

O PAPEL DO SENSORIAMENTO REMOTO NA AVALIAÇÃO E NO MONITORAMENTO DOS PROCESSOS DE DESERTIFICAÇÃO DO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO

ACCIOLY, L.J.de O.¹, COSTA T.C. e C.da², OLIVEIRA M. A.J. de³, SILVA, F.H.B.B. da¹, BURGOS, N.¹

INTRODUÇÃO

A Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (United Nations, 2001) conceituou a desertificação como o “processo de degradação das terras das regiões áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, resultante de diferentes fatores, entre eles as variações climáticas e as atividades humanas”. Estão ligados a essa conceituação as degradações do solo, da fauna, da flora e dos recursos hídricos. Entende-se por “degradação” das terras áridas, semi-áridas e sub-úmidas a redução ou perda da produtividade biológica ou econômica de atividades como, agricultura convencional, agricultura irrigada, pastagens naturais, pastagens plantadas e florestas resultante do uso ou de processos que incluam atividades humanas tais como: a) a erosão dos solos causada pelas chuvas ou pelos ventos; b) deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos; c) perdas, a longo prazo, da vegetação natural.

De acordo Thornes (2001), antes do estabelecimento dos planos de ação de combate à desertificação, duas questões essenciais devem ser respondidas: a) quais indicadores de desertificação devem ser usados, em escala local e regional, para a seleção de áreas que necessitam recuperação?; b) com base nestes indicadores onde estão localizadas essas áreas?

Em recente revisão Accioly & Oliveira (2002) apresentam a complexidade da seleção de indicadores para os processos de desertificação. Nesta revisão verifica-se que variáveis associadas à cobertura vegetal estão presentes em todas as listas de indicadores. Tal fato se deve a intrínseca relação entre cobertura vegetal e degradação dos solos, que pode ser traduzida na participação de variáveis associadas à cobertura vegetal, ao que tudo indica, em todos os modelos que tratam das perdas de solo por erosão hídrica. As diferenças no número e tipo de indicadores, e também, nos critérios de classificação das áreas potencialmente suscetíveis à desertificação, têm levado à produção de mapas que, como era de se esperar, diferem na área e/ou no grau de ocorrência da desertificação no semi-árido brasileiro. Desta forma, quando se considera as classes no intervalo entre muito grave e moderada, a desertificação nesta região pode atingir uma área que varia entre 182.000 e 665.500 km², segundo Riché et al. (1994) e Ferreira et al. (1994), respectivamente. Accioly (2000) apresenta um resumo das principais causas e características ambientais das áreas mais afetadas pelos processos de desertificação no semi-árido brasileiro.

¹ EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, UEP Recife, Rua Antônio Falcão 402, CEP 51020-240, Recife, PE.

² EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rua Jardim Botânico 1024, CEP 22460-000, Rio de Janeiro, RJ.

³ Bolsista Doutor (CNPq/DCR). EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, UEP Recife.

Embora o sensoriamento remoto através de sensores orbitais tenha frustrado as expectativas daqueles que dele esperavam um produto relativamente acabado, e que, rapidamente, pudesse informar sobre as condições dos processos de desertificação em nível regional (Thornes, 2001), a vasta literatura, sobre o uso desta ferramenta no monitoramento da cobertura vegetal em diferentes escalas e para diferentes ambientes, mostra a relevância da sua aplicação. Além disso, o surgimento de novos sensores (p. ex. MODIS) cria a expectativa de que novos dados permitam uma melhor compreensão da evolução dos processos de desertificação e ofereçam, também, valiosas informações aos planejadores e tomadores de decisão. Ainda, nesta linha, deve-se ressaltar que a continuidade, por mais de vinte anos, de programas como os do NOAA/AVHRR, do LANDSAT e do SPOT oferecem excelentes oportunidades para o estudo de processos que são conseqüências da intervenção humana a longo prazo, como é o caso da desertificação.

A importância do sensoriamento remoto como ferramenta para avaliar os processos de desertificação fica, ainda, mais evidente quando se verifica que um dos quatro indicadores recomendados pela ONU para avaliar o problema é o “índice de vegetação derivado de imagens de satélite”.

