

TRATAMENTO DE IMAGEM DE SATÉLITE POR MEIO DE METODOLOGIA GEOESTATÍSTICA

TREATMENT OF SATELLITE IMAGERY USING GEOSTATISTIC

Roberto Wagner LOURENÇO¹; Paulo Milton Barbosa LANDIM²

Resumo: O propósito principal deste trabalho é demonstrar a aplicação da técnica geoestatística da *krigagem ordinária* para modelar a variabilidade espacial de pixels ou números digitais (ND) em imagens digitais de satélite. O objetivo é minimizar os efeitos de ruídos resultantes das sombras topográficas, causadas pela sobreposição entre faixas adjacentes do espectro eletromagnético do sensor e do próprio comportamento do espectro dos objetos das imagens captadas. Foi utilizado como ferramenta de suporte deste procedimento de análise o Sistema de Informação Geográfica Idrisi32 e como resultado é apresentado um mapa de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do ano 1997 da área estudada pertencente à “Baixada Santista”, litoral centro-sul do Estado de São Paulo.

Palavras-Chave: Geoestatística; Imagens de Satélite; Sistemas de Informações Geográficas; NDVI.

Abstract: The purpose of this piece of work is to demonstrate the application of ordinary kriging in modeling space dependence of pixels or digital numbers (ND) in digital satellite imagery. The objective is to minimize the effects of resulting noises from topographical shades, caused by overlapping among adjacent strips of the electromagnetic spectrum of the sensor and own behavior of the spectrum of the objects of the captured images. The Geographic Information System Idrisi 32 was used as support tool for the procedure analysis. As result of this study a map was obtained. The map shows the vegetation index by normalized difference (NDVI) for the year of 1997 of the “Baixada Santista” area located in the center south coast of São Paulo state.

Keywords: Geostatistic; Satellite Imagery; Geographic Information System; NDVI.

INTRODUÇÃO

Em sensoriamento remoto orbital um grande número de dados é usado para representar uma imagem que pode ser manipulada no formato digital, a fim de se extrair informações. Cada ponto imageado pelos sensores corresponde a uma área mínima denominada “*pixel*” (picture cell), que deve estar geograficamente identificada, e para o qual são registrados números digitais (ND) relacionados à intensidade de energia refletida em faixas (bandas) bem definidas do espectro eletromagnético.

Os procedimentos mais comuns de extração de informação dessas imagens são por meio da análise da sua textura, porém é muito comum encontrar imagens com baixa definição e contraste, relacionada com os processos de captura da imagem, tais como sombras de objetos, nuvens, variação topográfica, entre outros. A forma mais comum de se lidar com este tipo de problema é a aplicação de filtros e métodos de interpolação durante o processo de reamostragem e os procedimentos de interpolação mais comum para esta finalidade é o bilinear ou vizinhos mais próximos, que realiza uma interpolação entre pixels ou números digitais (ND) adjacentes (Quarmby, 1992).

Entretanto, com o avanço tecnológico, mais especificamente nos programas de geoprocessamento, a textura tem sido estudada por outros meios, entre eles o emprego de medidas estatísticas como médias e desvios padrão dentro de janelas móveis para estimar os valores dos números digitais em função de sua variabilidade (Irons & Petersen, 1981) e, mais recentemente, técnicas geoestatísticas aplicadas como forma de transformação da textura para analisar a dependência espacial dos números digitais de imagens de satélite (Carr, 1996; Lark, 1996).

O emprego do método geoestatístico em sensoriamento remoto parte do princípio de que o *pixel*, ou número digital (ND), de uma imagem digital de satélite pode ser considerado como uma variável regionalizada, caracterizada espacialmente com aspecto aleatório e estrutura espacial correlacionada e que pode ser modelada por uma função variográfica (Atkinson & Curran, 1995; Chica-Olmo & Abarca-Hernández, 1998; Curran, 1988).

Nesse sentido Cohen *et al.* (1990) aplicaram em imagens digitais de satélite estudos variográficos com o objetivo de caracterizar diferentes tipos de cobertura de vegetação no Oregon, EUA. Lacaze *et al.* (1994) estudaram a possibilidade de identificação do padrão espacial do uso do solo em escala regional analisando dados de sensoriamento remoto do Landsat 5 TM por meio de estudos variográficos. Rossi *et al.* (1994)

1- Laboratório de Geomatemática, Departamento de Geologia Aplicada, UNESP/campus de Rio Claro (SP). Departamento de Saúde Pública, Faculdade de Medicina, UNESP/campus de Botucatu (SP).

2- Departamento de Geologia Aplicada, UNESP/campus de Rio Claro (SP).

utilizaram-se da krigagem indicativa sobre imagens de satélite do Landsat 5 da região de Chiapas, México para identificação de áreas de pastagens com probabilidade de larvas da espécie *Anopheles albimanus*. Chica-Olmo & Abarca-Hernández (2000) aplicaram métodos geoestatísticos para classificação de textura na discriminação de feições litológicas através da classificação de imagem de satélite do Landsat 5 TM na área da Cordilheira de Betic, sul da Espanha. Berberoglu *et al.* (2000), na costa sudeste da Turquia conhecida como Delta de Cukurova, realizaram o mapeamento das áreas de risco a deslizamentos com o uso imagem de satélite do Landsat 5 TME o emprego de métodos geoestatísticos. Wallace *et al.* (2000) utilizaram a estrutura variográfica para avaliar as características dimensionais e a distribuição espacial das comunidades de vegetação no Deserto de Mojave, Califórnia, USA.

Seguindo tal enfoque este trabalho pretende demonstrar a possibilidade de se aplicar técnicas de geoprocessamento, utilizando como ferramenta de suporte o Sistema de Informações Geográficas IDRISI 32 (Eastman, 2001) e a análise geoestatística da *krigagem ordinária*, tendo como

área de estudo parte da Baixada Santista localizada no Estado de São Paulo. As imagens digitais utilizadas são do satélite do Landsat 5 TM, do ano de 1997, representadas pelas bandas 3 e 4 e como resultado final deste procedimento é apresentado um mapa de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área esta contida na folha topográfica de Santos, com aproximadamente 794 km², localizada entre as coordenadas UTM 373 - 347 EW por 7374 - 7338 NS, compreendendo parte da região denominada Baixada Santista, na Faixa Atlântica do Estado de São Paulo. Os principais municípios abrangidos são: Santos e Cubatão, inteiramente representados, Guarujá, Praia Grande e São Vicente, com suas respectivas sedes, e parte predominantemente rural de alguns municípios da Região da Grande São Paulo, como Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André e São Bernardo do Campo (Figura 1).

