

## Determinação da estrutura biofísica da vegetação ribeirinha através de técnica de segmentação, análise de textura de imagem e modelagem estatística

Thiago Alencar-Silva<sup>1</sup>  
Philippe Maillard<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Minas Gerais - UFMG/IGC  
Av. Antônio Carlos, 6627 - 31270-901 – Belo Horizonte - MG, Brasil  
thiago-alencar@ufmg.br, philippe@ufmg.br

**Abstract.** Riparian forests play an important role in the ecological balance of river ecosystems. Given the narrow nature of these environments, medium resolution sensors have limited use. Conversely, products obtained from high-resolution images have wide applications in riparian forest studies. The objective of this study is to describe a methodology for delineating riparian areas and extracting their biophysical parameters from an Ikonos-2 scene. The methodology is divided into two stages. Firstly, the image is segmented into a riparian forest class and non-riparian classes using a segmentation algorithm and a river-based buffer. The segmentation package MAGIC was used to separate the riparian forest zones from the rest. In the second phase, texture features derived from the co-occurrence matrix were used to estimate the biophysical parameters of the riparian forest. Allometric measurements were made in 70 plots of riparian area from both sides of the Pandeiros River. These plots were used to calibrate our models based on spectral and texture parameters. The forest structure variables included height, diameter at breast height, basal area, stem density, volume, canopy openness and leaf area index, which were acquired by direct measurements in the field. The results show that MAGIC segmented the riparian environment with an accuracy of more than 85% when compared with the map obtained by visual image interpretation. The best results for modeling riparian structure were obtained respectively for volume and basal area ( $R^2=0.66$  and  $R^2=0.61$ ) using Angular Second Moment, Entropy, Infrared band, distance analysis of four pixels and a window of  $11 \times 11$  pixels.

**Palavras-chave:** mata ribeirinha, processamento digital de imagem, MAGIC, GLCM, regressão múltipla, riparian forest, digital image processing, MAGIC, GLCM, multiple regression.

### 1. Introdução

As zonas ribeirinhas desempenham importantes funções ecológicas na paisagem. Estas funções são essenciais para o abastecimento e conservação dos cursos d'água de uma bacia hidrográfica, além da manutenção da flora e fauna local. O ambiente ribeirinho está presente em vários ecossistemas e apresenta-se de forma complexa e variada, resultado das interações locais entre vários elementos: clima, geologia, condições edáficas, topografia, hidrologia e vegetação limítrofe. Dessa forma, as características da vegetação ciliar refletem as características do mosaico ambiental de onde ela se encontra.

O mapeamento da zona ribeirinha a partir do sensoriamento remoto é dificultado devido à estreita seção transversal deste ambiente (Muller, 1997). O mapeamento dessas áreas e seus parâmetros biofísicos é um desafio que tem motivado muitos autores (Nagler *et al.*, 2001; Johansen e Phinn, 2006b). Estudos anteriores mostraram que as imagens de média resolução espacial (Landsat-TM e ETM) possuem limitações no mapeamento de ambientes estreitos, tais como zonas ribeirinhas (Congalton *et al.*, 2002; Johansen e Phinn, 2006a). Além disso, a alternativa de usar imagem de alta resolução (Ikonos, Quickbird), tem se tornado cada vez mais acessível nos últimos anos.

A abordagem mais comumente aplicada para mapear áreas ciliares com imagens de alta resolução espacial é a classificação da imagem. Estudos realizados por Davis *et al.* (2002) e Johansen e Phinn (2006a) mostraram um ganho significativo de precisão na classificação das zonas ribeirinhas ao usar os parâmetros de textura no processo.

Aproveitando os conhecimentos geográficos de que a mata ciliar acompanha o rio, zonas-tampão podem ser usadas como uma forma de aperfeiçoar o processamento de imagem. Este processo foi realizado com sucesso em ambiente de vereda (Maillard *et al.*, 2008). Embora

dados de imagem de alta resolução mostrem-se valiosos para delinear zonas ribeirinhas, os métodos tradicionais de extração de informação baseada no pixel oferecem baixa precisão. Por outro lado, a segmentação de imagens usando os Campos Aleatórios de Markov produziu resultados satisfatórios em uma variedade de aplicações, tais como a restauração e segmentação de imagens (Tso e Mather, 2001).

