

O USO DE PARÂMETROS BIOFÍSICOS NA QUANTIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE RISCO A DESERTIFICAÇÃO NA BACIA DO RIO BRIGIDA

Helio Lopes¹
Ana Lucia Bezerra Candeias²

¹ Universidade Federal de Pernambuco – Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação- DECART – lopesig@bol.com.br

² Universidade Federal de Pernambuco –Departamento de Engenharia Cartográfica (DECART) – analucia@ufpe.br

RESUMO

Esta pesquisa tem como meta a aplicação de parâmetros biofísicos na avaliação de processos degradatórios e identificação de riscos na bacia do Rio Brígida. Numa primeira etapa foram inseridos algoritmos na Linguagem LEGAL (Spring 4.0) dos seguintes parâmetros: Albedo, NDVI, SAVI e Emissividade. Para determinação do Estado da degradação realizou-se cruzamentos dos PIs com programas desenvolvidos linguagem do Spring. A região do Araripe é conhecida pela exploração do gesso, que acarreta uma sobrecarga nos recursos naturais da Região, sendo importante o monitoramento desse processo por técnicas de sensoriamento remoto. No contexto atual é necessário integrar ações sustentáveis conciliando programas sociais, ambientais e econômicos.

Palavras Chaves: Desertificação, Sensoriamento Remoto, Parâmetros biofísicos

BIOFISIC PARAMETERS TO QUANTIFY AND IDENTIFY DESERTIFICATION RISK IN BRIGIDA BASIN

ABSTRACT

This paper intend to apply biophysical paramters to appraise the degradation level and identify risks to desertification at Brigida River Basin. At the frist step, algorithms were inserted in LEGAL language (Spring 4.0) of the following parameters: Albedo, NDVI, SAVI and Emissivity. In order to determine the degradation status, it was done crossing of layers by programs developed on Spring's language.

Keywords: Desertification, Remote Sensing, Biophysical Parameters

1.INTRODUÇÃO

Este trabalho aplica parâmetros biofísicos na avaliação do estado da degradação e risco à desertificação na região da Bacia do Rio Brígida, localizada no sertão do Estado de Pernambuco, tornado fundamental para a espacialização do problema e estudo das suas causa e efeitos sociais, econômicos e ambientais.

Nos últimos anos várias definições de desertificação foram propostas. O conceito mais comum relaciona desertificação não somente com mudanças relacionadas com o clima, mas também com alterações induzidas pelo homem, e especialmente aquelas associadas com o uso inapropriado do solo, agricultura intensificada e consumo de madeira (COLLADO et al. 2002).

Um plano de manejo integrado dos recursos requer o estabelecimento de base de dados confiáveis para o monitoramento contínuo de um curto e longo período de mudanças da superfície para o combate do problema. Geralmente poucos dados estão disponíveis de forma a indicar o estado atual do ecossistema ou a proporção da degradação.

O registro da magnitude e da tendência da desertificação há anos atrás tem dependido principalmente, do uso de mapas, de pesquisas antigas, de relatórios de campo e fotografias aéreas. Estes esforços são freqüentemente dificultados devido à ampla área envolvida, às dificuldades de acesso e o tempo e custo despendido.

Durante décadas o papel de técnicas espaciais no monitoramento e no mapeamento tem sido examinado por muitos pesquisadores. Imagens multitemporais de satélites em conjunto com bases de dados

locais e mapas têm sido usados para examinar a natureza, tendência e quantificação do processo de desertificação em diferentes ambientes. Delineação e mapeamento de áreas afetadas são realizados para estabelecer uma base confiável para o monitoramento do processo de desertificação bem como estratégias adequadas para combatê-lo.

Um dos métodos para quantificação, avaliação de risco e monitoramento da desertificação é através de parâmetros biofísicos (índices de vegetação) e físicos (albedo, temperatura, emissividade, dentre outros) por meio de imagens orbitais e modelagem de parâmetros em um Sistema de Informação Geográfica, como também avaliação de dados históricos da precipitação e da evapotranspiração.

Desertificação gera problemas sociais, econômicos e ambientais. A recuperação de áreas degradadas é demorada e dispendiosa. Diante desta realidade o programa da ONU para combate à desertificação ressalta a realização de pesquisas envolvendo técnicas espaciais utilizando parâmetros biofísicos para acessar áreas sob risco de desertificação e em processo de desertificação.