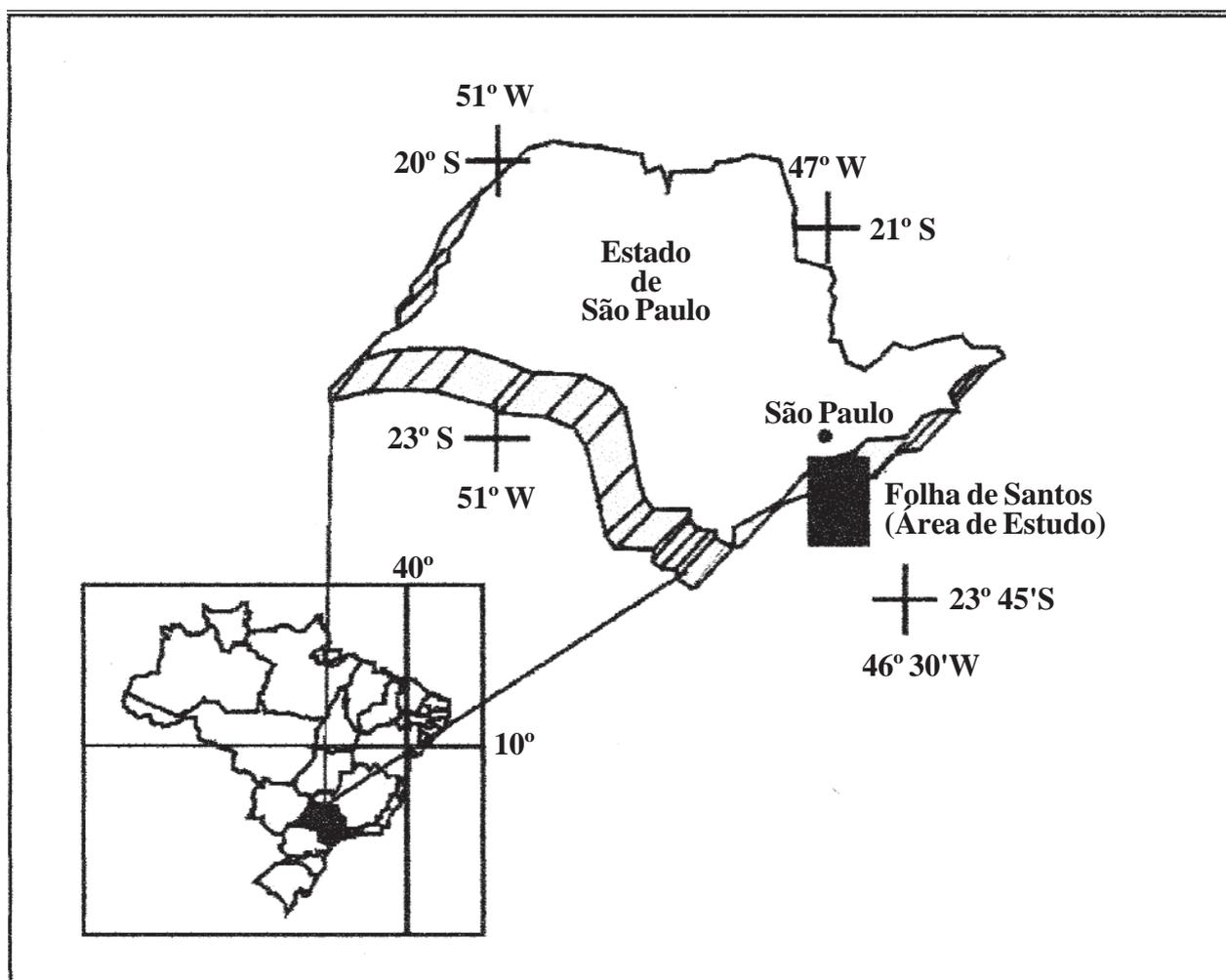


FIGURA 1: Localização da área de estudo.
FIGURE 1: Location of the studied area.

Processamento de imagens digitais por geoestatística

Uma imagem digital pode ser definida por uma função bidimensional da intensidade de luz refletida ou emitida por uma cena, na forma $I(x,y)$, onde os valores de I representam, em cada coordenada espacial (x,y) , a intensidade da imagem nesse ponto. Essa intensidade é mostrada por um valor inteiro, não-negativo e finito, chamado nível de cinza.

A análise do nível de cinza de uma banda é útil para trabalhos que envolvam estudos do comportamento espectral dos alvos, nas várias bandas dos satélites de sensoriamento remoto, revelando informações importantes sobre o arranjo estrutural dos objetos na imagem e seu relacionamento com o ambiente, permitindo discriminar importantes características relacionadas com o padrão de variabilidade das classes de cobertura e uso do solo.

Os níveis de cinza de uma imagem estão associadas aos números digitais (ND) de uma imagem digital de satélite, com características de variabilidade local ou global e correlação espacial. A variabilidade é freqüentemente analisada por meio do cálculo da média e variância, segundo a medida de dispersão dos ND 's segundo "janelas móveis". A segunda característica assume que os ND 's não são distribuídos aleatoriamente em uma imagem, mas sim que existe uma variabilidade ou dependência espacial associada à estrutura de cada cobertura do solo. Segundo Lark (1996), as taxas de variabilidade entre os ND s podem ser medidas entre pares de $pixel$ dependendo do

seu relacionamento espacial, o qual pode descrever o comportamento espectral de cada tipo de cobertura do solo.

Considerando os ND 's de uma imagem digital como uma variável regionalizada, com características como aleatoriedade e correlação espacial, condições básicas de uma função variográfica, pode-se ajustar uma equação do tipo (Rossi *et al.*, 1994):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E\{DN(x+h) - DN(x)\}^2 \quad (1),$$

onde: $\gamma(h)$ representa metade da esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores dos pares de $pixel$ separados pelo vetor distância h , isto é, a semivariância; $\gamma(h)$ é uma função que depende do ângulo e da distância do vetor h entre os números de pares de valores de $pixel$ $x+h$ e x .

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os estudos variográficos foram realizados nas bandas 3 e 4 do Landsat -5 TM do ano de 1997, respectivamente as bandas do comprimento de onda do vermelho (3) e infravermelho próximo (4) do espectro-eletromagnético.