No Brasil, os relatos sobre desertificação se intensificaram a partir das décadas de 70 e 80 (Rodrigues, 1997). No Nordeste, um dos primeiros trabalhos de identificação de áreas em processo avançado de desertificação com base em imagens de satélite foi realizado por Vasconcelos Sobrinho (1983). Com base na interpretação visual de imagens do LANDSAT MSS de 1976 e 1978, esse autor mapeou, na escala de 1:500.000, oito núcleos de desertificação na região semi-árida de Pernambuco. Ainda com base em imagens do LANDSAT MSS, Aouad & Condori (1986) identificaram várias áreas vulneráveis aos processos de desertificação no estado da Bahia e Carvalho (1986) usou imagens do mesmo sensor para estudar a cobertura vegetal como indicadora dos processos de desertificação em Quixabá-PE. Em anos mais recentes o sensoriamento remoto tem sido utilizado para o acompanhamento das secas (Nobre et al., 1992) e para delimitar áreas degradadas susceptíveis aos processos de desertificação no estado do Ceará (Soares et al., 1992).

O objetivo deste trabalho é apresentar a metodologia e os principais resultados alcançados pelo projeto “Adaptação de métodos de geo-informação para o mapeamento e monitoramento das áreas em processo de desertificação do Sertão do Seridó” tendo como enfoque, o uso do sensoriamento remoto em dois indicadores, normalmente, usados para a avaliação da desertificação; a produtividade de biomassa e o albedo. Embora a experiência obtida neste trabalho esteja mais relacionada a um estudo de caso, espera-se, que as metodologias utilizadas sejam válidas para grande parte do semi-árido nordestino sob ameaça dos processos de desertificação.

AVALIAÇÃO DA FITOMASSA DA CAATINGA

Além de ser um importante indicador dos processos de desertificação, a avaliação da fitomassa tem várias aplicações, entre elas, a obtenção do potencial madeireiro e de lenha e a ciclagem de nutrientes. Neste último caso, destacam-se os estudos da ciclagem de carbono e suas relações com as mudanças climáticas

regionais e globais. A fitomassa para diferentes cobertura vegetal tem sido avaliada, normalmente de forma indireta, por meio de sensores remotos através da relação existente entre bandas individuais e/ou técnicas de realce (p. ex. índices de vegetação) com parâmetros biofísicos da vegetação (como o índice de área foliar - IAF) que, sob condições de campo, apresentam, também, boa relação com a fitomassa (Pereira, 1985; Santos, 1988; Kazmierczak, 1992; Amaral et al., 1996; Jakubauskas & Price, 1997; Santos et al., 1998; Xavier et al., 1998; Linhares et al., 2000; Qi et al., 2000). A fitomassa da caatinga foi avaliada por Costa et al. (2002) em uma área piloto (75.000 ha) do núcleo de desertificação do Seridó (Figura 1). Dezesesseis transectos de 500 m, georeferenciados e apresentando três níveis de densidade da vegetação do Seridó (IBAMA, 1992) foram selecionados e usados para a coleta de dados de fitomassa, fitossociológicos e de índice de área de planta (IAP), medido com o equipamento LAI-2000 (LI-COR, 1992), para árvores e arbustos com diâmetro na base igual ou superior a 1 cm. Neste trabalho, foram estabelecidas equações de regressão entre dados espectrais do sensor LANDSAT/ETM+ (com passagem em maio de 2000) realçados por meio do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI)⁴ e o IAP obtido para as 16 áreas amostradas. A Figura 2 resume, por meio de um fluxograma, os procedimentos utilizados para gerar o mapa de fitomassa da caatinga em função do NDVI.

Os resultados mostraram a seguinte relação entre o peso seco total (PStotal = peso seco dos galhos + peso seco das folhas) e o IAP :