O objetivo deste trabalho é aplicar parâmetros biofísicos na quantificação de processos de degradação na Bacia do Rio Brígida, visando o diagnóstico e distribuição do processo através de aplicação dos parâmetros em imagens Landsat TM, e acessar áreas sob risco de desertificação.

Esta pesquisa abrange o uso de algoritmos relacionados à temperatura da superfície, albedo, IVs e emissividade, associados com solos, altimetria (MDT), litologia, etc.

1.1 Desertificação

A agenda 21, no seu capítulo 12, definiu a desertificação como sendo “a degradação da terra nas regiões áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, resultante de vários fatores, entre eles as variações climáticas e as atividades humanas”. Por degradação da terra se entende a degradação dos solos e recursos hídricos, da vegetação e biodiversidade, e a redução da qualidade de vida das populações afetadas (ARAÚJO et al., 2002).

O índice de aridez formulado por Thornthwaite, em 1941, relaciona a quantidade de água que vem das chuvas e a perda máxima possível de água pela evapotranspiração potencial, servindo para distinguir regiões pelo grau de aridez climática. Valores entre 0,05 e 0,20 definem clima árido, valores entre 0,21 e 0,50, clima semi-árido e entre 0,51 e 0,65, clima sub-úmido seco, que correspondem às áreas enquadradas no escopo de aplicação da Convenção das Nações Unidas para o Combate a Desertificação (ARAÚJO et al., 2002).

Segundo ARAÚJO et al. (2002), os estudos sobre indicadores do processo de desertificação são importantes e é fundamental que estejam entre as prioridades da pesquisa devido subsidiar tomadas de decisões na esfera político-administrativa, dar condições para se estabelecer prioridades de ações quanto às medidas de prevenção, reabilitação e recuperação de terras degradadas e definir novas linhas de pesquisa.

Segundo RUBIO e BOCHET (1998), apesar da seriedade dos impactos ambientais e sócio-econômicos da desertificação, poucos esforços tem sido desenvolvidos para delinear técnicas de monitoramento e de diagnóstico para avaliar a situação e a tendência da desertificação. Indicadores são integrados em informações sintéticas que podem prover dados em estágio inicial, situação e evolução de processos físicos, químicos, biológicos e antropogênicos na dinâmica de ecossistemas.

Alguns processos físicos comumente mencionados, envolvidos na desertificação são (PRINCE, 2002):

- Perda da estrutura e coesão do solo;
- Crosta no solo, compactação do solo;
- Erosão do solo por desestruturação;
- Voçoroca;
- Erosão laminar;
- Acumulação do solo na base de plantas perenes;
- Aumento da complexidade da paisagem
- Formação de dunas
- Adição de sedimentos em corpos d'água;
- Perda de produtividade das plantas, pastagem, e vegetação;
- Tempestade de poeiras;
- Aumento de aerossóis atmosférico;
- Perda da rugosidade da superfície;
- Aumento do albedo;
- Diminuição da convecção;
- Mudança na circulação atmosférica.

1.2 Sensoriamento Remoto e Sistemas de Geoinformação Aplicados a Desertificação

O Sensoriamento Remoto por satélite prover economicamente dados estatísticos sinóptico sobre feições do meio ambiente e o uso de Sistema de Informações Geográficas (SIG), neste contexto, ajuda a determinar o mecanismo da degradação, promovendo informações valiosas em locais com vários graus de desertificação (GHOSH, 1993).

O mapeamento por satélite servirá para auxiliar regiões onde os mapas existentes estão ultrapassados ou não confiáveis para ser usado como base de informações para monitoramento de desertificação. Neste contexto o Sensoriamento Remoto tem um papel importante como uma tecnologia baseada em captação de dados que proverem uma perspectiva mais rápida e econômica mesmo em áreas mais difíceis. O Sensoriamento Remoto combina, portanto, todas as vias de investigações para acessar problemas de desertificação mais eficaz (ALI e MIRZA, 1993).

De acordo com OKIN, et al. (2001) degradação de terras áridas tem recebido atenção significativa na área técnica e popular durante varias décadas passadas. Muitos desses interesses têm sido em relação à natureza devido: à desertificação estar expandida globalmente; tendo conseqüências financeiras e sociais severos, aumentando o risco de segurança e saúde, e diminuição da produtividade agrícola; e algumas formas de desertificação são irrecuperáveis. A intensificação do uso de terras áridas por habitação humana, agricultura, industria, e recreação aumenta a quantidade de áreas diretamente impactadas. Processos adequados de entendimento permitirão a identificação de áreas sob elevado risco de desertificação antes que danos sérios tenham ocorrido.