A mera delimitação das zonas ribeirinhas é insuficiente para se avaliar o estado de conservação deste ambiente. A incorporação de dados biofísicos no processo se faz necessária. Os dados biofísicos podem ser adquiridos em incursões de campo que visam o levantamento de parcelas na vegetação ribeirinha para a extração de parâmetros alométricos. Estes parâmetros podem ser utilizados, de forma indireta, na estimativa dos parâmetros biofísicos de uma fisionomia vegetal, tais como: altura, diâmetro na altura do peito, área basal, volume, abertura do dossel, diversidade de espécies, índice de área foliar entre outros.

Após adquiridos, estes dados podem ser correlacionados com dados espectrais e de textura de uma imagem. Esta relação ocorre de forma estatística e o resultado é a criação de modelos de previsão de parâmetros biofísico da vegetação ribeirinha para uma determinada paisagem. Estes modelos podem sofrer uma inversão com o objetivo de se mapear e inventariar outras regiões semelhantes a partir de imagens de satélites.

O objetivo desta pesquisa é descrever uma metodologia para delimitar as áreas ribeirinhas e extrair seus parâmetros biofísicos a partir de uma cena de alta resolução Ikonos-2 e dados alométricos obtidos em campo.

## 1.2 Área de Estudo

A área de estudo está situada nas margens do Rio Pandeiro, no norte do estado de Minas Gerais. O rio Pandeiros é afluente da margem esquerda do Rio São Francisco e possui uma área de drenagem total de 3.921,00 km<sup>2</sup> (Figura 1).

A altitude da bacia varia entre 450 a 850 metros, sendo a maior parte constituída por uma topografia plana. A cobertura pedológica é arenosa proveniente da formação geológica Urucuia. A declividade é baixa com variação de 0 a 10° em mais de 80% da bacia. O clima é semi-árido com aproximadamente 900mm de precipitação anual e temperatura média superior a 25°C. A precipitação varia de 124mm por mês entre outubro e abril a 2mm entre maio e setembro. O sítio de análise desta pesquisa consiste em uma área de 1,2km<sup>2</sup> de uma região ligeiramente meandrante do médio curso do Rio Pandeiros (Figura 2).

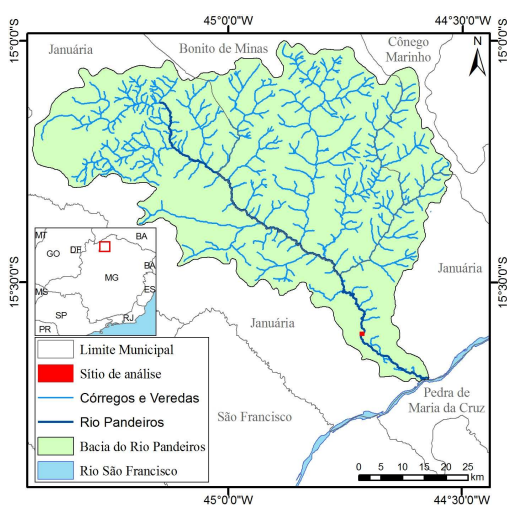


Figura 1: Localização regional da bacia do Rio Pandeiros.

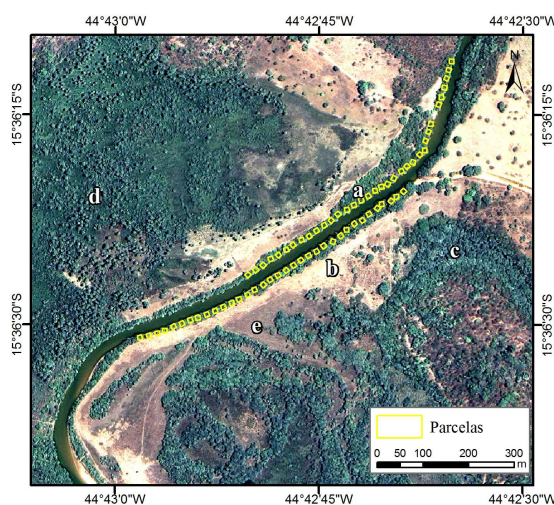


Figura 2: Imagem Ikonos-2 (rgb = 3,2,1) do sítio de análise: (a) vegetação ribeirinha, (b) solo exposto, (c) cerrado sentido restrito, (d) vereda e (e) campo sujo.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1 Trabalho de Campo

O primeiro trabalho de campo foi realizado em fevereiro de 2008 com a finalidade de demarcar as parcelas e coletar dados alométricos. Neste campo, 70 parcelas foram levantadas pelo laboratório de Ecologia e Propagação Vegetal da Universidade de Montes Claros – UNIMONTES (Figura 2). Todas as parcelas são de 10x10m e são paralelas e distantes em 3m da margem do Rio Pandeiros. Entre todas as parcelas há sempre um espaço de 10m, exceto em áreas muito degradadas para serem consideradas matas ribeirinhas (ex: solo exposto e pastos). As parcelas de 1 a 35 foram locadas na margem esquerda, enquanto as parcelas de 36 a 70 na margem direita. A área total inventariada é de 7.000m<sup>2</sup>.

