

## **Proposta para avaliação da relação espacial entre doenças hídricas e inundações por meio de imagens de radar JERS-1. Estudo de Caso: rio Madeira, Rondônia.**

Kátia de Barros Leite Neves<sup>1,2</sup>

Joecila Santos da Silva<sup>1</sup>

Otto Corrêa Rotunno Filho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> COPPE/UFRJ - Rec. Hídricos – Programa de Engenharia Civil; Laboratório de Hidrologia e Estudos do Meio Ambiente, Bloco I, Centro de Tecnologia, Ilha do Fundão; CEP: 21945-970; Rio de Janeiro; RJ; Brasil; Tel.: (21) 2562-7842; Fax.: (21) 2562-7836  
{joecila, otto} @hidro.ufrj.br

<sup>2</sup> GISPLAN Tecnologia da Geoinformação; rua Armando Lombardi 800 sala 310; CEP:22640-020; Rio de Janeiro; RJ; Brasil; Tel.: (21) 2494-2838  
kátia@gisplan.com.br

**Abstract:** This paper is part of a preliminary proposal to develop a methodology to identify areas likely to be flooded in the Madeira river watershed, as it runs through the state of Rondônia. The research aims to examine a correlation between water diseases and the rainy season in the study area. More specifically, it intends to investigate whether the towns closer to river beds have a higher incidence of water diseases than the ones not affected by river floods. Furthermore, a procedure is to be put into practice to monitor the water-carried diseases in the region, defining the risk areas through flood mapping. Microwave SAR remotely sensed images JERS-1 are intended to be used jointly with a geostatistical approach.

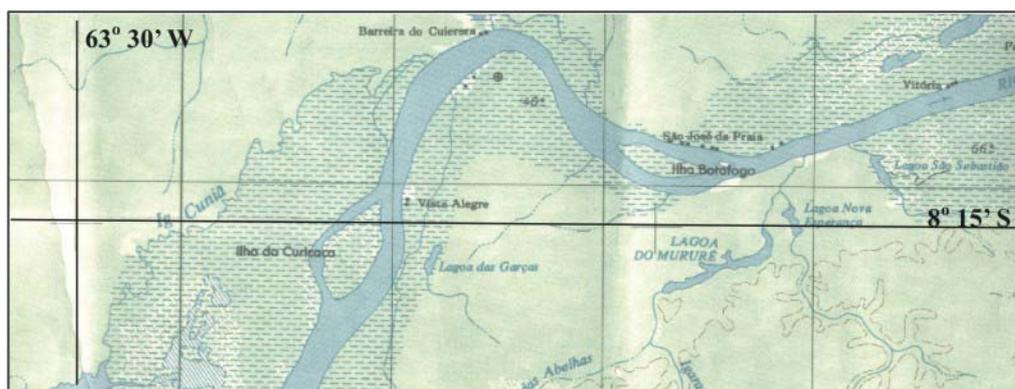
**palavras chave:** remote sensing, water diseases, floods, enchentes, sensoriamento remoto, doenças de veiculação hídrica.

### **1. Introdução**

Os rios da região Amazônica apresentam leitos de largura extensa, tendo numerosos braços de escoamento da água. Os eixos fluviais da bacia Amazônica são verdadeiras vias de comunicação humanas e corredores de grande importância socioeconômica para a bacia, onde parte de suas atividades encontra-se, com frequência, exposta às enchentes causadas pelo constante avanço e recuo das águas na região.

O presente trabalho tem como principal objetivo propor uma metodologia de análise da relação espacial entre doenças de veiculação hídrica e áreas inundáveis, caracterizadas por meio de dados fluviométricos e imagens de sensoriamento remoto. Pretende-se ainda desenvolver um estudo de análise de risco de inundação com o emprego de um referencial geoestatístico.

A área de estudo abrange parte da bacia hidrográfica do rio Madeira, situada no estado de Rondônia. O rio Madeira, pertencente à bacia Amazônica, está inserido em uma extensa área de floresta pluvial, sendo considerado um dos principais afluentes meridional do rio Amazonas e o segundo tributário andino da bacia. Em bacias onde é grande a variação anual do nível de água, torna-se freqüente o aparecimento de áreas sujeitas à inundação, conforme ocorre no trecho do rio Madeira (Figura 1).