Em face de largos fatores sócio-econômicos não sustentáveis, a vulnerabilidade de terras áridas para degradação, clama para um desenvolvimento conectado com modelos de detecção de processo de degradação e de estratégias de monitoramento, como forma a minimizar os danos ambientais e promover o manejo sustentável de atividades humanas em regiões áridas. A dramática mudança de paisagens que acompanha a degradação da vegetação árida pode ser monitorada usando técnicas e tecnologias presentes e futuras de sensoriamento remoto. Ferramentas de monitoramento remoto pode ser usada no futuro para identificar áreas em risco evolutivo de degradação antes que largas áreas sejam afetadas adversamente (OKIN et al).

O conhecimento científico e o desenvolvimento tecnológico, também constituem meios eficazes para a prevenção e o restabelecimento do equilíbrio ecológico, fixando formas de enfrentar os problemas. A tecnologia representa um poseroso instrumento para a aplicação de medidas preventivas, corretivas e de reabilitação de áreas afetadas pela desertificação (SEDESO, 1994).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo compreende os municípios inseridos na Bacia do Rio da Brigida, localizada no Sertão do Estado de Pernambuco, com nascente na Chapada do Araripe e Foz no Rio São Francisco e área de 14366 Km². Na Bacia esta inserido a área total de 6 Municípios (tabela 2 e Figura 1).

Tabela 2. Dados dos Municípios inseridos na Bacia do Rio da Brigida

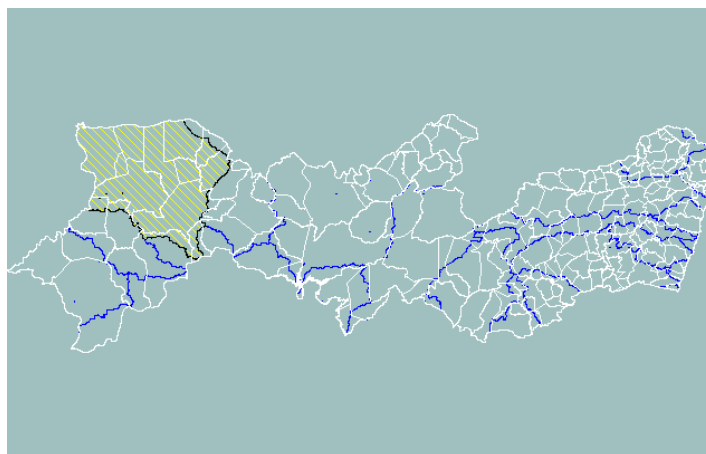
| Municípios | Área (Km ²) | População | Latitude | Longitude | Altitude (m) |
|------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| Araripina | 1914,40 | 70.592 | 07°34'34" | 40°29'54" | 622 |
| Bodocó | 1.604,90 | 31.712 | 07°46'42" | 39°56'28" | 443 |
| Granito | 519,70 | 6.104 | 07°52'04" | 39°36'53" | 447 |
| Ipubi | 972,10 | 23.210 | 07°39'07" | 40°08'56" | 535 |
| Ouricuri | 2383,90 | 56.623 | 07°52'57" | 40°04'54" | 451 |
| Trindade | 229,30 | 21.919 | 07°45'43" | 40°16'04" | 518 |

Fonte: Embrapa Solos (2001).

Outros municípios com parte de seus territórios inseridos na Bacia são: Cabrobó, Exu, Moreilândia, Orocó, Parnamirim, St^a Maria da Boa Vista, St^a Cruz, St^a Filomena e Serrita.



(a)



(b)

Figura 1. Bacia do Rio Brígida com localização dos municípios (a), e localização da Bacia no Estado de Pernambuco (b).
Fonte: Embrapa Solos (2001).

Para avaliação do estado da desertificação serão utilizados os algoritmos do Albedo, Temperatura, Emissividade, NDVI, Wdvi, SAVI, MSAVI, descritos nos subseções ulteriores. A partir dos resultados desses parâmetros serão gerados classes e realizado cruzamentos desses dados, como também associação com dados altimétricos, solos e litologia.