$$PStotal = -980,47 + 11.851,25 * IAP, R^2 = 76,48.$$

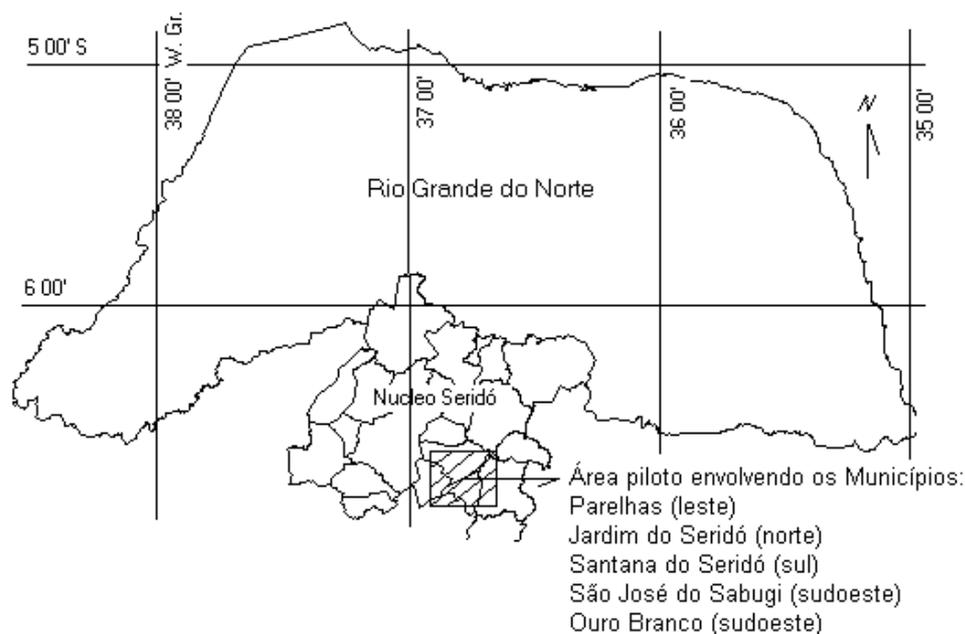


Figura 1. Área de Estudo no Núcleo de Desertificação do Seridó, RN.

⁴ Para o caso do sensor TM e ETM+, $NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$, onde TM4 e TM3 representam os valores de radiância para as bandas 4 (infravermelho próximo) e banda 3 (vermelho)

A relação entre IAP e NDVI foi obtida com a equação:

$$IAP = 0,6401 * \exp(2,6929 * NDVI), R^2 = 78,02.$$

Com base nas relações obtidas, foi possível gerar o mapa da fitomassa da caatinga em função do NDVI, conforme apresentado na Figura 3. Na referida Figura, as áreas ocupadas com caatinga com fitomassa inferior a 5 Mg ha⁻¹ podem ser consideradas em avançado estágio de desertificação ou desertificadas. As áreas com fitomassa igual ou superior a 20 Mg ha⁻¹ podem ser consideradas como “preservadas”. As áreas de caatinga no intervalo entre 5 e 20 Mg ha⁻¹ de fitomassa apresentam diferentes estágios de desertificação.

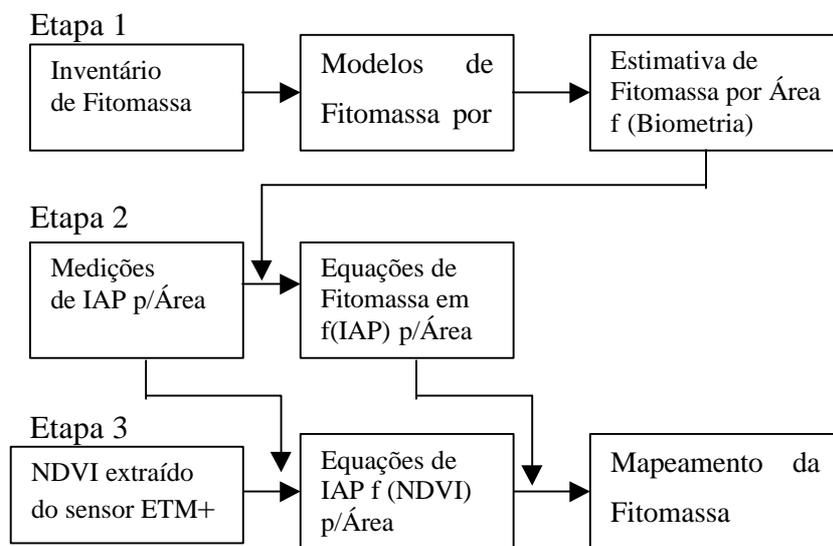


Figura 2. Fluxograma dos procedimentos para mapeamento de fitomassa.

AValiação de Mudanças no Albedo

Conforme visto anteriormente, um dos indicadores da desertificação é a redução da fitomassa da caatinga. Aliada à redução da fitomassa está a degradação dos solos das áreas com menor cobertura vegetal. Essas duas condições tendem a aumentar o albedo das superfícies sujeitas à degradação. O albedo é definido como a fração da energia recebida no intervalo do espectro solar (0,3 a 3,0 μm) que é refletida por uma superfície (Monteith & Unsworth, 1990). Sob condições de campo o albedo é medido com instrumentos conhecidos por piranômetros. Os piranômetros têm campo de visada hemisférico, integram toda a radiação refletida no espectro solar e, desde que sejam usados sob condições de céu claro, não sofrem interferência da atmosfera. Apesar das restrições com relação ao campo de visada (direcional, o que implica na suposição de que as superfícies medidas são isotrópicas), uso de bandas discretas e influências da atmosfera, os sensores orbitais têm sido utilizados com maior frequência na avaliação das mudanças de albedo na superfície terrestre, por apresentarem vantagens como a possibilidade de monitoramento de grandes áreas.