Em cada parcela as medidas alométricas de altura e circunferência na altura do peito (CAP) foram obtidas para todos os indivíduos arbóreos. Arbustos e estrato herbáceos foram desconsiderados. Além disto, fotos hemisféricas foram retiradas de cada parcela para posterior cálculo de abertura do dossel e índice de área foliar. No total, sete parâmetros biofísicos foram derivados a partir dos dados coletados: (i) altura; (ii) diâmetro na altura do peito (DAP); (iii) área basal; (iv) volume; (v) densidade; (vi) abertura do dossel e (vii) índice de área foliar (IAF).

O segundo e o terceiro trabalhos de campo foram realizados em janeiro de 2009 e abril de 2010 para obter pontos de controle com o auxílio de um GPS. Estes pontos de controle foram usados no processo de correção geométrica da imagem Ikonos e para o georreferenciamento de cada parcela.

### 2.2 Aquisição e Pré-processamento de Imagem

A imagem Ikonos-2 utilizada neste estudo foi fornecida pelo Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais. A cena foi adquirida com as bandas multispectrais (vermelha, verde e azul = 4m) e pancromática (1m) já fusionadas em uma resolução espacial de 1m. O imageamento da cena ocorreu em setembro de 2007 durante a estação seca, e apresenta boa visibilidade (Figura 2). A imagem foi corrigida geometricamente e georreferenciada no sistema UTM através da interpolação bilinear. O erro médio quadrático (RMSE) da correção geométrica foi menor do que 1 metro. Não houve nenhuma correção radiométrica por se tratar de uma única cena.

### 2.3 Processamento de Imagem

O processamento de Imagem envolve 4 etapas: (i) modelagem cartográfica, (ii) segmentação da imagem, (iii) cálculo das feições de textura e (iv) modelagem estatística.

#### 2.3.1 Modelagem Cartográfica

A modelagem cartográfica consistiu em utilizar os conhecimentos geográficos para "limitar" a busca de áreas com uma forte probabilidade de pertencer à vegetação ribeirinha (Maillard *et al.*, 2008). Este método evita a confusão entre a vegetação ribeirinha e as demais classes de vegetação presentes na área de estudo, tais como: áreas de vereda e de cerrado. Este processo também foi adotado como forma de otimizar o tempo nas etapas seguintes de processamento.

Para isso, as margens do rio Pandeiros foram digitalizadas tendo como base a própria imagem Ikonos-2 corrigida geometricamente. Em *software* específico foi construído um buffer (zona tampão) utilizando o vetor das margens. Nesta etapa da pesquisa adotou-se o valor de 100m a partir de cada margem do rio para a construção do buffer. Este valor foi adotado, sabendo-se que a largura da vegetação ribeirinha na área de estudo está abaixo desta distância. O vetor da zona tampão foi sobreposto na imagem e foi utilizado para eliminar partes da cena que não pertenciam ao mesmo. A imagem resultante é utilizada no processo de

segmentação, o qual se encarrega de encontrar duas classes: vegetação ribeirinha e não-vegetação ribeirinha.

### 2.3.2 Segmentação da Imagem

A vegetação ribeirinha foi primeiramente interpretada de forma visual com o objetivo de validar os resultados da segmentação. O software MAGIC (Clausi *et al.*, 2009) foi escolhido para segmentar a imagem devido seus excelentes resultados relatados em vários estudos (Maillard *et al.*, 2008; Barbosa *et al.*, 2009; Alencar-Silva e Maillard, 2009). MAGIC é uma sigla que significa “*Map Guided Ice Classification*”, pois foi originalmente desenvolvido como ferramenta para classificação de tipos de gelo do mar.