Serão utilizado seis imagens em períodos diferentes 1986/1987, 1994/1995 e 2003/2004, sendo em período seco e chuvoso. Para estudos preliminares foi utilizado uma imagem TM 5 217/065 de 02/11/1994 (período seco).

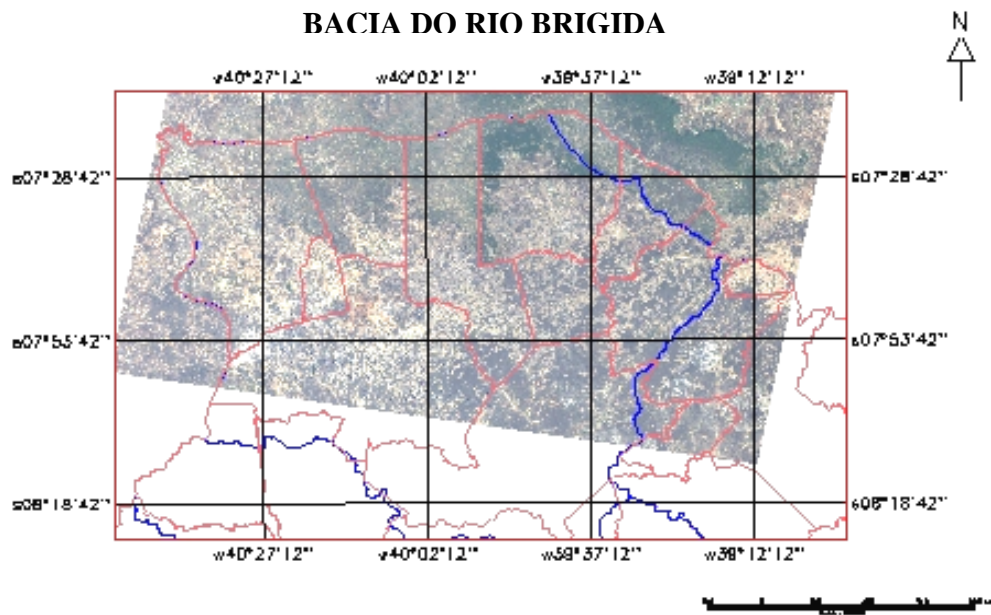


Figura 2. Landsat 5, composição RGB 321, data de passagem: 02/11/94, com limites da bacia e municipais (SECTMA, 1996).

2.1 Índices de Vegetação

Índices de vegetação (IV) são comumente desenvolvidos pela combinação de duas ou mais bandas espectrais (QI, 1994), gerando, assim, uma caracterização melhor para a vegetação quando comparada a uma única banda. O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada é definido pela seguinte fórmula.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (1)$$

O Índice de Vegetação da Diferença Ponderada é definido como:

$$WDVI = \rho_{NIR} - \gamma \rho_{RED} \quad (2)$$

onde: ρ_{NIR} é a reflectância no infravermelho próximo; e
 ρ_{RED} é a reflectância no vermelho.

Alguns problemas relacionados a estes índices existem devido ao efeito de fatores externos, tal como o efeito do solo (HUETE et al. 1985, citado por QI et al., 1994).

Para reduzir o efeito do solo, HEUTE (1988) propôs o uso de um fator de ajustamento do solo, denominado L , para computar variações no solo e formulou o Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (SAVI):

$$SAVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED} + L} \times (1 + L) \quad (3)$$

Segundo ELVIDGE e CHEN (1995), tem sido observado que variações nas propriedades espectrais das rochas e materiais do solo podem ter efeitos adversos nos índices de vegetação, especialmente em baixos níveis de cobertura vegetal.

Com quarenta por cento de cobertura verde, o nível de ruído no NDVI (0,18) é aproximadamente 10 vezes mais que o SAVI (<0,02) e quatro vezes mais que o WDVI (0,04) (Tabela 1). Isto corresponde a uma incerteza na estimativa da vegetação de $\pm 23\%$ de cobertura verde para o NDVI, $\pm 7\%$ de cobertura para o WDVI, e $\pm 2,5\%$ para o SAVI (QI, 1994).