**Figura 1** - Detalhe da localização da área de estudo e respectivas áreas inundadas ao longo do rio Madeira - carta SC-22-V-B, Porto Velho - MI-243, escala 1:250.000 do mapeamento sistemático brasileiro – IBGE (Fonte: DNPM, 1975).

## 2. Fundamentação Teórica

### 2.1 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto representa uma ferramenta de grande importância para a aquisição de informações sobre regiões extensas, com complexa variabilidade sazonal e de difícil acesso como a região Amazônica.

Neste trabalho, a escolha do uso de imagens de radar (*radio detection and ranging*) do satélite japonês JERS-1 (*Japan Earth Resources Satellite 1*), tipo SAR (*synthetic aperture radar*) com banda L e polarização VV, foi feita devido a uma série de características que a faixa de microondas do espectro eletromagnético possui e que são interessantes para estudos ligados à área ambiental, especialmente no mapeamento de áreas inundáveis.

Segundo Jensen (2000), existem diversas vantagens do uso do sensoriamento remoto de radar tipo SAR no meio ambiente, ressaltando-se as seguintes:

- possibilidade de imagear áreas encobertas por nuvens;
- capacidade de penetração na vegetação, areia, e superfícies com camadas de neve;
- capacidade de iluminação própria (sensor ativo), possibilitando que o ângulo de iluminação seja controlado e a cobertura pode ser obtida em tempos específicos, até mesmo durante a noite, permitindo atingir maior resolução espacial.

### 2.2 Geoestatística aplicada em recursos hídricos com base no sensoriamento remoto

A geoestatística está baseada na teoria das variáveis regionalizadas (Journel e Huijbregts, 1978) que constituem uma função definida em um domínio do espaço. São variáveis em que os valores estão relacionados, de alguma maneira, com a posição que ocupam no espaço. Mesmo tendo sua origem ligada a problemas específicos encontrados na mineração, a geoestatística, pela generalidade de seu desenvolvimento e por lidar com dados distribuídos espacialmente, pode ser utilizada criteriosamente na interpretação e estudo de grande parte dos fenômenos que aparecem nos domínios das ciências da natureza, como, por exemplo, na geologia, na geofísica, na engenharia florestal, na cartografia e também na hidrologia.

Curran (1988) forneceu uma introdução sobre o uso de variogramas em sensoriamento remoto e Jupp et al. (1988) consideraram as propriedades da covariância e os efeitos da

regularização em imagens modeladas pela regionalização das variáveis, que são variáveis aleatórias em que as posições no espaço são conhecidas. Eles também introduziram uma série de ferramentas que permitem a construção das funções de covariância para elementos discretos. Jupp et al. (1989) aplicaram os primeiros resultados em modelos simples de imagens e em imagens digitais delas obtidas, para mostrar como a estrutura espacial de uma imagem depende da estrutura espacial previamente obtida de uma cena. Woodcock et al. (1988a, 1988b) discutiram o uso de variogramas para modelos simples de imagens do solo consistindo de áreas alocadas aleatoriamente em uma área contínua. Eles também analisaram o processo de regularização e seu efeito nos variogramas. Seus resultados indicaram relações diretas entre diversos parâmetros da imagem e o comportamento dos variogramas. Webster et al. (1989) discutiram diferentes estratégias de amostragem para minimizar a variância de krigagem. Os autores queriam reduzir o número de amostras coletadas usando imagens previamente obtidas da área a ser amostrada. Eles também discutiram o mapeamento da radiometria do solo usando krigagem.