A segmentação inicia-se com a aplicação do algoritmo “Watershed” que produz segmentos (áreas) entre 10-30 pixels dependendo do nível do ruído da imagem. Em seguida, os pequenos segmentos são organizados topologicamente, sendo que todos os segmentos contíguos podem se determinados através de um gráfico de adjacência ou RAG (Region Adjacency Graph). O segundo passo é baseado na teoria dos Campos Aleatórios de Markov – CAM, que irão juntar ou não os segmentos contíguos se a união produzir um decréscimo na energia total de vizinhança, definida pela Equação 1:

$$E = E_r + \alpha E_f \quad (1)$$

onde:  $E_f$  é a energia espectral global,  $E_r$  é a energia espacial local,  $\alpha$  é uma constante, contudo flutuante.

A vantagem do modelo CAM é a capacidade inerente de descrever tanto a localização do contexto espacial (a interação espacial entre segmentos vizinhos) e a distribuição geral em cada segmento (baseado em parâmetros espectrais de distribuição). Esta nova abordagem foi intitulada “*Iterative Region Growing Using Semantics*” ou IRGS e é descrita em Yu e Clausi (2008).

O MAGIC é capaz de segmentar cada banda da imagem de forma individual ou em conjunto (dados multivariados). Neste estudo, as bandas espectrais azul, verde, vermelho e infravermelho da imagem Ikonos-2 foram utilizadas tanto em um conjunto de dados multivariados, quanto individualmente.

Duas categorias foram escolhidas: ribeirinhos e não-ribeirinhos. No entanto, devido à presença de vários elementos de diferentes respostas espectrais no grupo de não-ribeirinho (água, herbáceo, solo exposto, pasto, entre outros), os testes foram realizados com 3, 4, 5, 6, 7 e 8 classes. De forma posterior, os resultados de não-ribeirinhos foram mesclados. O melhor resultado obtido pelo MAGIC foi utilizado na etapa de cálculo dos parâmetros de textura.

### 2.3.3 Cálculo das Feições de Textura

Neste trabalho foram consideradas cinco feições derivadas da Matriz de Co-ocorrência dos Níveis de Cinza: contraste (CON), segundo momento angular (ASM), entropia (ENT), momento da diferença inversa (IDM) e correlação (COR). As bandas três (vermelho) e quatro (infravermelho) do Ikonos-2 foram escolhidas para calcular as cinco características de textura. As bandas um (azul) e dois (verde) não foram utilizadas por serem da faixa do visível e possuir forte correlação com a banda vermelha. Os tamanhos de janela de análise utilizados variaram de 11x11, 15x15, 20x20, 25x25 e 30x30 pixels. O tamanho da janela é escolhido em função da dimensão da feição desejada, neste caso as matas ribeirinhas tinham em média 10m de extensão transversal. As distâncias entre os pixels de análise nas janelas utilizadas nesta etapa variam entre três e sete. Quatro direções foram consideradas: 0°, 45°, 90° e 315°. Os demais ângulos não foram considerados porque os resultados dos valores suplementares são os mesmo, ex.: resultado de 45° é igual ao resultado 135°.

Um programa especial foi criado para calcular as feições de textura da imagem: MACOOC (matriz de co-ocorrência dos níveis de cinza - © Philippe Maillard, 2010). O programa calcula as cinco medidas de textura para todas as quatro direções. É necessário ainda informar dois parâmetros para a realização do processamento: (i) o tamanho da janela (w) e (ii) a distância de análise entre os pares de pixels (d). O resultado final do processamento é composto por uma imagem que contém 20 bandas, produto das cinco feições de textura e das quatro direções calculadas. Cinquenta imagens de textura foram criadas considerando os parâmetros de tamanho de janela e distância de análise entre os pixels (25 para a banda vermelha e 25 para a banda infravermelha). No total, 500 bandas de textura foram criadas e seus valores foram utilizados para na etapa de análise estatística.

### 2.3.4 Modelagem Estatística

Por fim, as 70 parcelas foram sobrepostas na imagem Ikonos. Os valores médios das 4 bandas espectrais e das 20 feições de textura foram calculados para cada parcela e organizados em uma matriz junto com os dados alométricos. A regressão múltipla, com o método de seleção *Stepwise*, foi utilizada para a análise dos dados e criação dos modelos explicativos.

## 3. Resultados e Discussão

Os resultados deste estudo são apresentados em duas etapas: (i) o resultado da segmentação feita através do MAGIC e (ii) a modelagem estatística dos parâmetros biofísicos da vegetação ribeirinha.