Tabela 1. Variação nos índices de vegetação em relação ao ruído do solo.

| Modelo | Ruído do solo | Incerteza (%) |
|--------|---------------|---------------|
| NDVI | 0,18 | ± 23 |
| WDVI | 0,04 | ± 7 |
| SAVI | <0,02 | ± 2,5 |

Fonte: Qi et al., 1994

Devido o NDVI ser influenciado pelas características do solo, especialmente pelo brilho do solo, o L conterá ruído do solo. Ambos NDVI e WDVI variam com o brilho do solo, mas de maneira inversa, isto é, características mais escuras (ou molhadas) resultam em um valor do NDVI mais alto e valores de WDVI baixos, que características mais claras (ou secas) para quantidades idênticas de vegetação. Para diminuir a sensibilidade do ruído do solo, uma aproximação para a função L é deixar que a mesma seja o produto do NDVI e WDVI, para que cancele ou minimize o efeito do brilho do solo. Com isso Qi et al. (1994), desenvolveu o Índice de Vegetação Ajustado Modificado para os Efeitos do Solo.

$$MSAVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED} + L} (1 + L) \quad (4)$$

$$L = 1 - 2\gamma NDVI \times WDVI, \quad (5)$$

onde γ é o parâmetro primário da linha do solo (sendo atribuído o valor de 1,06).

Costa, et al. (2002), realizaram mapeamento da fitomassa, encontrando as seguintes relações:

$$DW_{total} = -980,47 + 11851,25 * PAI \quad (6)$$

$$PAI = 0,6401 \times \exp(2.6929 \times NDVI) \quad (7)$$

onde: DW_{total} : peso seco total;

PAI: Índice de área de planta.

A fitomassa pode ser um dado para o zoneamento de áreas susceptível, quando associado com outros parâmetros como solo, topografia clima, uso da terra, etc, Costa, et al. (2002).

2.2 Temperatura e Emissividade

Muitas experiências com processos de desertificação foram adquiridas durante experimentos de campo, tal com EFEDA (BOLLE et al. 1993, citado por SHÄDLICH et al. 2001), que focou na interligação entre superfície e atmosfera, e investigou a relação entre parâmetros adquiridos por satélites e características da superfície do solo.

Somente o sensoriamento remoto, por seu enfoque espacial intrínseco e multitemporal pode suprir a longo prazo e longa escala observações necessárias para detectar desertificação. Tendências quanto à desertificação ou mudanças na superfície do solo pode ser detectada antecipadamente por monitoramento de vários parâmetros de superfície. Um parâmetro chave é a mudança diurna da Temperatura da Superfície (LST), que pode ser derivado de dados de satélite.

Devido a falta de conhecimento, a emissividade da superfície é freqüentemente fixada como constante. Para áreas com pequena variação de emissividade esta aproximação é justificada [ex. para superfícies vegetadas em baixa variação de altura da superfície é tipicamente $\pm 0,01$, e causa erro na LST de $\pm 2K$ (Prata, 1993)], SHÄDLICH et al. 2001).

Segundo GOÏTA et al. (1997) geralmente a emissividade da superfície aumenta com a densidade de cobertura vegetal.

KERR et al. (1992) modificou o algoritmo *Split Window Technique* (SWT) para derivar temperatura da superfície com precisão melhor que 1,5K, para regiões áridas e semi-áridas. Alguns passos do algoritmo seguem aproximações empíricas. Para trabalhar sobre áreas com vegetação esparsa, o algoritmo leva em conta a fração do dossel derivado do NDVI.

FRENCH et al. (2000) discriminou diferença entre vegetação senescente e solo exposto, utilizando o infravermelho termal (8 - 12 μ m). Esta discriminação foi realizada pela computação das emissividades da banda termal no algoritmo *temperature-emissivities separation*, e depois classificada as feições da superfície

baseada no contraste espectral da emissividade. Quando conhecimento da amplitude da emissividade é combinado com índice de vegetação, tal como NDVI, a superfície pode ser classificada por um sistema ternário: solo exposto, vegetação verde, e vegetação em senescência. O benefício desta técnica é que predições do fluxo de calor pode ser baseado em uma representação mais acurada da superfície que outros realizados por esquemas de classificação da superfície no visível e infravermelho.

Segundo Bastiaanssen (2000), a temperatura é determinada pela inversão da equação de Planck:

$$T^{\text{RAD}} = \frac{1260}{\ln\left(\frac{61.6}{B_{\text{TM6}}(b, T)} + 1\right)} \quad (\text{K}) \quad (8)$$

onde:

$B_{\text{TM6}}(b, T)$: é a radiancia não corrigida na banda termal 6 em $\text{mW/cm}^2/\text{sr}/\mu\text{m}$.