Atkinson et al. (1992) usaram uma abordagem de cokrigagem com a radiação do solo (como segunda variável) para prever as seguintes variáveis primárias: GLAI (índice de área folicular) da cevada, biomassa seca e percentagem de cobertura de trevos na pastagem. A variável secundária usada nos três experimentos foi o índice de vegetação normalizado NDVI (infravermelho próximo – vermelho) / (infravermelho próximo + vermelho). O objetivo foi estabelecer uma estratégia ótima de amostragem para alcançar a precisão desejada. De seus experimentos, os autores concluíram que, com o mesmo desempenho, a cokrigagem resultou em uma precisão em torno de três vezes maior que aquelas alcançadas com a krigagem univariada. Além disso, os autores sustentam que cokrigagem oferece uma técnica econômica e operacional para utilizar a reflectância para estimar propriedades da superfície da terra. Atkinson e Curran (1995) estudaram o tamanho ótimo da região para pesquisas com sensoriamento remoto considerando imagens nas faixas do visível e do infravermelho.

Abreu (2000) e Santos (2002) incorporaram estudos de correlação espacial na classificação de uma imagem de satélite. Partindo de uma classificação inicial pelo método da máxima verossimilhança, no qual se admite independência entre os píxeis da imagem, foi realizada uma segunda análise, incorporando-se a avaliação preliminar da correlação espacial. Com isso, Abreu (2000) e Santos (2002) utilizaram o método de classificação NGLDM (método matriz de tons de cinza vizinhos dependentes) e GLCM (método matriz de ocorrência de tons de cinza), que incorporam a correlação espacial do fenômeno.

Rotunno Filho (1995) emprega a abordagem geoestatística para o mapeamento da umidade do solo utilizando sensoriamento remoto com aplicação em modelagem hidrológica chuva-vazão. Barbosa (2000) e Lou (2004), por sua vez, avaliam a distribuição espaço-temporal da chuva através de um referencial geoestatístico. Dados de chuva acumulada em uma hora, medidos pelo radar meteorológico de São Paulo e pela rede telemétrica localizada na bacia do Alto Tietê, foram submetidos a uma análise geoestatística. Foram determinados variogramas de alguns eventos para serem investigadas as variações espaciais dos sistemas precipitantes.

Finalmente, Nasser (2001) emprega a metodologia geoestatística e sensoriamento remoto para caracterização espacial da qualidade de água da baía de Guanabara, enquanto Borges (2004) apresenta uma aplicação desse instrumental em estudos de processo de sedimentação de reservatórios do setor elétrico.

### 3. Metodologia

Inicialmente, é proposta a realização de análise estatística dos dados de 9 (nove) estações fluviométricas, existentes ao longo do rio Madeira, monitoradas pela Agência Nacional de Águas - ANA, com enfoque nas vazões mínimas e máximas.

A partir da análise dos dados fluviométricos, que permite caracterizar o período da cheia e da vazante, propõe-se selecionar duas (2) imagens SAR do satélite japonês JERS-1, utilizadas no projeto de mapeamento global da floresta tropical (*Global Rain Forest Mapping* – GRFM), para delimitação das áreas de inundação a partir de uma classificação supervisionada usando o método da máxima verossimilhança, através do programa de processamento digital de imagens ENVI 3.2.

O GRFM trata-se de um projeto internacional desenvolvido pela National Space Development Agency of Japan /Earth Observation Research Center (NASDA EORC) junto com diversos institutos, entre os quais o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Instituto Nacional e Pesquisas da Amazônia (INPA). O GRFM, referente à América do Sul, adotou como principal objetivo a cobertura global da Amazônia por mosaico de imagens do satélite. Cada mosaico engloba 5 graus de latitude por 5 graus de longitude, em dois (2) períodos hidrológicos significativos na Amazônia: período da cheia e período da vazante.

A presente pesquisa propõe-se a analisar quatro (4) tipos de resposta espectral associadas aos seguintes alvos: água, floresta, áreas sujeita a inundação e uma quarta englobando informações como sistema viário, solo exposto, área urbana, área de mineração, entre outras.

Após a seleção das imagens e delimitação das áreas sujeitas à inundação, analisa-se a correlação espacial entre os casos de doenças e o período de cheias na região. Para a realização dos trabalhos, as imagens são, inicialmente, georreferenciadas em relação à malha municipal do estado de Rondônia, de maneira a possibilitar a perfeita correlação das áreas sujeitas à inundação e os municípios.

Em seguida, procede-se à avaliação comparativa entre os índices de ocorrência de doenças de veiculação hídrica para as diferentes áreas, com enfoque nas diferenças entre zonas inundáveis e não inundáveis por meio de geoprocessamento.