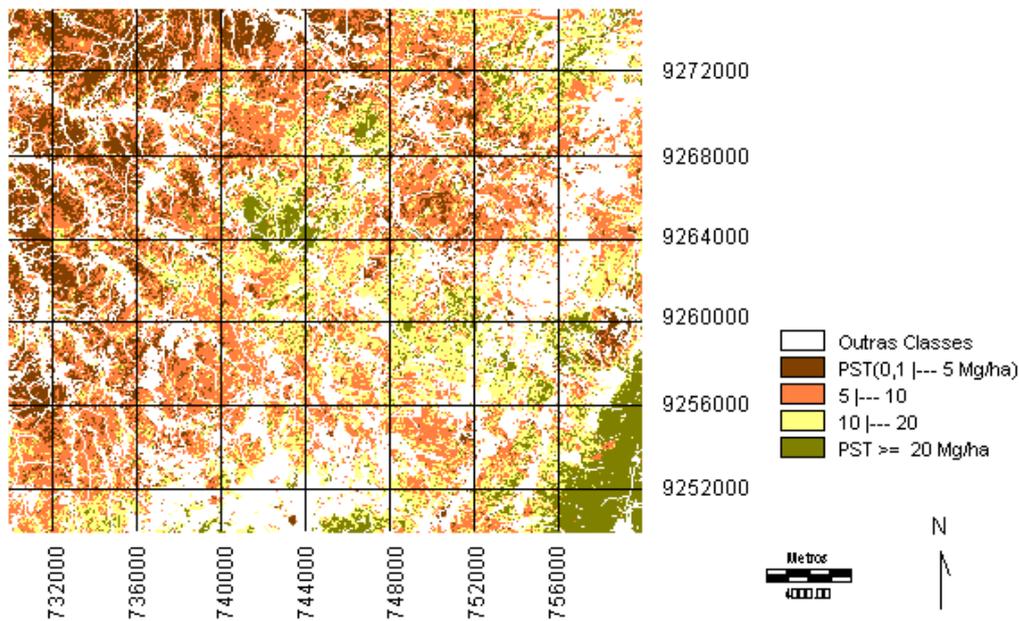


Figura 3. Mapa da fitomassa (peso seco total em Mg há⁻¹) da área piloto do núcleo de desertificação do Seridó, RN.

O objetivo desse trabalho foi a verificação de mudanças no albedo da área piloto (Figura 1) entre os anos de 1994 e 1999.

As imagens de albedo referentes aos anos 1994 e 1999 foram obtidas a partir da conversão dos níveis de cinza (NC) das imagens originais para reflectância. O método foi aplicado em duas etapas. Na primeira etapa os valores de NC foram convertidos em radiância espectral na banda i (L_i em $Wm^{-2}sr^{-1}:m^{-1}$) utilizando-se os valores de radiância mínima (L_{imin}) e máxima (L_{imax}) para a banda considerada obtidos a partir da calibração absoluta de pós lançamento dos sensores LANDSAT 5 TM e LANDSAT 7 ETM+:

$$L_i = L_{imin} + [(L_{imax} - L_{imin}) / 255] * NC_i \quad (1)$$

Onde:

NC_i = Nível de Cinza na banda i .

Valores de L_{imin} e de L_{imax} para a imagem do LANDSAT 7 ETM+ (1999) foram extraídos do Handbook do Landsat 7 (NASA, 2001), enquanto que, para o caso da imagem do sensor TM foram usados os valores apresentados por Thome et al. (1997) para a data de 08 de Outubro de 1994. O trabalho de Thome et al. (1997), no entanto, assume que $L_{imin} = 0$.

Uma vez convertidos os valores de NC em radiância a próxima etapa foi a da remoção do efeito de primeira ordem da atmosfera. Para tanto, foram utilizados os valores mínimos de radiância dados por alvos escuros. Os valores de L , para esses alvos, podem ser atribuídos ao somatório do sinal de ruído do

instrumento com a fração da energia que é refletida pela atmosfera que atinge diretamente o sensor para a banda considerada (“path radiance”).