A emissividade pode ser derivada por aproximação do NDVI pela seguinte equação Bastiaanssen (2000):

$$\varepsilon(8 - 14) = 1,009 + 0.047\ln(\text{NDVI}) \quad (9)$$

onde ε representa a emissividade da superfície na amplitude de 8 a 14 μm para cultivos esparsos.

2.3 Albedo

Accioly, et al. (2001), estudou as mudanças no albedo no núcleo de desertificação do Seridó através de imagens Landsat TM e verificou que o albedo aumentou em áreas ocupadas principalmente por solos Bruno Não-Cálcicos, Litólicos e em áreas onde há predominância de afloramentos de rochas. Os solos Bruno Não-Cálcicos e Litólicos são reconhecidamente mais susceptíveis à erosão. No caso dos solos Litólicos a hipótese mais provável é a de que esse aumento esteja associado à exploração da lenha em áreas que no passado eram mantidas preservadas.

Segundo ROBINOVE et al. (1981) imagens albedo podem ser derivadas diretamente de imagens digital do Landsat e uma seqüência de imagens albedo podem ser usadas para mostrar mudanças na superfície. Mudanças podem ser mapeadas em um nível de percentagem selecionada, para mostrar a localização, o padrão, quantidade, e direção (aumento ou diminuição) na mudança do albedo.

Áreas analisadas por ROBINOVE et al. (1981) mostraram que aumento no albedo é primeiramente devido ao solo exposto, e diminuição no albedo é primeiramente devido ao aumento da umidade do solo e aumento na densidade da vegetação.

Estudos apresentados na Assembléia Geral da ONU (2001) relatam a utilidade no uso de dados de satélite para estimar albedo da superfície, emissividade da superfície, temperatura da superfície e parâmetros físicos relacionados. Algoritmos têm sido usados para estimar o albedo da superfície por utilização eficaz de dados de informações de satélite.

A redução da cobertura vegetal também aumenta o albedo, que é a reflectância das propriedades da superfície do solo. Sobre circunstâncias específicas, o aumento no albedo reduz a precipitação local, intensificando o processo de desertificação. Logo, a vegetação é um fator principal na desertificação. Sua perda promove a desertificação, e a desertificação impede sua regeneração (Convention to Combat Desertification, UN, 1998).

Segundo Bastiaanssen (2000), uma formula para calcular o albedo da superfície é:

$$r_o = \frac{r_p - r_a}{\tau_{\text{sw}}^2} \quad (8)$$

onde:

r_p : albedo no topo da atmosfera;

r_a : albedo da atmosfera;

τ_{sw} : transmitância atmosférica.

3. RESULTADOS

Diversos modelos serão desenvolvidos na Linguagem LEGAL (SPRING), para posterior cruzamento dos dados e identificação de graus de degradação e riscos à desertificação.

A figura 2 mostra resultados da espacialização do SAVI e Albedo, em que a parte sul da Floresta Nacional do Araripe aparece com baixo SAVI no qual pode ser relacionado com a época de aquisição da imagem (seca) e a parte inferior esquerda da imagem com alto albedo.