Feita essa caracterização espaço-temporal entre ocorrências de doenças hídricas e inundações, conduz-se, finalmente, um estudo de avaliação e definição do risco de inundação das diferentes regiões da área de estudo de forma a orientar preventivamente processos de tomada de decisão nessa matéria, a partir de um referencial geoestatístico. Para tanto, emprega-se o método de simulação por indicadores seqüenciais ou modelagem indicatriz. Com base nesse método, a partir da caracterização da estrutura de correlação espacial por meio de variogramas, é possível a geração de mapas equiprováveis e posterior análise pelo método de Monte Carlo. Dessa forma, pode-se definir espacialmente os riscos de inundação.

- **Simulação Condicional por Indicadores Seqüenciais (Krigagem Indicatriz)**

Primeiramente, é importante apresentar os requisitos de uma simulação condicional (Gómez- Hernandez e Srivrastona, 1990): (1) necessidade de produzir mapas equiprováveis com uma dada estrutura espacial (tipicamente covariância espacial), que pode ser deduzida de dados amostrais ou sintetizada a partir de informações complementares; e (2) os mapas devem respeitar dados de campo. Os atributos essenciais de uma simulação são a estrutura de correlação espacial e o grau com que essa estrutura pode ser reproduzida.

A simulação condicional é baseada no formalismo dos indicadores (Journel, 1983; Journel, 1986; Alabert, 1987). A variável aleatória indicatriz  $I(x, z_c)$  associada com a variável

aleatória  $Z(x)$  é uma função binária definida para um limite de classe ou limiar  $z_c$ , que assume o valor 0 ou 1 sob as seguintes condições:

$$\begin{aligned} I(x, z_c) &= 0, \text{ se } Z(x) > z_c \\ I(x, z_c) &= 1, \text{ se } Z(x) \leq z_c \end{aligned} \quad (1)$$

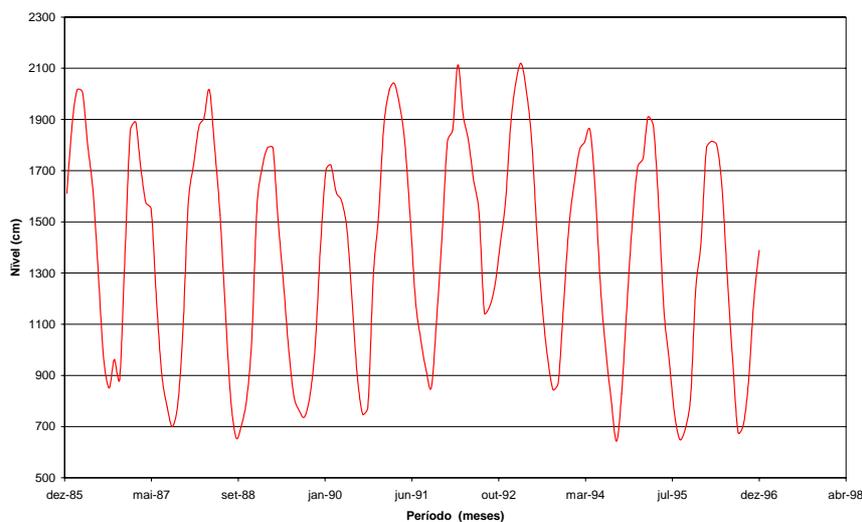
No referencial probabilístico, indicadores podem ser vistos como probabilidades acumuladas *a posteriori* de  $Z(x)$  dada a realização  $z(x)$ . Por essa razão,

$$\begin{aligned} I(x, z_c) &= P [Z(x) \leq z_c | z(x)] \\ I(x, z_c) &= 0 \text{ se } z_c < z(x) \\ I(x, z_c) &= 1 \text{ se } z_c \geq z(x) \end{aligned} \quad (2)$$

Assim, os conceitos de simulação condicional e krigagem indicatriz podem ser combinados.