A conversão de radiância para reflectância é dada pela seguinte equação:

$$\Delta_i = B * Lic * d^2 / E_{0i} * \cos 2_s \quad (2)$$

Onde:

Lic = radiância corrigida (subtraído o valor encontrado para o alvo escuro)

na banda i ($Wm^{-2}sr^{-1}:m^{-1}$)

d = distância da terra ao sol (unidade astronômica=AU)

E_{0i} = irradiância solar no topo da atmosfera terrestre ($Wm^{-2}:m^{-1}$) para a banda i

2_s = ângulo solar zenital

Os valores de E_{0i} foram obtidos através de modelagem, utilizando-se o programa MODTRAN 3.0 (Berk et al., 1989) configurado para o modelo de atmosfera tropical no modo de irradiância solar direta, com visibilidade de 23 km. A opção de espalhamento atmosférico escolhido foi a do tipo Rayleigh. Os valores de E_{0i} foram obtidos assumindo-se a média de resposta do sistema detector/filtro do sensor TM para o intervalo de comprimento de onda abrangido para cada banda. Essa suposição não teve maiores impactos sobre a imagem da diferença de albedo uma vez que foi usada para as imagens de ambas as datas. O ângulo solar zenital para a imagem de 1994 foi calculado considerando-se o dia do ano (Dda) no calendário juliano e a latitude e longitude da área piloto e o horário local aparente da passagem do LANDSAT 5 TM conforme descrito por Iqbal (1983). A Tabela 1 apresenta um resumo dos dados utilizados na obtenção da imagem reflectância para as duas datas.

As imagens de albedo da área piloto foram obtidas, utilizando programas desenvolvidos no “Spatial Modeler Language” do software ERDAS 8.3.1, a partir dos dados gerados pelas equações 1 e 2. Cada píxel da imagem albedo representa o somatório das reflectâncias das bandas 1 a 5 e 7. Este procedimento tem sido utilizado por outros autores para extração dos valores de albedo em cenas do LANDSAT (Robinove et al., 1981). A imagem das mudanças espaciais nos valores de albedo foi obtida pela subtração da imagem albedo do ano de 1994 da imagem albedo referente ao ano de 1999.

Tabela 1. Dados utilizados para a calibração das imagens.

Banda do Sensor TM	1	2	3	4	5	7
Intervalo espectral (:m)	0,45- 0,52	0,52 – 0,60	0,63- 0,69	0,76- 0,90	1,55- 1,75	2,08- 2,35
Imagem 1994 (TM)						
- Data da passagem: 20-11-1994						
- Dda: 324						
- Ângulo solar zenital (2): 47,26°						
- Cos2 = 0,67867						
- Lmin (Wm ⁻² sr ⁻¹ :m ⁻¹)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
- Lmax (Wm ⁻² sr ⁻¹ :m ⁻¹)	208,7	390,5	287,5	241,9	37,4	19,4
- E ₀ (Wm ⁻² :m ⁻¹)	2014	1895	1598	1105	238,0	78,4
- d = 0,98653 AU						
- Ncmin	56	21	19	5	5	0
Imagem 1999 (ETM+)						
- Data da passagem: 06-08-1999						
- Dda: 218						
- Ângulo solar zenital (2): 39,10°						
- Lmin (Wm ⁻² sr ⁻¹ :m ⁻¹)	-6,2	-6,4	-5,0	-5,1	-1,0	-0,35
- Lmax (Wm ⁻² sr ⁻¹ :m ⁻¹)	191,6	196,5	152,9	157,4	31,06	10,80
- E ₀ (Wm ⁻² :m ⁻¹)	1913,7	1800	1518	1049	226,1	74,53
- Cos2 = 0,77604						
- d = 1,01475 AU						
- Ncmin	55	33	26	14	12	9

Os resultados mostraram que os coeficientes de calibração, em média mais altos para a imagem de 1994, aumentaram consideravelmente os valores de $L_{i\max}$ tendendo a superestimar o albedo da área piloto para esse ano. Essa superestimação embora tenha mascarado os resultados nas áreas com menor variação de albedo, não invalida a discussão desses resultados para as áreas onde houve aumento do albedo no ano de 1999. Para facilitar a interpretação dos resultados a imagem da diferença de albedos foi recodificada em quatro classes que levaram em consideração apenas os valores de albedo iguais ou superiores a zero (Figura 4). A variação positiva do albedo ocorreu em 8,6 % da área piloto sendo 4,5; 1,8 e 2,3% para as faixas de 0 a 10; 10 a 20 e maior que 20 %, respectivamente.