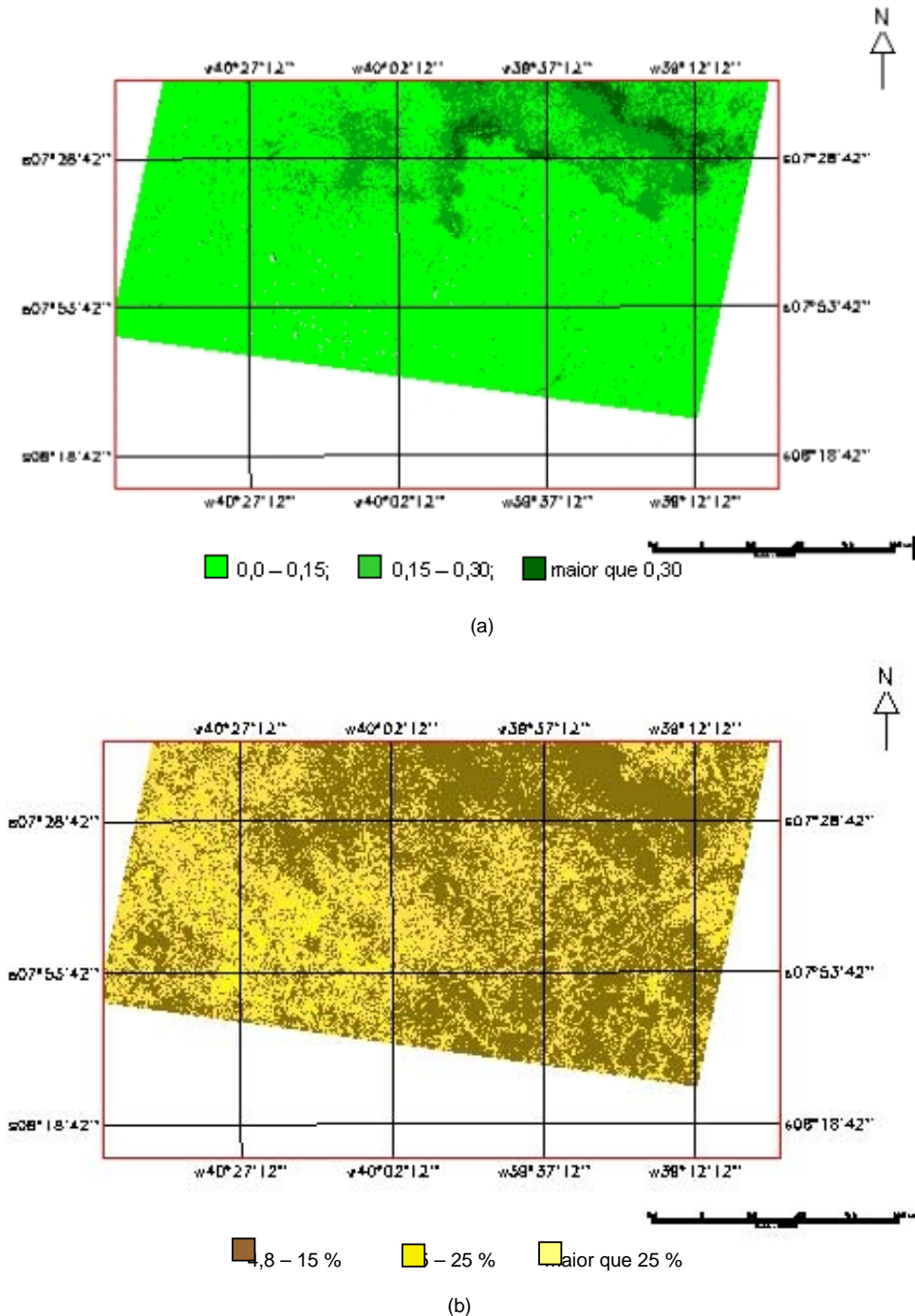


Figura 3. (a) Índice de vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo, e (b) Albedo da superfície. Planos de Informação gerados das imagens SAVI e Albedo pela modelagem dos algoritmos na linguagem LEGAL no programa Spring 2004.

4. CONCLUSÃO

A avaliação da magnitude e da tendência da desertificação tem dependido principalmente, do uso de mapas, de pesquisas antigas, de relatórios de campo e fotografias aéreas. Estes esforços são freqüentemente dificultados devido à ampla área envolvida, às dificuldades de acesso e o tempo e custo despendido. O uso do sensoriamento Remoto e de parâmetros biofísicos discutidos aqui neste trabalho podem auxiliar como indicadores de desertificação. Preliminarmente tem-se uma área ao sul da FLONA com baixo SAVI, indicando solo exposto e vegetação esparsa. Obteve alto albedo no sudoeste na imagem estudada (Figura 3).

Espera-se que ao final da pesquisa a geração dos seguintes dados:

- Desenvolvimento de uma metodologia para identificação de áreas degradadas e sob risco de desertificação.

- Dar subsídios aos órgãos estaduais e federais na tomada de decisão para o desenvolvimento de políticas sustentáveis para região.

- Avaliar o uso dos parâmetros no acesso a processos degradatórios.

Todos os parâmetros biofísicos estão programados na linguagem LEGAL (SPRING) e podem ser utilizados não apenas para a bacia aqui estudada mas para qualquer outra região.

