade de um fractal.

A dimensão fractal transcende o espaço euclidiano (MANDELBROT, 1983). Os valores da dimensão fractal ( $D$ ) completam a dimensionalidade da representação clássica em números inteiros (PEITGEN et al, 1992).

De modo genérico podemos dizer (CHRISTOFOLETTI, 1999):

- Valores fractais entre 0 e 0,99 correspondem a estruturas com base em pontos;
- Valores fractais entre 1 e 1,99, correspondem a estruturas espaciais de lineamentos;
- Valores fractais entre 2 e 2,99 correspondem a estruturas espaciais de fenômenos que incluem informações volumétricas.

Para o cálculo da Dimensão fractal, foi usado o método baseado em entidade discreta que relaciona perímetro e área, proposto por Clark (1986) apud Lan e De Cola (1993) e pode ser expresso por (AZEVEDO, 2003):

$$D = \ln P / \ln (A^{1/2} * 100)$$

onde:

D = dimensão fractal;

P = perímetro;

A = área

Este método baseia-se na relação da variação da forma do fragmento de acordo com sua área.

### 3.6 Parâmetro de Pareto

O parâmetro de Pareto é calculado a partir da relação entre o segmento e seu grau. Para determinação do grau de cada fragmento, para cada classe, o segmento com maior área recebeu grau 2, o segundo maior grau 3 e assim sucessivamente até o último.

O cálculo realizado é estimado pelo modelo linear (DE COLA, 1989):

$$\ln (s_j) = a - b \ln (r_j)$$

onde:

$s_j$  = área do fragmento j;

a = parâmetro de Pareto na forma linearizada;

b = coeficiente;

$r_j$  = grau do segmento j

## 4. RESULTADOS

Após os cálculos da dimensão fractal (D) e do parâmetro de Pareto (a), foi analisado o número de *pixels* e o número de fragmentos de cada classe a fim de representar o percentual com que cada classe aparece na imagem, como mostra a tabela a seguir:

Classe	Imagem (%)	Segmentos (%)	D	a
Edificação	14	209	1,14	17,15
Sombras	13	156	1,20	17,33
Vegetação	46	700	1,24	16,94
Vias	27	333	1,28	17,31

Tabela 1: Dimensão fractal e parâmetro de Pareto para cada classe urbana.

### 4.1 Análise da dimensão fractal (D)

A classe edificação, apresentou o menor índice de dimensão fractal 1,14, muito próximo do valor 1, pois seus segmentos possuem a forma sem muita complexidade, próximo a uma forma regular.

A classe das sombras apresenta um índice de dimensão fractal próximo a 1 também, porém, maior que o da classe edificação, pois na imagem temos basicamente sombras de edificações (formas próximas às regulares) e também de árvores (formas complexas).

A classe vegetação já possui um índice de dimensão fractal maior que o das sombras, como era previsto, por apresentar maior complexidade em sua forma e não possui segmentos regulares em sua constituição. Os segmentos de vegetação, geralmente, apresentam o maior índice fractal da imagem.

As vias são compostas de formas regulares devendo apresentar um índice de dimensão fractal próximo ao valor 1, como a classe das edificações. Porém como a imagem utilizada apresenta vias arborizadas, com ocorrência de muitas sombras ao longo de seu percurso, os segmentos que representam esta classe tornaram-se mais complexos, apresentando um maior índice de dimensão fractal.

#### 4.2 Análise do parâmetro de Pareto (a)

A classe das sombras apresenta o maior valor do parâmetro de Pareto,  $a=17,33$ , demonstrando que possui uma menor quantidade de segmentos, porém mais extensos.

A classe das vias, também possui segmentos extensos apresentando o valor  $a = 17,31$ .

A classe edificação, apresenta o valor  $a=17,15$  mostrando que seus segmentos já são de menor tamanho, porém o menor valor do parâmetro de Pareto fica com a classe vegetação, onde  $a = 16,94$ , mostrando que para cobrir uma mesma área que a sombra, por exemplo, precisa de uma quantidade maior de segmentos, pois estes são os de menor tamanho na imagem.

#### 4.3 Análise fractal

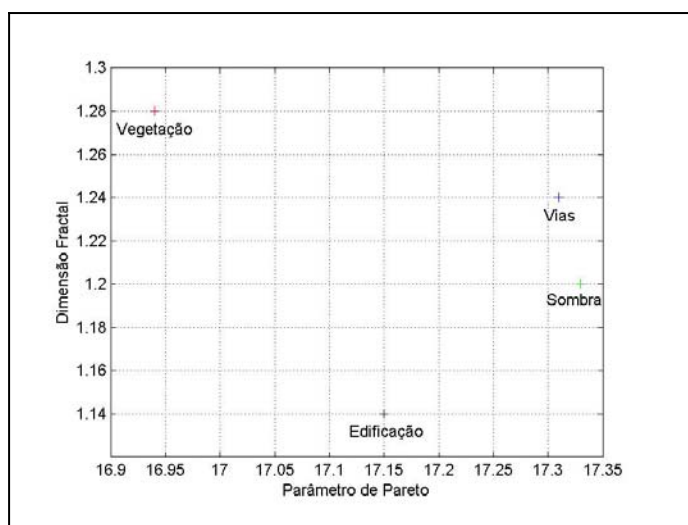


Gráfico 1: Análise fractal – dimensão fractal x parâmetro de Pareto

Para uma análise fractal completa, o gráfico acima foi gerado, a fim de verificar a distribuição das classes de acordo com sua forma (dimensão fractal) e dimensão (parâmetro de Pareto) pela cena urbana.