#### 4. Resultados preliminares

A título de ilustração, a Figura 2 mostra a configuração da variação mensal dos níveis de água (em centímetros) correspondentes ao período de 1986 a 1996 para a estação fluviométrica de Abunã, que apresentou um nível mínimo de 643 cm em setembro de 1994 e o máximo de 2119 cm em março de 1993, com variação anual média no período de 1163 cm, permitindo definir preliminarmente as duas épocas do regime hidrológico anual na região: a época das cheias, de outubro a março, e a época das vazantes, de abril a setembro.

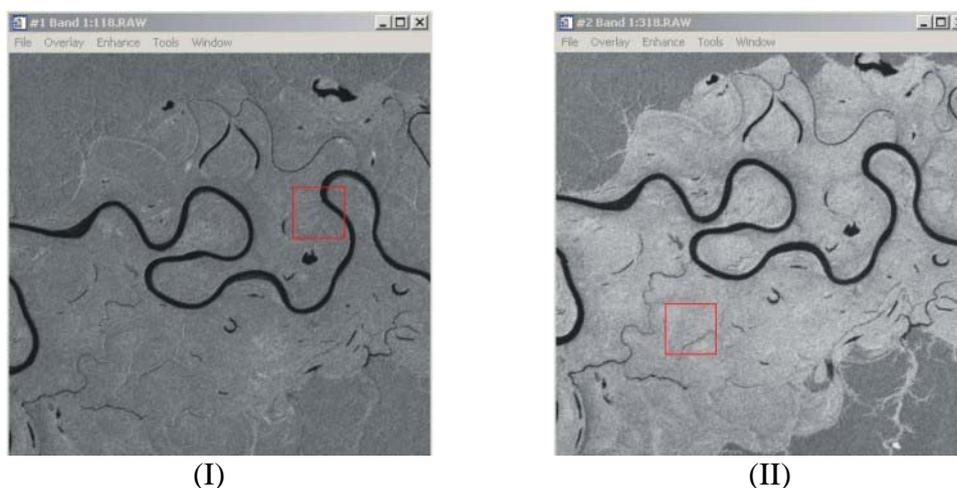


**Figura 2:** Variação mensal do nível de água no período de 1986 a 1996 - estação fluviométrica Abunã - rio Madeira - código 15320002.

A Figura 3, por sua vez, ilustra a área de interesse com uma imagem adquirida na época da vazante em outubro de 1995 (I) e outra na cheia em junho de 1996 (II). Na imagem correspondente a cheia, é possível observar a área mais clara, que representa a resposta espectral da área úmida. Essa resposta está relacionada com o coeficiente de retroespalhamento associado com a imagem de radar.

O coeficiente de retroespalhamento definido para um dado alvo é função das características do sensor como frequência ou comprimento utilizado no imageamento, ângulo de incidência, polarização dos campos elétrico de emissão e recepção. Com respeito ao alvo, informações de vegetação, rugosidade da superfície e de umidade do solo são os fatores

principais da superfície terrestre que condicionam os valores de retroespalhamento. Apesar da interferência da vegetação e da rugosidade da superfície no sinal captado pela imagem, a Figura 3 mostra a possibilidade de mapeamento de áreas úmidas.



**Figura 3** – Recortes dos mosaicos do GRFM das imagens Jers-1. Recorte 118 de outubro de 1995, período da vazante, com as coordenadas do canto superior esquerdo e canto inferior direito do mosaico  $-5^{\circ}$  e  $-68^{\circ}$  e  $-10^{\circ}$  e  $-63^{\circ}$ , respectivamente (I); Recorte 318 de junho de 1996, período da cheia, com as coordenadas do canto superior esquerdo e canto inferior direito do mosaico  $-5^{\circ}$  e  $-68^{\circ}$  e  $-10^{\circ}$  e  $-63^{\circ}$ , respectivamente (II). (fonte: GRFM, 1995/1996).

Para a espacialização dos dados de doença no estado de Rondônia, obtidos no DATASUS, foram selecionadas as seguintes doenças de veiculação hídrica, referentes ao ano de 2003, para o estudo: diarreia e gastroenterite com origem de infecção presumível. Com base nos dados de população dos municípios de Rondônia foi feita a razão entre os casos de doenças e a população, de forma que fosse possível espacializar (Figura 4) os dados dentro do estado.