A figura 2, mostra as duas imagens digitais de satélite, bandas 3(a) e 4(b), onde se pode observar as diferentes respostas espectrais e os ruídos mais visíveis:

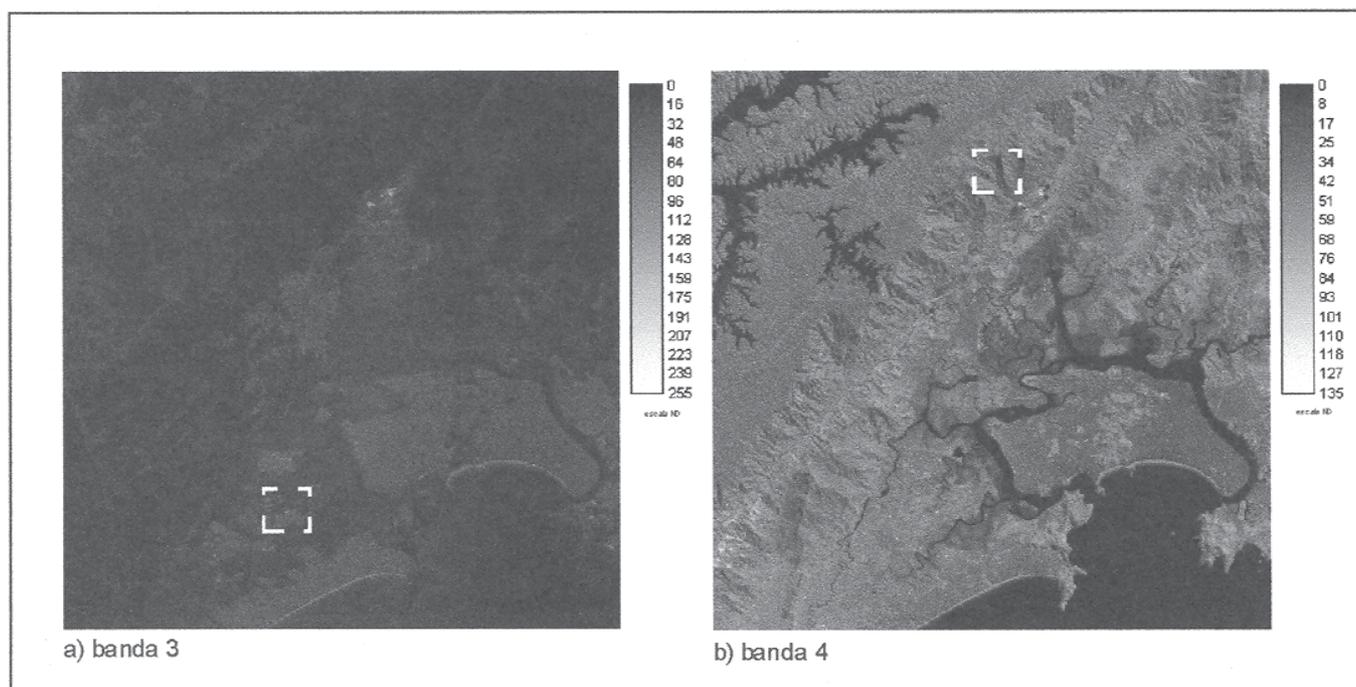


FIGURA 2: Bandas 3(a) e 4(b) com ruídos evidentes do tipo sombreamento de nuvens e topográfico.
FIGURE 2: Bands 3(a) and 4(b) showing two kinds of signals: clouds and topography.

Modelagem da superfície variográfica da banda 3

A geração da superfície variográfica da banda 3 representando o espaço estatístico baseado em nuvens dos pares de pixels em tons de cinza, mostra que onde as cores são mais escuras os locais apresentam baixa variabilidade e nos locais onde as cores são mais claras apresentam alta variabilidade.

O padrão predominante da superfície variográfica da banda 3 indica uma anisotropia da variabilidade dos NDs, ou seja, diferentes direções de variabilidade. Os variogramas experimentais que melhor se ajustaram (Figura 3) foram nas direções global (omnidirecional), 0° (N), 90° (EW) e 135° (SE), conforme mostrado a seguir:

O modelo variográfico que melhor representou o conjunto de pares de valores dos ND's da banda 3 sobre as diferentes direções foi o do tipo gaussiano com efeito pepita de 50, alcance de 6 e patamar igual a 400 (Figura 4):

Interpolação da banda 3 e verificação da precisão de interpolação

Determinado o modelo teórico para os variogramas experimentais e definidos os parâmetros de vizinhança procedeu-se de forma a aplicar a *krigagem ordinária* sobre a banda 3 (Figura 5):

O sumário estatístico da banda 3 (Figura 6) mostra que o número de pontos interpolados foi de 250.000, sendo que 100% dos pontos tiveram seus valores estimados. A correlação

entre os valores observados versus estimados foi de 90.86%.

Modelagem da superfície variográfica da banda 4

A superfície variográfica da banda 4 apresentou um padrão de variabilidade anisotrópico dos ND's. Foram calculados variogramas experimentais nas direções global (omnidirecional), 45° (EW) e 135° (SE), mostrados na figura 7:

O modelo variográfico que melhor se ajustou ao conjunto de curvas dos pares de valores de ND's da banda 4 foi o do tipo exponencial com efeito pepita de 45, alcance de 3.58 e patamar igual a 143 (Figura 8):

Interpolação da banda 4 e verificação da precisão de interpolação

Determinado o modelo teórico aos variogramas experimentais e definidos os parâmetros de vizinhança procedeu-se de forma a aplicar a *krigagem ordinária* sobre a banda 4. A Figura 9 apresenta o resultado deste procedimento:

O sumário estatístico do procedimento de interpolação da banda 4 (Figura 10) apresenta um número de pontos interpolados de 249.999, sendo que 99.99% dos pontos tiveram seus valores estimados. A correlação entre os valores observados versus estimados foi de 91.75%.