### 3.1. Resultados da Segmentação da Imagem

Nesta etapa seis composições da imagem Ikonos-2 foram testadas de forma individual no *software* MAGIC: (i) banda azul; (ii) banda verde; (iii) banda vermelha; (iv) banda infravermelha; (v) visível: azul + verde + vermelho e (vi) visível + infravermelho. Adotou-se esta metodologia como forma de avaliar qual a melhor composição a ser utilizada para separar as áreas de vegetação ribeirinha e não-ribeirinha através do MAGIC. Considerou-se como mata ribeirinha toda a vegetação arbórea contida dentro da zona tampão de 100m. O melhor resultado de segmentação MAGIC, considerando as áreas de omissão e comissão do dado de validação, foi obtido utilizando todas as 4 bandas espectrais da imagem Ikonos-2 (Tabela 1 e Figura 3):

Banda Espectral	Ribeirinha (%)	Não-Ribeirinha (%)	Total (%)
1 (azul)	89,19	80,71	84,16
2 (verde)	-	-	-
3 (vermelho)	88,82	75,14	80,71
4 (infravermelho)	-	-	-
1, 2 and 3	91,28	85,01	87,56
<b>1, 2, 3 e 4</b>	<b>88,31</b>	<b>90,61</b>	<b>89,68</b>

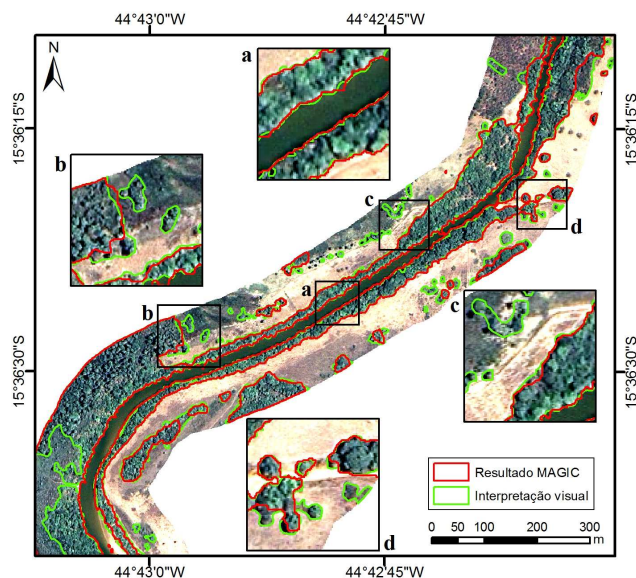


Figura 3: Resultado da segmentação MAGIC utilizando todas as bandas da imagem Ikonos-2.

### 3.2. Resultados da Modelagem Biofísica da Vegetação

Os resultados da modelagem estatística são apresentados na Tabela 2:

Tabela 2. Resultados das correlações para as bandas 3 e 4. A coluna da esquerda mostra os parâmetros de tamanho de janela e distância entre pixels utilizados para o cálculo de textura.

Parâmetros	Altura	DAP	Área Basal	Volume	Densidade	Abertura do Dossel	IAF
<b>Banda 3 (Vermelho)</b>							
w11_d3	34,20	<b>52,00</b>	49,50	63,70	7,40	32,10	45,10
w11_d4	43,80	23,60	<b>60,80</b>	<b>66,10</b>	12,90	32,60	40,90
w15_d3	38,60	30,20	35,70	41,50	19,90	<b>44,00</b>	46,30
w15_d7	<b>52,40</b>	29,00	48,80	62,80	3,90*	34,40	39,90
w30_d3	24,80	18,60	20,80	26,60	<b>44,60</b>	38,50	44,50
<b>Banda 4 (Infravermelho)</b>							
w30_d4	15,90	19,90	19,20	8,60	5,10	41,30	<b>54,30</b>