Com os dados geoespacializados constata-se:

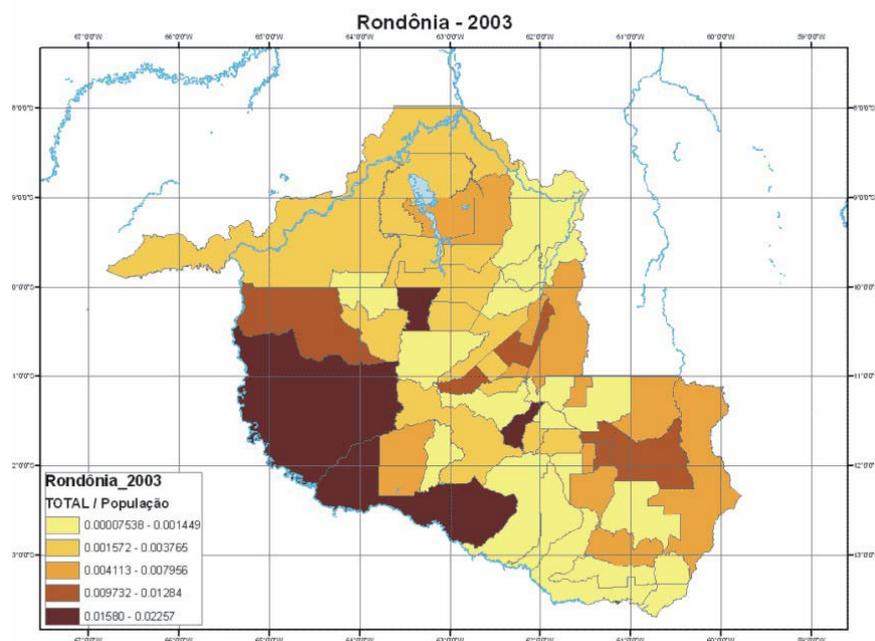
- no primeiro trecho do rio (direção nascente-foz) observa-se que os casos de doenças desses municípios são muito poucos, provavelmente em função da qualidade da água ser melhor próxima a nascente;
- no próximo trecho, é possível notar que 3 (três) municípios apresentam um grande aumento nos casos de doenças, possivelmente devido a queda da qualidade da água e por uma grande parte de seu limite territorial ser o próprio Rio Madeira;
- finalmente, quando o rio entra pelo município de Porto Velho, os casos de doenças diminuem; uma conjectura possível é que essa situação deve-se a uma melhor infra-estrutura de apoio a saúde presente neste município, considerado o mais bem estruturado do estado.

## 5. Conclusões

Os resultados preliminares indicam a possibilidade de mapeamento de áreas úmidas por meio de imagens SAR e o estabelecimento de uma relação com a distribuição de doenças na região de estudo. Uma investigação detalhada da região ainda deve ser conduzida de forma a cruzar os dados de doenças hídricas com os períodos de cheia e vazante no rio Madeira. Adicionalmente, pretende-se identificar as áreas de risco de inundação com base no emprego

de uma abordagem geostatística, incluindo o método de simulação por indicadores sequenciais conjuntamente com uma análise de Monte Carlo.

Um outra reflexão relevante suscitada pela análise mostra a possível orientação que deve ser adotada em termos de gestão de recursos hídricos. Os vários trabalhos de educação ambiental e conscientização da população na temática hídrica devem ser conduzidos de montante para jusante e não de jusante para montante, como usualmente tem sido a prática na área de recursos hídricos.



**Figura 4** – Espacialização dos dados de doenças (diarréia e gastroenterite com origem de infecção presumível) em 2003 no estado de Rondônia, fornecidas pelo DATASUS.

## Agradecimentos

Ao *Global Rain Forest Mapping* – GRFM pelas imagens do satélite JERS-1 disponibilizadas para a pesquisa. Ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, pela disponibilização de mapas da região. A Agência Nacional de Águas – ANA, pelo fornecimento dos dados das 9 (nove) estações fluviométricas existentes ao longo do Rio Madeira. A Gisplan pelo apoio técnico dos colegas de trabalho.