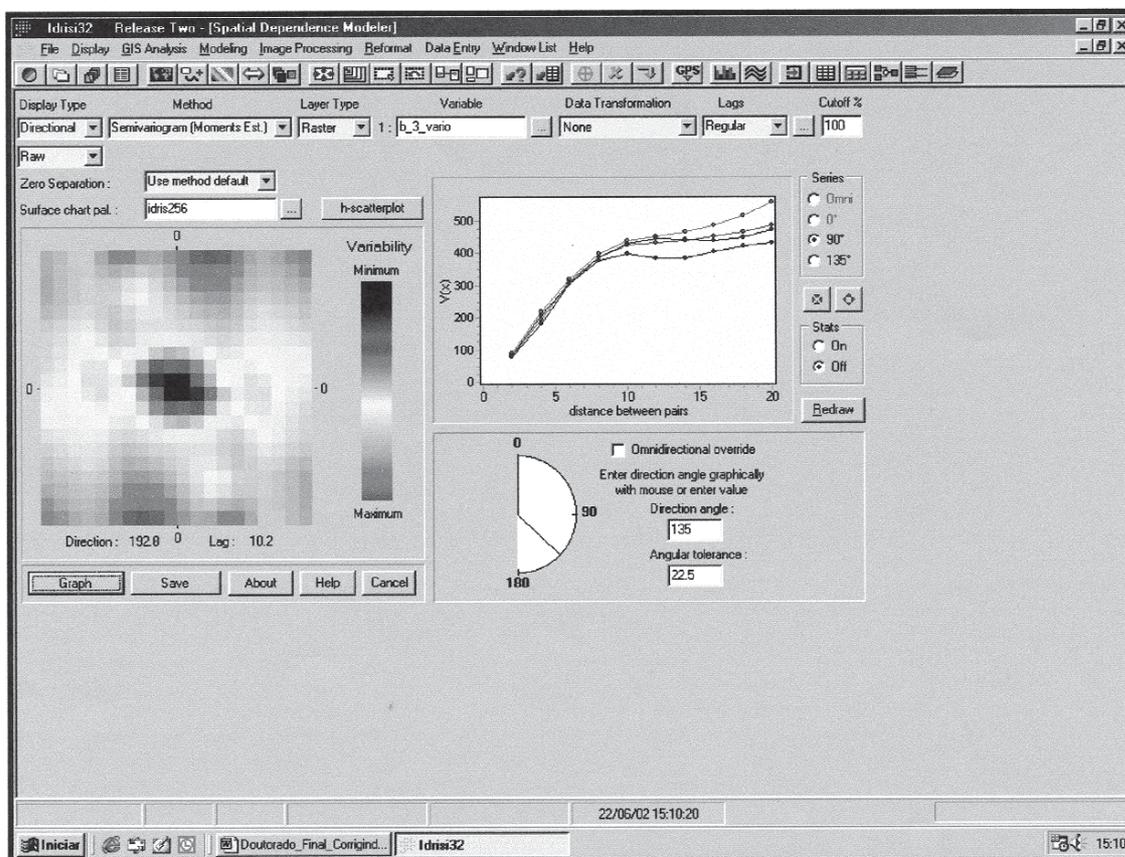


FIGURA 3: Superfície variográfica e modelos experimentais da banda 3.
FIGURE 3: Band 3 variogram surface and experimental models.

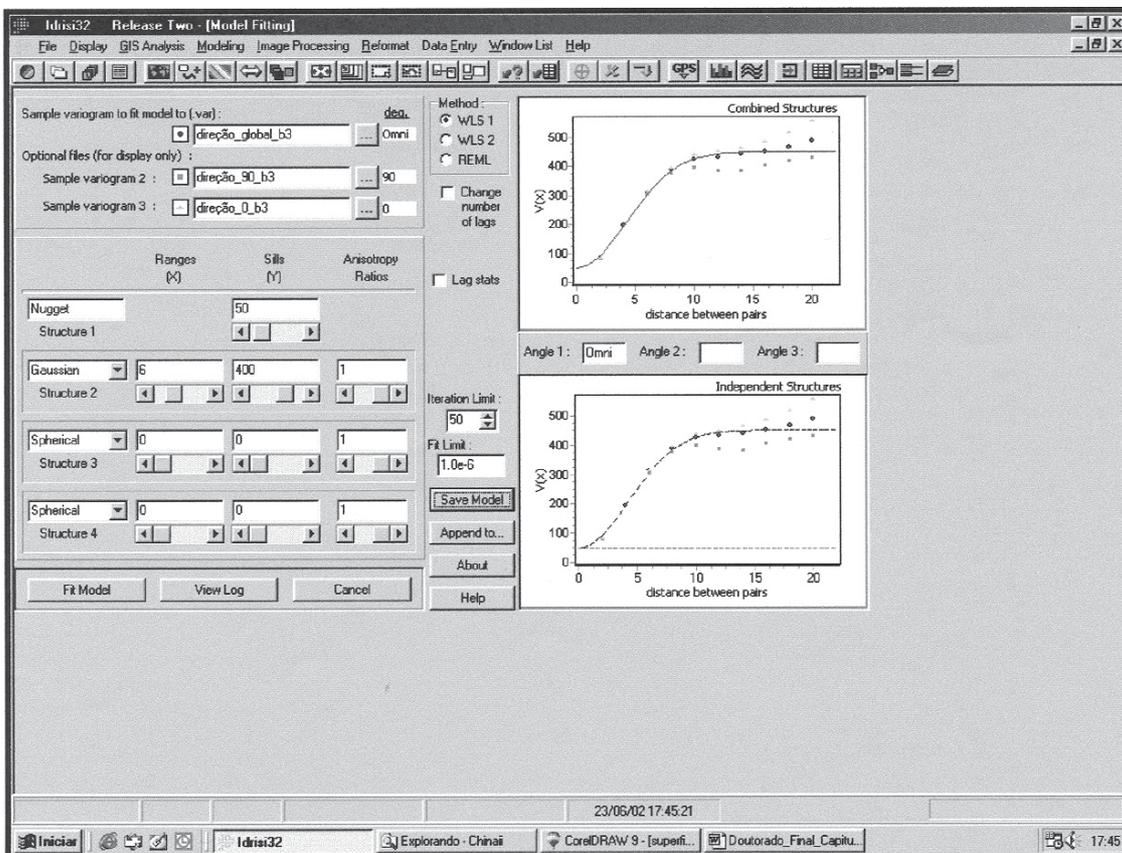


FIGURA 4: Modelo gaussiano ajustado aos valores dos NDs da banda 3.
 FIGURE 4: Gaussian model fitting to DN's values of band 3.