A banda vermelha está mais relacionada com os parâmetros biofísicos do que a banda do infravermelho, onde apenas o IAF obteve sucesso. Os melhores resultados gerais foram obtidos para Volume e Área Basal ( $R^2=0,61$  e  $R^2=0,66$  respectivamente). Os resultados mostram melhor correlação quando utilizados os parâmetros de 11x11 pixels de tamanho de janela para os parâmetros biofísicos de DAP, Área Basal e Volume. A distância entre pixels de melhor sucesso foi a  $d=4$ . Os melhores modelos matemáticos para cada medida alométrica são apresentados nas Equações 2 a 8:

$$\text{Altura} = 64,6 - 0,001 \text{ con}_{90} - 0,00574 \text{ ent}_{135} - 0,0055 \text{ asm}_0 - 0,0065 \text{ ent}_{90} + 0,00128 \text{ idm}_{135} + 0,00064 \text{ con}_{135} \quad (2)$$

$$\text{DAP} = 184 - 0,0397 \text{ ent}_{90} + 0,0584 \text{ B} - 0,0662 \text{ R} + 0,126 \text{ cor}_0 - 0,0786 \text{ cor}_{135} - 0,0103 \text{ asm}_{90} + 0,0037 \text{ idm}_{135} - 0,005 \text{ idm}_0 - 0,00246 \text{ con}_{45} \quad (3)$$

$$\text{Área Bas.} = 0,0569 + 0,000002 \text{ asm}_{135} + 0,000001 \text{ IR} - 0,000004 \text{ asm}_{45} - 0,000013 \text{ ent}_{45} \quad (4)$$

$$\text{Volume} = 80,7 + 0,00304 \text{ asm}_{135} - 0,00555 \text{ asm}_{45} - 0,0187 \text{ ent}_{45} \quad (5)$$

$$\text{Densidade} = 0,018 - 0,000287 \text{ con}_{90} + 0,000137 \text{ con}_{45} - 0,000190 \text{ cor}_{135} + 0,000081 \text{ idm}_0 - 0,000531 \text{ ent}_{135} + 0,000094 \text{ con}_{135} + 0,000547 \text{ ent}_{45} \quad (6)$$

$$\text{Abertura do Dossel} = - 1129 + 0,214 \text{ ent}_{90} + 0,136 \text{ R} - 0,0865 \text{ cor}_{135} + 0,0137 \text{ con}_{135} + 0,143 \text{ asm}_{90} - 0,101 \text{ G} \quad (7)$$

$$\text{IAF} = 0,556 - 0,00203 \text{ R} + 0,000573 \text{ con}_0 - 0,00337 \text{ cor}_0 + 0,000695 \text{ idm}_0 - 0,000119 \text{ asm}_{90} + 0,00354 \text{ cor}_{45} \quad (8)$$

onde: os valores em negritos correspondem as bandas espectrais e feições de textura com suas respectiva direções.

A direção não é fator determinante em nenhum dos modelos. É também difícil apontar uma única banda espectral ou feição predominante. Em modelos com poucos parâmetros, o ASM e ENT são recorrentes (Eq. 4 e 5). A diversidade de parâmetros parece ser o fator predominante para o incremento dos resultados dos modelos.

Entretanto, cabe ressaltar que estes modelos são indicativos de condições locais de vegetação ribeirinha, podendo ser utilizados em escalas regionais de forma a orientar esforços de conservação em ambientes ribeirinhos com características semelhantes. A Figura 4 mostra a aplicação do modelo na imagem Ikonos-2 para a variável volume:

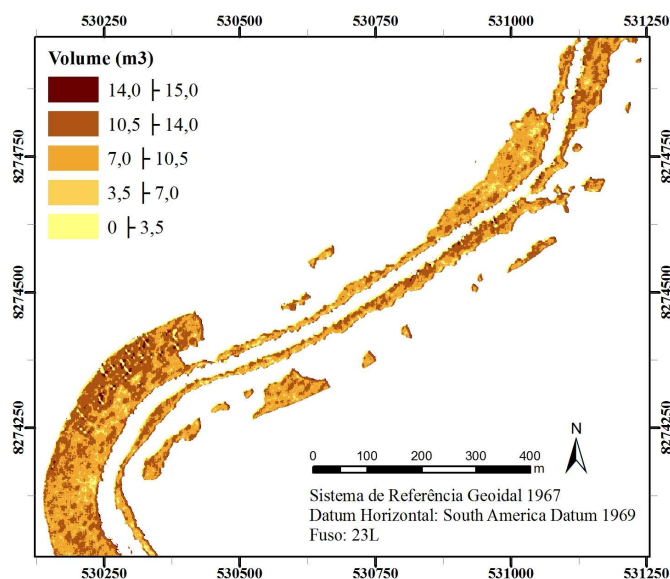


Figura 4: Mapa de volume da vegetação ribeirinha no sítio Agropop com 66% de confiabilidade.