A classe vegetação apresenta uma grande quantidade de pequenos segmentos de forma complexa distribuídos pela imagem.

A classe edificação também apresenta uma quantidade de pequenos segmentos, porém com formas mais regulares distribuídas pela imagem.

As classes vias e sombras encontram-se em menor número em distribuição, porém ocupam uma área representativa por apresentarem os segmentos de maior extensão.

## 5. CONCLUSÃO

Uma cena urbana foi segmentada e classificada em quatro classes, utilizando uma imagem *Quickbird pan-sharpened*.

O processo de segmentação deve ser bem elaborado, pois a partir dele, são gerados os segmentos que irão ser classificados e analisados pela Geometria Fractal. Caso esta etapa não seja definida com exatidão, haverá um comprometimento nos resultados. Durante a execução deste trabalho, houve uma grande dificuldade de conseguir segmentar adequadamente a imagem, pois em uma cena urbana, encontramos uma heterogeneidade de formas e cores, o que dificulta também o processo de classificação, principalmente em relação aos índices espectrais, pois há telhados de construções de infinitas cores, vias que são confundidas com lajes de construções, árvores que aparecem muito próximas a construções, impedindo estas sejam tomadas em seu tamanho real, entre outros fatores, por isso a classificação feita foi com uma grande número de amostras na região de treinamento, para evitar ao máximo confusão entre classes.

Os índices de dimensão fractal ( $D$ ) e o parâmetro de Pareto ( $a$ ) calculados podem ser usados separadamente, sendo que a dimensão fractal exprime o comportamento do formato dos segmentos e o parâmetro de Pareto demonstra o tamanho destes segmentos.

Os resultados mostraram que a classe com maior índice fractal (vias) obteve este índice devido a constituição da imagem em questão, apresentando segmentos mais complexos, com formas muito irregulares, sendo que o esperado era que a classe vegetação apresentasse o maior índice. Este fato prova que, conforme varia a informação na imagem, a geometria fractal continua fazendo uma boa análise desta variação, constituindo uma boa fonte para interpretação de imagens.

Já com menor índice de dimensão fractal, a classe edificação apresenta formas geométricas definidas, próximas a quadrados, retângulos e triângulos, por isso seu índice muito próximo ao valor 1 (que é o índice de dimensão fractal do quadrado).

Já em relação ao parâmetro de Pareto, a classe que apresentou o maior índice, classe sombra, obteve este resultado por apresentar segmentos extensos, os quais em menor quantidade cobrem uma área maior, enquanto a classe vegetação, possui o menor índice, sendo constituída por um número expressivamente maior de pequenos segmentos porém pouco extensos, sendo que, se fosse feito um comparativo, utilizando a mesma quantidade de segmentos de sombra e vegetação, a área coberta pelos segmentos de sombra seria maior.

A observação em relação a classe vias para o índice de dimensão fractal também cabe na análise do parâmetro de Pareto. Caso as vias estivessem mais regulares, sem sombras em seu percurso, este índice apresentaria um valor maior pois esta classe apresentaria segmentos mais extensos, necessitando de uma quantidade menor de segmentos para cobrir a mesma área.

A distribuição entre as relações espaciais (forma e tamanho) é demonstrada no gráfico onde os dois índices são plotados, verificando a distribuição das classes pela cena urbana.

## 6. REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Thiago Salomão de. Análise Espaço Temporal da Dimensão Fractal de Matas Ciliares na Alta Bacia do Rio Passa Cinco – Centro Leste do Estado de São Paulo. Rio Claro: UNESP, 2003.

BAATZ, M; SCHAPE, A. Object-Oriented and Multi-Scale Image Analysis in Semantic Networks. Proceedings of the 2nd Int. Symposium on Operationalization of Remote Sensing. Netherlands: Enschede, 1999.

BACKES, André Ricardo; BRUNO, Odemir Martinez. Técnicas de Estimativa da Dimensão Fractal: Um Estudo Comparativo. Lavras: UFLA, 2005.

CHRISTOFOLETTI, Anderson. Modelagem de sistemas ambientais. Rio Claro: Edgar Blücher, 1999.

DE COLA, Lee. Fractal Analysis of Classified Landsat Scene. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. V.55, n.5, p.601-610, 1989.



MACHADO, Filipa; CAETANO, Mário. Detecção de Alterações de Ocupação do solo com uma abordagem orientada por objetos. Lisboa: IGP, 2004.

MANDELBROT, Benoit. The fractal geometry of nature. San Francisco: Freeman, 1983.

MIQUELES, Máximo; CENTENO, Jorge. Extração de edificações em ambientes urbanos utilizando imagem de alta resolução e dados do laser scanner. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, 4155-4162, Abril, 2005. Disponível em <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.12.50/doc/4155.pdf>>. Acesso em: 15/jun/2006.

PEITGEN, Heinz-Otto; JÜRGENS, H.; SAUPE, D. Fractals of the Classroom. Part One: Introduction to Fractals and Chaos. New York: Printer-Verlag, 1992.

WOODCOCK, C. E., COLLINS, J., GOPAL, S., et al. Mapping and forest vegetation using Landsat TM imagery and a canopy reflectance model. San Jose: Remote Sensing Environment, 1994.

DARWISH, A., K. LEUKERT & W. REINHARDT, 2003. Image Segmentation for the Purpose of Object-Based Classification. Neubiberg: Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. Disponível em < [http://www.definiens.com/pdf/publications/FR07\\_1420.PDF](http://www.definiens.com/pdf/publications/FR07_1420.PDF)>. Acesso em: 18/jun/2006.