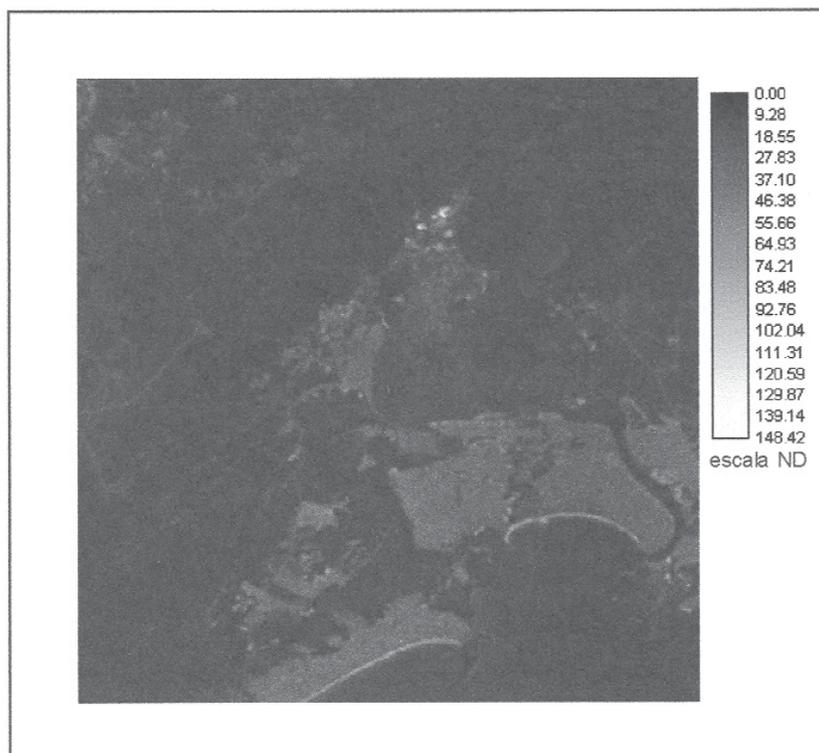


FIGURA 5: Banda 3 após o procedimento de interpolação.
 FIGURE 5:- Band 3 after the interpolation procedure.

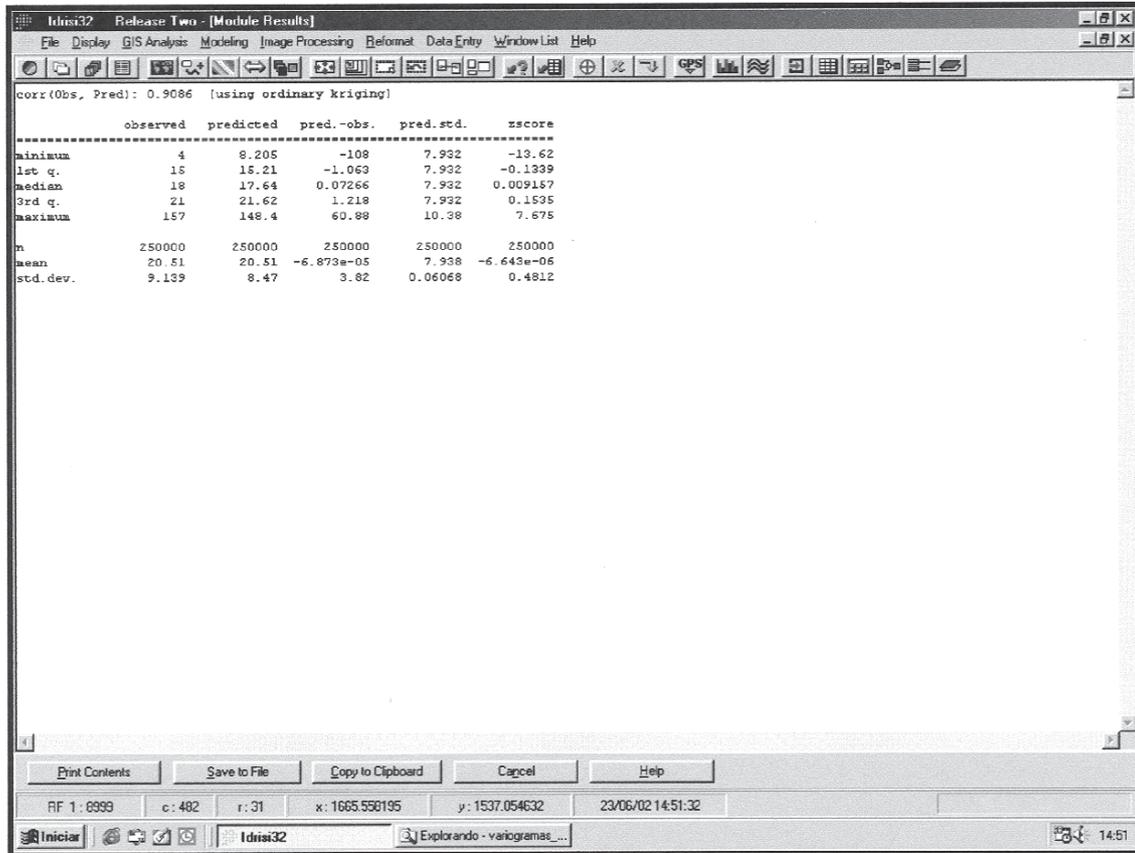


FIGURA 6: Sumário estatístico da krigagem da banda 3.

FIGURE 6: Statistical summary of the band 3 kriging.