5. BIBLIOGRAFIA

ACCIOLY, JLO; Oliveira,MAJ; Silva, FHBB; Burgos, M. **Avaliação de Mudanças no Albedo do Núcleo de Desertificação do Seridó através de Imagens do Landsat TM**. Anais X SBRS, Foz do Iguaçu, 2001.

ARAÚJO, A.; Santos, MFA.; Meunier, I.; Rodal, MJ. **Desertificação e Seca – Contribuição da Ciência e Tecnologia para a sustentabilidade do Semi-árido do Nordeste do Brasil**, Recife, 2002. 63p.

ALI, J. and Mirza M. I. **Space Technology In The Mapping Of Desertification In Pakistan**. *Adv. Space Res.* Vol. 13, No. 11, pp. (11)103-(11)106, 1993.

BASTIAANSEN, W. & Bakker, M. **Use of satellite data in agricultural water management**. EMBRAPA semi-árido. 2000.

COLLADO, A. D.; Chuviecow, E.; Camarasaw, A. **Satellite remote sensing analysis to monitor desertification processes in the crop-rangeland boundary of Argentina**. *Remote Sensing of Environment*, 65: 255–266. 2002.

COMISSION NACIONAL DE ANONAS ARIDAS, SECRETARIA DE DESARROLO SOCIAL-SEDESO, **Plan de Accion para Combater la Desertificacion em Mexico** (PACD-MEXICO), primera edición, Saltillo, Coahuila – México, 1994. 160p.

COSTA, TCC; Accioly, LJO; Oliveira, MAJ; Burgos, N; Silva; FHBB. **Phytomass Mapping of “Seridó Caatinga” Vegetation by the Plant Area and the Normalized Difference Vegetation Indexes**. *Scientia Agricola*, v 59, n.4, p.707-715.

ELVIDGE, C. D. and Chen, Z. **Comparison of Broad-Band and Narrow-Band Red and Near-Infrared Vegetation Indices**. *Remote Sensing of Environment* 54:38-48. 1995.

FRENCH, A. N.; Schmugge, T. J.; Kustas, W. P. **Discrimination of Senescent Vegetation Using Thermal Emissivity Contrast**. *Remote Sensing of Environment*. 74:249–254. 2000.

GHOSH, T. K. **Environmental impacts Analysis of desertification through remote sensing and land based information system**. *Journal of Arid environments*, 25:141-150. 1993.

HUETE, A. R. **A soil-adjusted vegetation index (SAVI)**. *Remote Sensing Environment*. 25:295-309. 1988.

KERR, Y. H.; Lagouarde, J. P.; Imbernon, J. **Accurate Land Surface Temperature Retrieval from AVHRR Data with Use of an Improved Split Window Algorithm.** *Remote Sensing of Environment*. 41:197-209. 1992.

OKIN, G. S.; Murray, B.; Schlesinger W. H. **Degradation of sandy arid shrubland environments: observations, process modelling, and management implications.** *Journal of Arid Environments* 47: 123–144. 2001.

PRINCE, S.D. **2 Spatial and Temporal Scales for Detection of Desertification.** Geography Department, University of Maryland, 2002.
<http://www.geog.umd.edu/news/dahlem.pdf>

QI J., Chehbouni A., Huete A. R., Kerr Y. H., Sorooshian S. A. **Modified Soil Adjusted Vegetation Index.** *Remote Sensing Environment*. 48:119-126. 1994.

ROBINOVE, C. J.; Chavez, P. S.; Gehring, D.; Holmgren, R. **Arid Land Monitoring Using Landsat Albedo Difference Images.** *Remote Sensing of Environment*, 11:133-156. 1981.

RUBIO, J. L. and Bochet, E. **Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in Europe.** *Journal of Arid Environments* 39: 113–120. 1998.

SCHÄDLICH, S.; Göttsche, F. M.; Olesen, F.S. **Influence of Land Surface Parameters and Atmosphere on METEOSAT Brightness Temperatures and Generation of Land Surface Temperature Maps by Temporally and Spatially Interpolating Atmospheric Correction.** *Remote Sensing of environment*, 75:39-46. 2001.

ZONEAMENTO AGROECOLÓGICO DO ESTADO DE PERNAMBUCO/Fernando Barreto Rodrigues e Silva [et al.]. Recife: Embrapa Solos - Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento - UEP Recife; Governo do Estado de Pernambuco (Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária), 2001. CD-ROM.ccc