## Referências bibliográficas

Abreu, G.F., **Sensoriamento remoto aplicada na classificação da cobertura do uso do solo de uma bacia hidrográfica**, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Brasil, 2000.

Alabert, G. F., **Stochastic imaging of spatial distributions using hard and soft informations**, Tese de M.Sc., Stanford University, U.S.A., 1987.

Atkinson, P. M. e Curran, P. J., **Defining an optimal size of support for remote sensing investigations**, IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing, v.33, pp. 768-776, 1995.

Atkinson, P. M., Webster, R. e Curran, P. J., **Cokriging with ground-based radiometry**, Remote Sensing of Environment, v.41, pp. 45-60, 1992.

Barbosa, D. C. M., **Geoestatística aplicada a dados de radar meteorológico**, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Brasil, 2000.

Borges, F. S. P., **Estimativa da batimetria de reservatórios usando sensoriamento remoto e krigagem bayesiana – Estudo de caso: Reservatório de Morro Grande, Bacia do rio Preto**, RJ, Tese de M. Sc., COPPE/UFRJ, Brasil, 2004.

Curran, P. J., **The Semivariogram in Remote Sensing: An Introduction**, *Remote Sensing of Environment*, 24, pp. 493-507, 1988.

Departamento Nacional da Produção Mineral - **Projeto Radambrasil**. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro, volume: 16, 1975. 663 p.

Envi, **Envi user's guide, The Environment for Visualizing Images**, version 3.2, Colorado, U.S.A, 1999.

Gómez-Hernández, J. J. e Srivastava, R. M. , **ISIM3D: An ANSI-C three-dimensional multiple indicator conditional simulation program**, *Computer in Geoscience*, 16, No. 4, pp. 395-414, 1990.

GRFM, **Global Rain Forest Mapping Project, South America (Amazon Basin)**, v. AM-1, National Space Development Agency of Japan /Earth Observation Research Center (NASDA EORC), Japão, 1995/1996.

Journel, A. G., Huijbregts, C. H., **Mining geostatistics**, Academic Press Inc., New York, 1978.

Journel, A. G., **Non-parametric estimation of spatial distributions**, *Mathematical Geology*, 15, pp. 445-468, 1983.

Journel, A. G., **Constrained interpolation and qualitative information – the soft kriging approach**, 18, No. 3, 1986.

Jupp, D. L. B., Strahler, A. H., Woodcock, C. E., **Autocorrelation and regularization in digital images, I, basic theory**, *IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing*, v.26, n. 4, pp. 463-473. 1988.

Jupp, D. L. B., Strahler, A. H., Woodcock, C. E., **Autocorrelation and regularization in digital images, II, simple image models**, *IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing*, v.27, n.3, pp. 247-258, 1989.

Lou, A . P. F., **Modelagem geoestatística aplicada à integração entre dados de postos pluviométricos e radar meteorológico**, Tese de M. Sc., COPPE/UFRJ, Brasil, 2004.

Nasser, V. L. , **Sensoriamento remoto e geoestatística aplicados ao estudo de qualidade de água da baía de Guanabara**, Tese de M.Sc, COPPE/UFRJ, 2001.

Rotunno Filho, O. C., 1995, **Soil moisture mapping using remote sensing and geostatistics applied to rainfall- runoff models** , Ph.d. Thesis, University of Waterloo, Ontario, 1995.

Santos, R.C., **Classificação textural aplicada à cobertura do solo de uma bacia hidrográfica usando sensoriamento remoto**, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Brasil, 2002.

Webster, R., Curran, P. J., Munden, J. W., **Spatial correlation in reflected radiation from the ground and its implications for sampling and mapping by ground-based radiometry**, *Remote Sensing of Environment*, v.29, pp. 67-78, 1989.

Woodcock, C .E., Strahler, A H, e Jupp, D. L. B., **The use of variograms in remote sensing: I. Scene images and simulated images**, *Remote sensing of Environment*, 25, pp. 323-348., 1988 a.

Wookcook, C .E., Strahler, A H e Jupp, D. L. B., **The use of variograms in remote sensing: II. Real digital images**, 25, pp. 349, 1988 b.