A maior parte das variações de albedo maiores que 20 % não estiveram associadas à degradação do solo e/ou à alterações no seu uso mas sim à redução no nível dos açudes devido à seca que assolou essa

região nos anos de 1997 a 1999. A maior parte da área ocupada por água em 1994 foi ocupada por vegetação verde quando o nível da água baixou nos anos de 1997 a 1999. Esse fato provocou um aumento considerável na reflectância, principalmente, para a banda 4 (infravermelho próximo). Nas demais bandas, os valores mais altos estiveram associados à exposição do solo com a retração das águas durante a seca. Com a retração das águas dos açudes houve uma maior influência das características de reflectância dos alvos da vizinhança sobre a reflectância dos espelhos d'água. Esse fato levou ao aumento dos valores mínimos da resposta espectral dos alvos escuros (Tabela 1), principalmente, nas bandas localizadas nos infravermelho próximo (banda 4) e médio (bandas 5 e 7) em 1999, quando comparados aos valores de 1994.

Após isolar as áreas com variação acima de 20% no albedo não associadas aos açudes, verificou-se que a redução do espelho d'água em 1999 foi de cerca de 43% em relação ao ano de 1994, passando de 8,04 para 4,45 km².

Fora das áreas ocupadas por espelhos d'água, verificou-se que o albedo aumentou em áreas ocupadas principalmente por solos Bruno Não Cálcicos (Área 1 da Figura 5), Litólicos (Área 2 que corresponde à Serra das Queimadas na Figura 5) e em áreas onde há predominância de afloramentos de rocha (Área 3 da Figura 5). Os solos das classes Bruno Não Cálcicos e Litólicos são, também, reconhecidamente mais susceptíveis à erosão. No caso dos solos Litólicos a hipótese mais provável é que esse aumento esteja associado à exploração da lenha em áreas que no passado eram mantidas preservadas ou seja, áreas onde grande parte do relevo pertence às classes forte ondulado (20 a 45% de declividade) e montanhoso (45 a 75% de declividade) localizadas no trecho da Serra das Queimadas contido na área piloto.

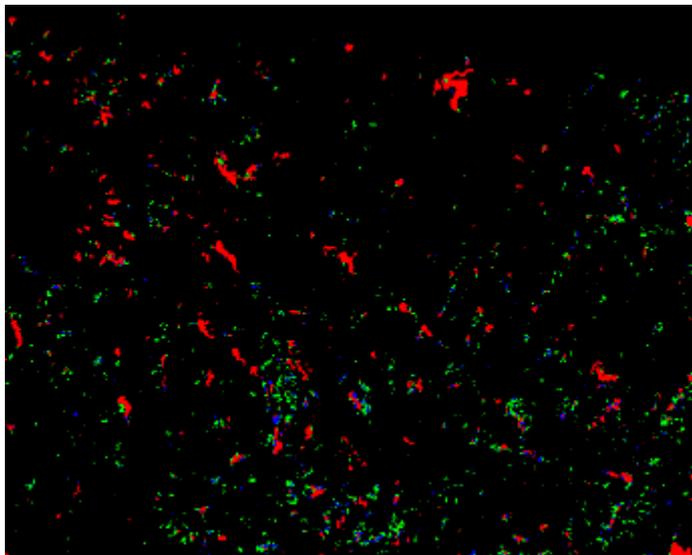


Figura 4. Classes de alteração nos valores de albedo entre os anos de 1994 e 1999. As cores preta, verde, azul e vermelha indicam, respectivamente, as seguintes variações no albedo: 1) nula ou menor que zero; 2) maior que zero e menor que 10 %; 3) igual a 10 e inferior a 20 %; 4) maior que 20%.