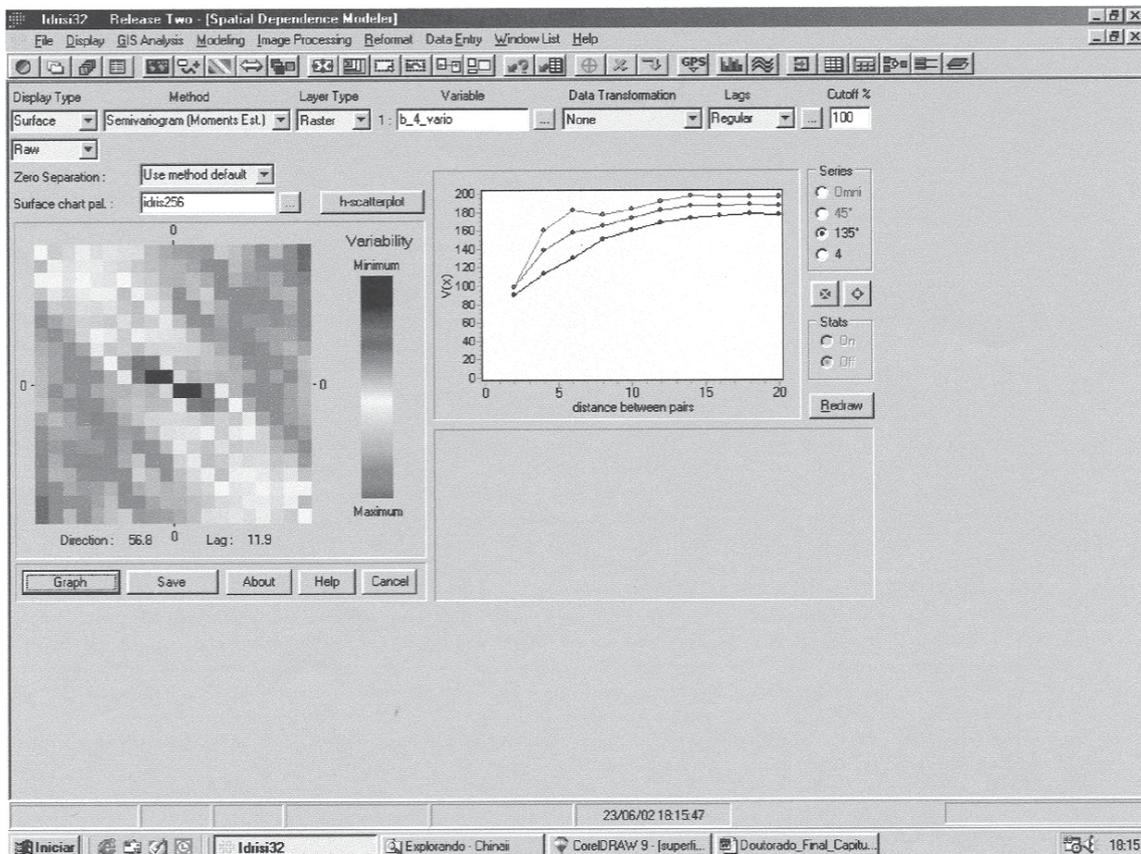


FIGURA 7: Superfície variográfica e modelos experimentais da banda 4.

FIGURE 7: Band 4 variogram surface and experimental models.

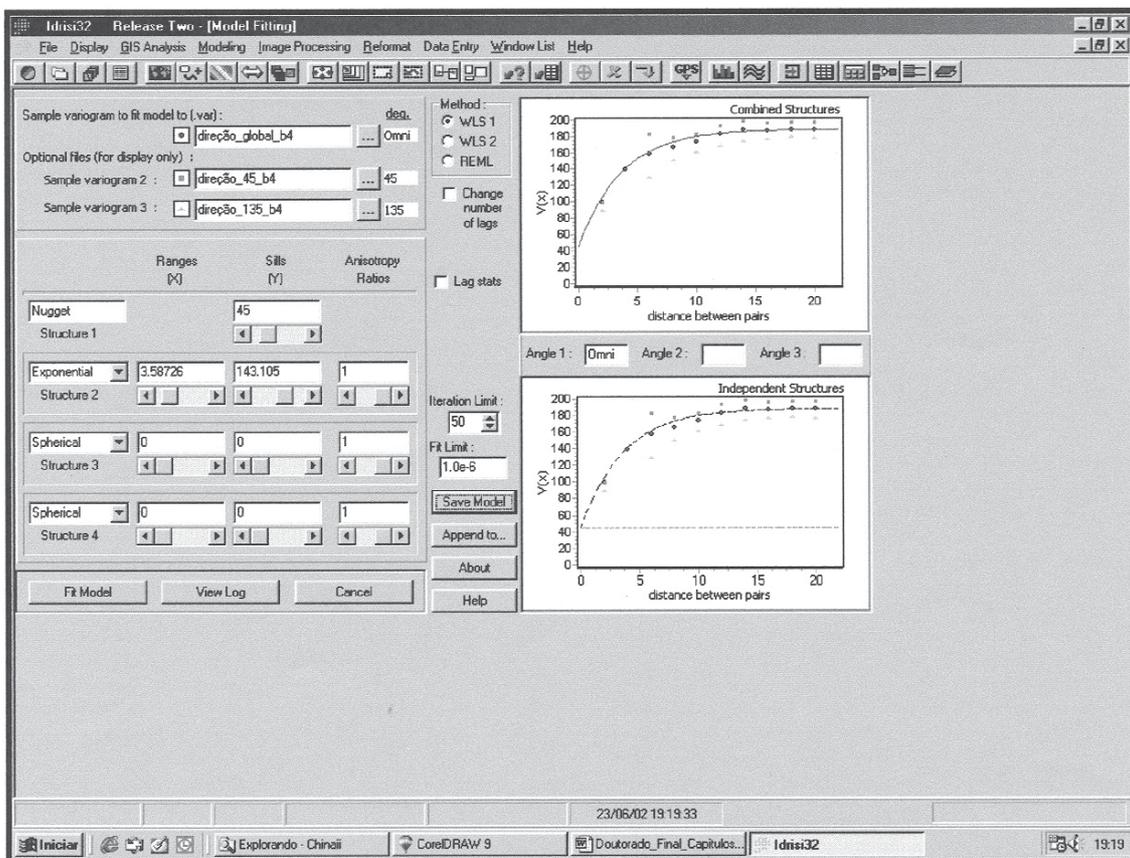


FIGURA 8: Modelo exponencial ajustado aos valores de NDs da banda 4.
 FIGURE 8: Exponential model fitting to DN's values of band 4.

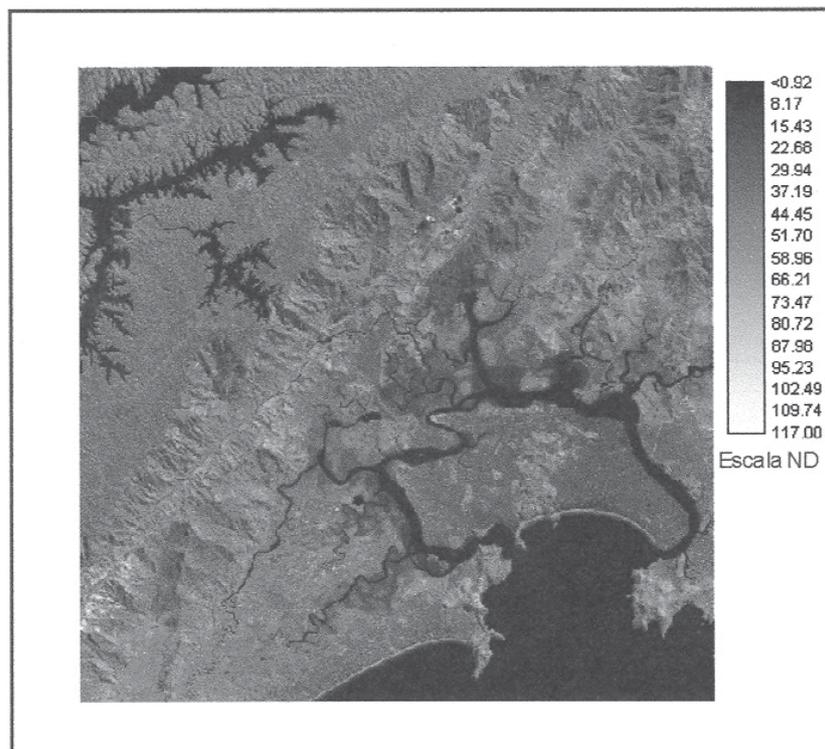


FIGURA 9: Banda 4 após o procedimento de interpolação.
 FIGURE 9:- Band 4 after the interpolation procedure.