#### 4. Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste artigo duas abordagens metodológicas foram utilizadas para mapear e modelar a estrutura da vegetação ribeirinha. Para isto foi utilizada uma combinação de imagem de alta resolução, segmentação MAGIC e textura de imagem. Os resultados demonstram a grande capacidade do *software* MAGIC para identificar regiões de floresta ribeirinha sem a necessidade de dados de campo. Nesta etapa, o melhor resultado foi obtido utilizando todas as 4 bandas espectrais da imagem Ikonos-2.

A análise estatística entre os parâmetros obtidos em campo e o processamento da imagem permitiram a criação de modelos explanatórios da estrutura da vegetação ribeirinha para aplicação local e regional. Os melhores modelos foram obtidos para as variáveis alométricas volume e área basal (66,10 e 66,80%), utilizando o tamanho de janela 11x11 pixels e distância de análise entre pixels igual a quatro. A direção não parece ser um fator crítico nos modelos, mas alguns parâmetros de textura (ASM e Entropia) são escolhidos com

maior frequência no método *Stepwise*. No entanto, a diversidade de parâmetros parece ser o fator preponderante nos melhores modelos obtidos.

Trabalhos futuros irão incluir um número maior de parcelas provenientes de diversos trechos do rio Pandeiros, com a finalidade de se criar modelos mais robustos. As feições de textura serão extraídas com a direção invariante, o que poupará tempo e recursos de processamento. Estão previstos testes com índices de vegetação para a extração de textura. A abordagem adotada neste artigo é comparável a uma abordagem orientada ao objeto, a qual se apresenta mais apropriada para imagens de alta resolução.

## Referências

Alencar-Silva, T. e Maillard, P. Segmentação de imagem de alta resolução utilizando o programa SMAGIC. **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal/RN, p. 6743-6750, 2009.

Barbosa, I. S.; Maillard, P. e Alencar-Silva, T. Mapping wetlands variation using high resolution image in the Pandeiros wildlife sanctuary, Brazil. **Proceeding of 30th Canadian Symp. on Remote Sensing**, Lethbridge, Canada, 2009.

Congalton, R. G.; Birch, K.; Jones, R. e Schriever, J. Evaluating remotely sensed techniques for mapping riparian vegetation. **Computers and Electronics in Agriculture**, 37(1-3), pp. 113-126, 2002.

Davis, P. A.; Staid, M. I.; Plescia, J. B. e Johnson, J. R. Evaluation of airborne image data for mapping riparian vegetation within the grand canyon. Report 02-470, U. S. **Geological Survey**, Flagstaff, Arizona, 2002, 65p.

Johansen, K. e Phinn, S. Linking riparian vegetation spatial structure in Australian tropical savannas to ecosystem health indicators: semi-variogram analysis of high spatial resolution satellite imagery. **Canadian J. of Remote Sensing**, 32(3), p. 228-243, 2006.

Johansen, K. e Phinn, S. Mapping structural parameters and species composition of riparian vegetation using IKONOS and Landsat ETM+ data in Australian tropical savannas. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, 72(1), p. 71-80, 2006.

Maillard, P.; Alencar-Silva, T. e Clausi, D. A. An evaluation of Radarsat-1 and ASTER data for mapping veredas. **Sensors** (Basel), v. 8, p. 6055-6076, 2008.

Muller, E. Mapping riparian vegetation along rivers: old concepts and new methods. **Aquatic Botany**, 58, p. 411-437, 1997.

Nagler, P. L.; Glenn, E. P. e Huete, A. R. Assessment of spectral vegetation indices for riparian vegetation in the Colorado River delta, Mexico. **Journal of Arid Environments**, 49(1), p. 91-110, 2001.

Strahler, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Bulletin Geological Society of America**. 63: p. 1117-1142, 1952.

Tso, B. e Mather, P. **Classification methods for remotely sensed data**. London/UK: Taylor and Francis, 2001. 332 p.

Yu, Q. e Clausi, D. A. IRGS: image segmentation using edge penalties and region growing. **IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence**, 30(12), pp. 2126-2139, 2008.

## Agradecimentos

Os autores são gratos ao Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais pelo fornecimento da cena Ikonos-2 e pelo suporte de campo. Agradecemos ao Dr. David Clausi da *Waterloo University/CA* pelo programa MAGIC. Os autores agradecem também ao laboratório de Ecologia e Propagação Vegetal / UNIMONTES por fornecer os dados alométricos de campo.