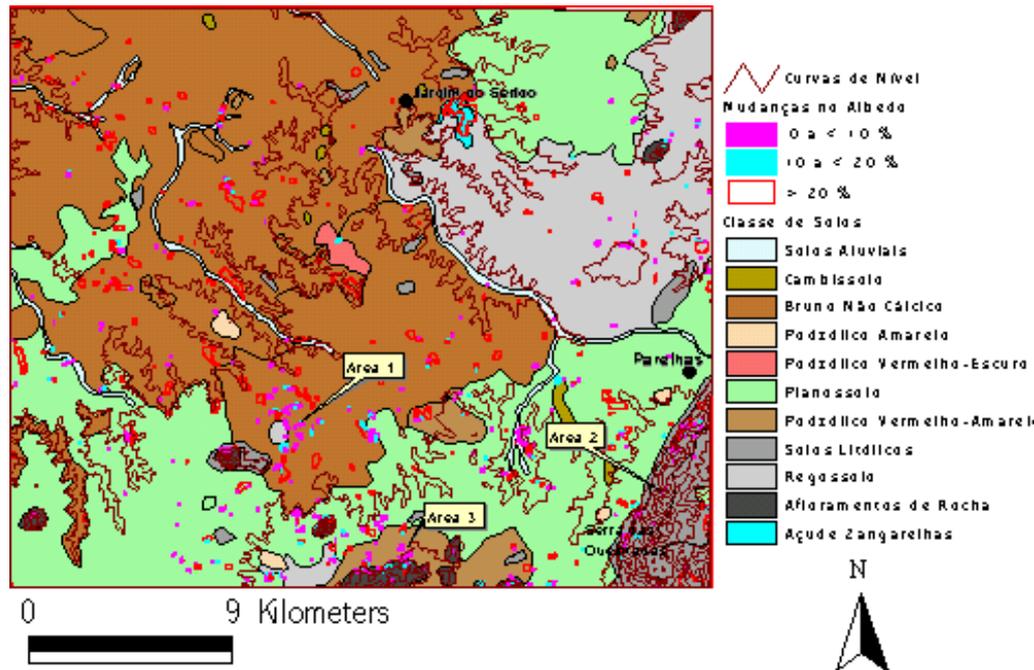


Figura 5. Mapa das mudanças no albedo tendo como “background” o mapa das classes de solos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIOLY, L.J. de O. Degradação do solo e desertificação no Nordeste do Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 25:23-25, 2000.
- ACCIOLY, L.J. de O.; OLIVEIRA, M.A.J. de. Indicadores de processos de desertificação. **I SEMAIA**, 2002 (no prelo).
- AMARAL, S.; SOARES, J.V.; ALVES, D.S.; MELLO, E.M.K.; ALMEIDA, S.A.S.; SILVA, O.F.; SILVEIRA, A.M. Relações entre índice de área foliar (IAF), área basal e índice de vegetação (NDVI) em relação a diferentes estágios de crescimento secundário na Floresta Amazônica em Rondônia. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 8, 1996 Salvador. **Anais...** Salvador: INPE; SELPER, 1996.
- AOUAD, M.S.; CONDORI, R.V. Desertificação no Estado da Bahia: levantamento preliminar de áreas vulneráveis. In: **SEMINÁRIO SOBRE DESERTIFICAÇÃO NO NORDESTE**, 1986, Brasília. **Anais ...** Brasília: Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 1986. p.128-147.
- BERK, A.; BERNSTEIN, L.S.; ROBERSON, D.C. **MODTRAN: A moderate resolution model for LOWTRAN 7**. U.S. Air force Geophysical Laboratory (AFGL), Hanscom Air Force Base, Massachusetts, 1989.

- CARVALHO, V.C de. O uso de sensoriamento remoto para um estudo de caso de desertificação a partir de análise de cobertura vegetal de Quixabá – PE. In: SEMINÁRIO SOBRE DESERTIFICAÇÃO NO NORDESTE, 1986, Brasília. **Anais ...** Brasília: Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 1986. p.173.
- COSTA, T.C. e C. da.; ACCIOLY, L.J.de O.; OLIVEIRA, M.A.J. de.; BURGOS, N.; SILVA, F.H.B.B. da. Mapping of the Seridó caatinga by plant area index and NDVI. **Scientia Agricola**, 2002 (no prelo).
- FERREIRA, D.G.; RODRIGUES, V.; PEREIRA, J.; LIMA, M.G. A desertificação no Nordeste do Brasil II: diagnóstico e perspectiva. In: CONFERÊNCIA NACIONAL E SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DA DESERTIFICAÇÃO, 1994. Fortaleza: Fundação Grupo Esquel Brasil, 1994. 54p.
- IBAMA. Plano de manejo florestal para a região do Seridó do Rio Grande do Norte. v.1 (Projeto PNUD/FAO/IBAMA), Natal: IBAMA, 1992.
- IQBAL, M. **An Introduction to Solar Radiation**. Academic Press, New York, 1983.
- JAKUBAUSKAS, M.E.; PRICE, K.P. Empirical relationships between structural and spectral factors of Yellowstone lodgepole pine forest. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.63, p.1375-1381, 1997.
- KAZMIERCZAK, M.L. Estimativa de variáveis dendrométricas em florestas homogêneas a partir de dados LANDSAT TM. São José dos Campos, 1992. 186p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1992.
- LI-COR. **LAI-2000 Plant Canopy Analyzer: operating manual**. Lincoln: LI-COR, 1992.
- LINHARES, C.A.; PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. Relação entre volume de madeira e índice de área foliar em um povoamento de Pinus spp.: Estudo de Caso. **Revista Árvore**, v.24, p.47-54, 2000.
- MONTEITH, J.L.; UNSWORTH, M.H. **Principles of Environmental Physics**. New York, Chapman and Hall, Inc, 1990.
- NASA. Landsat 7: science data users handbook. Disponível em: http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html>. Acesso em 14 dez. 2001.
- NOBRE, C.A.; MASSAMBANI, O.; LIU, W. T. Variabilidade climática na região semi-árida do Brasil e monitoramento de secas através de satélite. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE IMPACTOS DE VARIAÇÕES CLIMÁTICAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL EM REGIÕES SEMI-ÁRIDAS – ICID, 1992, Fortaleza. **Anais ...** Fortaleza: ICID, 1992. p.3159-3195.
- PEREIRA, M.D.B. **Correlação de fitomassa verde de campo cerrado com dados espectrais obtidos pelo sistema MSS-Landsat e por radiometria de campo**. São José dos Campos, 1985. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1985.