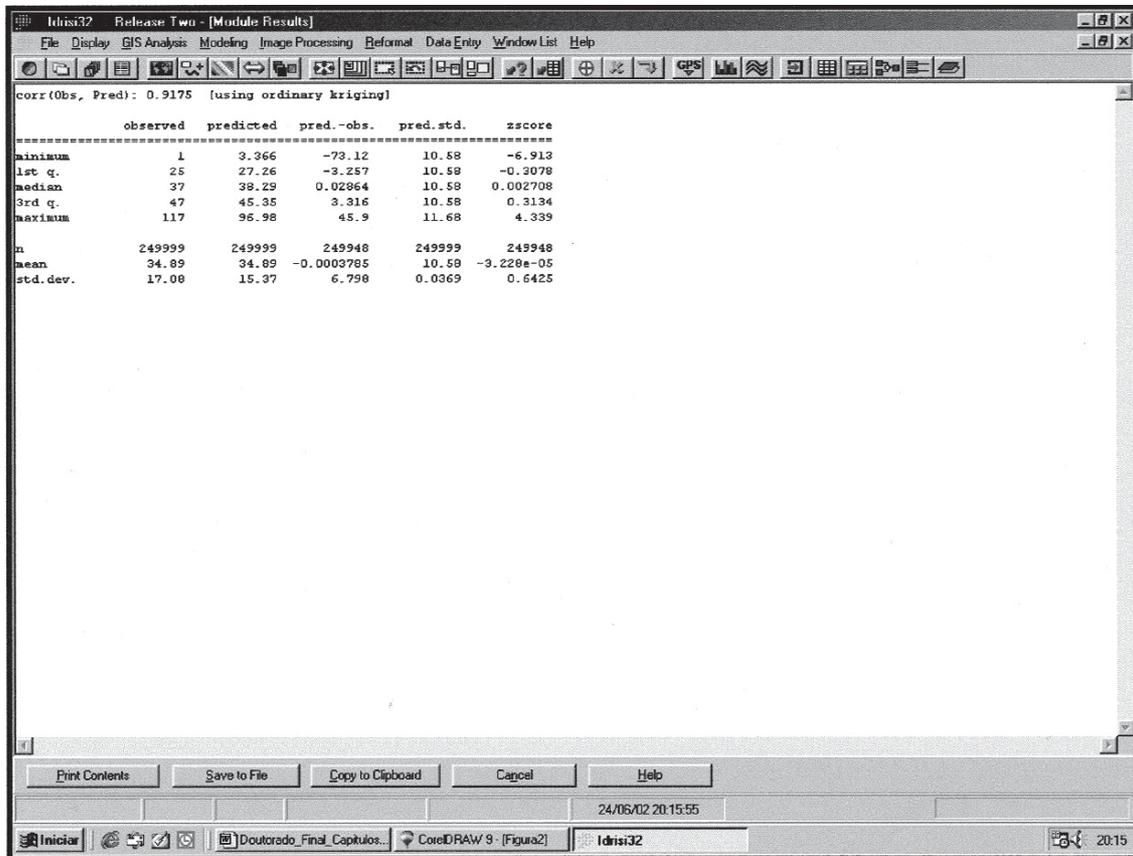


FIGURA 10: Sumário estatístico da krigagem da banda 4.
FIGURE 10: Statistical summary of the band 4 kriging.

Geração da imagem de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Após o tratamento variográfico as bandas 3 e 4 foram georreferenciadas com 40 pontos de controle para uma função de mapeamento quadrática e reamostragem do tipo bilinear. O RMS deste procedimento foi igual a 0.65. Em seguida foi gerado o mapa de NDVI da área de estudo.

A vegetação é caracterizada por uma intensa absorção devido à clorofila na região do vermelho (0,63 - 0,69 μm) e por uma intensa reflexão na faixa do infravermelho próximo (0,76 - 0,90 μm) causada pela estrutura celular das folhas. A diferença dos valores dos dados das bandas 3 e 4 são proporcionais à reflectância da cena vista, sendo a medida do grau de vegetação verde na imagem. Várias transformações matemáticas dos dados das bandas 3 e 4 do Landsat 5 TM podem mostrar indicadores sensíveis da presença da vegetação verde e são referidos como índices de vegetação nestas bandas.. O índice mais utilizado é o Índice de Vegetação com Diferença Normalizada (NDVI), definido por Tucker (1979):

$$NDVI = \frac{B_4 - B_3}{B_4 + B_3} \quad (2)$$

Para o cálculo desse índice foi utilizada a sub-rotina do programa Idrisi32, VEGINDEX, resultando em uma imagem que em função do próprio modelo matemático (2) apresenta valores que variam de -1 a +1 em escala de cinzas. O mapa do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) é apresentado na figura 11:

O mapa de NDVI (Figura 11) apresenta áreas com cores que tendem do cinza claro para o preto (de 0 para 1) indicando áreas com variabilidade de vegetação menos intensa para áreas sem qualquer tipo de vegetação. Esta conclusão pode ser observada nas áreas próximas as principais vertentes, áreas urbanas, contorno das represas e principalmente nos corpos d'água (rios, canais e mar). Por outro lado, as cores que tendem do cinza claro para o cinza escuro (-0.13 para -1) indicam áreas com maior presença de vegetação, locais localizados principalmente nos interflúvios das principais redes de drenagem e em alguns morros isolados, como o que divide Santos de São Vicente e a ponta do Guarujá.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de imagens digitais de satélite é uma importante contribuição para os pesquisadores de áreas da cartografia digital e correlata.

O processamento por geoestatística das bandas 3 e 4 mostrou ser uma ferramenta de grande utilidade quando se deseja melhorar a qualidade das imagens com relação a extração das informações relacionadas a interpretação da textura.

O mapa de *NDVI* se mostrou um tipo de mapeamento de grande utilidade quando se pretende obter uma caracterização da situação da vegetação e determinar áreas prioritárias com relação a preservação dessa variável.

No que diz respeito ao Software IDRISI 32 se apresentou de fácil operacionalidade e seus resultados bastante confiáveis.

Por fim, pode-se recomendar este tipo de técnica para se fazer o tratamento das imagens e o programa Idrisi 32 para o mapeamento da cobertura vegetal.

AGRADECIMENTOS

O autor principal agradece à FAPESP pela Bolsa de Doutorado (PROCESSO: 98/01162-2) do qual este trabalho fez parte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATINKINSON, P.M.; CURRAN, P.J. 1995. Defining an optimal size of support for Remote Sensing Investigation. *IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing*, v. 33, p. 768-776.

BERBEROGLU, S.; LLOYD, C.D.; AKTINSON, P.M.; CURRAN, P.J. 2000. The integration of spectral and textural information using neural networks for land cover mapping in the Mediterranean. *Computers & Geosciences*, v. 26, n. 4, p. 385-396.

CARR, J.R. 1996. Spectral and textural classification on single and multiple band digital images. *Computers & Geosciences*, v. 22, p. 849-865.

CHICA-OLMO, M.; ABARCA-HERNÁNDEZ, F. 1998. Radiometric coregionalization of Landsat TM and SPOT HRV images. *International Journal of Remote Sensing*, v. 19, p. 997-1005.

CHICA-OLMO, M.; ABARCA-HERNÁNDEZ, F. 2000. Computing geostatistical image texture for remotely sensed data classification. *Computers & Geosciences*, v. 26, n. 4, p. 373-383.

COHEN, W. B.; SPIES, T. A.; BRADSHAW, G. A. 1990. Semivariograms of digital imagery for analysis of conifer canopy structure. *Remote Sensing of Environment*, v. 34, p. 167-178.

CURRAN, P.J. 1988. The semivariogram in remote sensing: an introduction. *Remote Sensing of Environment*, v. 24, p. 493-507.

EASTMAN, R.J. 2001. *Release Two Idrisi Version 32.2*. Clark University, Worcester, MA, USA.

IRONS, J.R.; PETERSEN, G.W. 1981. Texture transform of remote

sensing data. *Remote Sensing of Environment*, v. 11, p. 359-370.

LARK, R.M. 1996. Geostatistical description of texture on an aerial photograph for discriminating classes of land cover. *International Journal of Remote Sensing*, v. 17, p. 2115-2133.

LACAZE, B.; RAMBAL, S.; WINKEL, T. 1994. Identifying spatial patterns of Mediterranean landscapes from geostatistical analyses of remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 15, p. 2437-2450.

QUARMBY, N.A. 1992. Towards continental scale crop area estimation. *International Journal of Remote Sensing*, v. 13, n. 5, p. 981-989.

ROSSI, R.E.; DUNGAN, J.L.; BECK, L.R. 1994. Kriging in the Shadows: Geostatistical Interpolation for Remote Sensing. *Remote Sensing of Environment*, v. 49, p. 32-40.

TUCKER, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, v. 8, n. 2, p. 127-150.

WALLACE, C.S.A.; WATTS, J.M.; YOOL, S.R. 2000. Characterizing the spatial structure communities in the Mojave Desert using geostatistical techniques. *Computers & Geosciences*, v. 26, n. 4, p. 397-410.

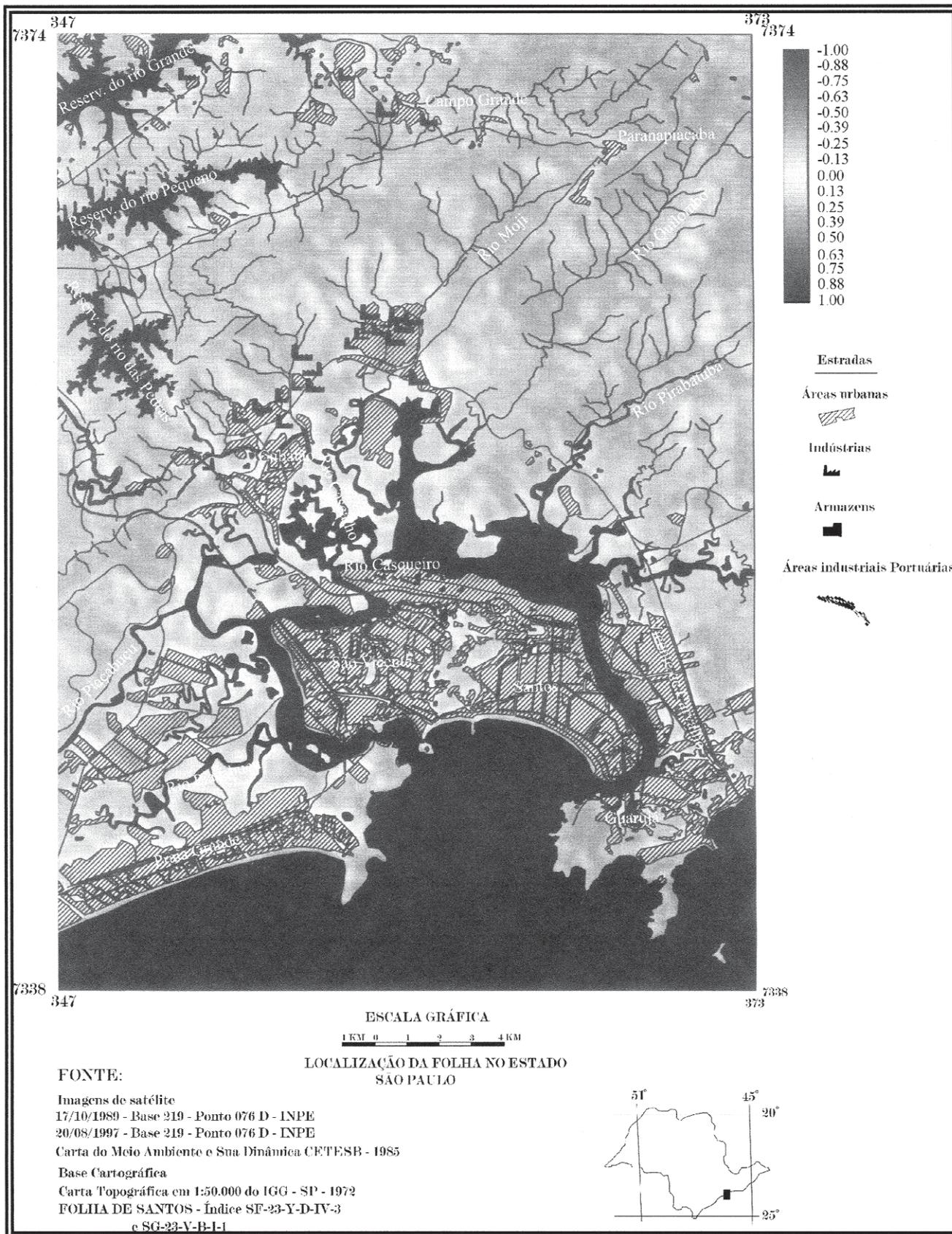


FIGURA 11: Mapa do NDVI para o ano de 1997.
FIGURE 11: NDVI map for the year of 1997.