- QI, J.; KERR, Y.H.; MORAN, M.S.; WELTZ, M.; HUETE, A.R.; SOROOSHIAN, S.; BRYANT, R. Leaf area index estimates using remotely sensed data and BRDF model in a semiarid region. **Remote Sensing of Environment**, v.73, p.18-30, 2000.
- RICHÉ, G.R.; SÁ, I.B.; FOTIUS, G.A. Zoneamento das áreas em processo de degradação ambiental no trópico semi-árido do Brasil. Brasília-DF, PROJETO ARIDAS, Secretaria do Planejamento da Presidência da República, SEPLAN, PR. 1994. GTI – Recursos Naturais e Meio Ambiente, Vol. 1.2 – Condições do uso e perspectiva de uso sustentável dos geoambientes do Semi-Árido.
- RODRIGUES, W. Pesquisa dos estudos e dados existentes sobre desertificação no Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Combate à Desertificação. PROJETO BRA 93/036. 1997. 65p.
- ROBINOVE, C.J.; CHAVEZ, P.S.; P.S.; GEHRING, D; HOLMGREN, R. Arid land monitoring using Landsat albedo difference images. **Remote Sensing of Environment**, 11:133-156, 1981
- SANTOS, J.R. **Fitomassa aérea da vegetação de cerrado: estimativa e correlação com dados do sensor “Thematic Mapper” do satélite LANDSAT**. Curitiba, 1988. 156p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, 1988.
- SANTOS, J.R.; LACRUZ, M.S.P.; KEIL, M.; KUX, H.J.H.; XAUD, M.R. Análise da imagem JERS-1 para estimativa da fitomassa aérea de florestas tropicais no sudoeste da Amazônia (Compact disc). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., Santos, 1998. **Anais...** Santos: INPE; SELPER, 1998.
- SOARES, A.M.L.; LEITE, F.R.B.; LEMOS, J. de J.S.; MARTINS, M.L.R.; MAYORGA, R.D.; OLIVEIRA, V.P.V. de. Áreas degradadas susceptíveis aos processos de desertificação no estado do Ceará – Brasil. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE IMPACTOS DE VARIAÇÕES CLIMÁTICAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL EM REGIÕES SEMI-ÁRIDAS – ICID, 1992, Fortaleza. **Anais ...** Fortaleza: ICID, 1992. p.1-24.
- THOME, K.J.; MARKHAM, B.; BARKER, J.; SLATER, P.N.; BIGGAR, S.F. Radiometric calibration of Landsat. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, 63:853-858, 1997.
- THORNES, J.B. Vegetation cover as a control on the impact of global climate change at the regional and local scales: models and their data requirements. In: ENNE, G.; PETER, D.; POTTIER, D. (Eds.). **Desertification Convention: data and information requirements for interdisciplinary research**. European Commission, 2001. 374p.
- UNITED NATIONS. Text of the United Nations Convention to Combat Desertification. Disponível em <www.unccd.int/convention/text/convention.php>. Acesso em 25 Set. 2001.
- VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Processos de desertificação ocorrentes no Nordeste do Brasil: sua gênese e sua contenção**. Recife, SUDENE, 1983. 101p.

XAVIER, A.C.; SOARES, J.V.; ALMEIDA, A.C.; FREITAS, C.C. Estimativa de IAF de plantações de eucaliptos a partir de dados TM/LANDSAT. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., Santos, 1998. **Anais...** Santos: INPE; SELPER, 1998.