



Revista Brasileira de Cartografia (2012) N^o 64/3: 287-299
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

ANÁLISE DA DESERTIFICAÇÃO DO NÚCLEO DE SÃO RAIMUNDO NONATO – PIAUÍ

Analysis of Desertification of the Region of São Raimundo Nonato –Piauí

**Cláudia Maria Sabóia de Aquino¹, José Gerardo Beserra de Oliveira² &
José Antonio Pacheco de Almeida³**

¹Universidade Federal do Piauí – UFPI

Departamento de Geografia

Campus Universitário Ministro Petrônio Portela, s/n Bairro: Ininga - Teresina, PI - CEP: 64049-550
cmsaboia@gmail.com

²Universidade Federal do Ceará – UFC

Departamento de Biologia

Caixa Postal 6021 – Fortaleza, CE - CEP: 60.455-970
jgboliv@gmail.com

³Universidade Federal de Sergipe – UFS

Núcleo de Geologia

Campus Universitário s/n Bairro: Rosa Elze – Aracaju, SE - CEP: 49100-000
pachecoalmeida@ig.com.br

Recebido em 21 Maio, 2011/ Aceito em 03 Julho, 2011

Received on May 21, 2011/ Accepted on July 03, 2011

RESUMO

Neste trabalho se realizou, com o emprego de um conjunto de indicadores climáticos, morfo-pedológicos, bióticos e econômicos, análise de desertificação no núcleo semiárido de São Raimundo Nonato – Piauí. Foram comparadas as condições ambientais nos anos de 1987 e 2007, quando se verificou redução da desertificação na área de estudo. Em 1987, a distribuição nas classes de desertificação denominadas média e alta foi de 70% e 30%, respectivamente. Em 2007, a distribuição passou a ser 71% na classe de média e 29% na de alta desertificação, caracterizando situação de equilíbrio dinâmico na área de estudo. Este decréscimo pode ser atribuído à redução de solo exposto e aumento da cobertura vegetal na classe muito baixa, o que pode ter como causa o aumento das culturas permanentes (cajucultura) e a diminuição das culturas temporárias (milho, feijão e mandioca) e das atividades da pecuária pelo decréscimo dos rebanhos (bovinos, ovinos e caprinos). Esses fatos indicam redução no processo de desertificação e consequente melhoria nas condições do ambiente.

Palavras chaves: Desertificação, Indicadores, São Raimundo Nonato-Piauí.

ABSTRACT

In this work, the analysis of the process of desertification in semi-arid nucleus of São Raimundo Nonato – Piauí was done, with the use of a set of climatic morpho-pedological, biotics and economical indicators. The environmental conditions were compared for the years 1987 and 2007, when it was verified a reduction in the desertification in the area of study. In 1987, the distribution in the classes of desertification, denominated average and high, were respectively, 70% and 30%. In 2007, the distribution changed to 71% in the average class and 29% in the high desertification class, characterizing a situation of dynamic equilibrium in the study area. This decrease can be attributed to the reduction of exposed soil and the increase in the vegetal coverage in the very low class, a fact that can be caused by the increase in permanent cultures (Cashew's culture) and a diminution in temporary cultures (Corn, Beans, and Manioc) as well as the activities of cattle raising with the decrease in the livestock (bovine, ovine, and caprine). These facts indicate a reduction in the process of desertification and consequent improvement in the environmental conditions.

Key Words: Desertification, Indicators, São Raimundo Nonato-Piauí.

1. INTRODUÇÃO

O homem, ao apropriar-se do ambiente para sua sobrevivência, modifica-o, e essa modificação pode ensejar a degradação de todos os ambientes, inclusive do semiárido brasileiro, onde foi conduzido o presente estudo.

O semiárido brasileiro compreende uma área de 1.556 mil km² e caracteriza-se, do ponto de vista geoambiental, pela diversidade de suas paisagens, tendo como elemento marcante no quadro natural da região a condição de semiaridez que atinge grande parte do seu território, agravada por uma elevada variabilidade pluviométrica espacial e temporal (SALES, 2002). Resultante deste comportamento climático, prevalecem uma drenagem do tipo intermitente, solos rasos e pedregosos, bem como uma formação vegetal do tipo caatinga, conjunto este de condições que é, de modo geral, submetido ao uso inadequado dos recursos naturais.

A combinação das diferentes circunstâncias geológicas e das formas de utilização, por vezes predatórias, pautadas no uso insustentável dos solos, da vegetação, dos recursos hídricos e da biodiversidade culmina no estabelecimento de processo de desertificação, tipo de degradação ambiental ocorrente em regiões de climas seco-subúmido, semiárido ou árido. As causas da desertificação relacionam-se a desmatamento, mineração, sobrepastoreio, cultivo excessivo, irrigação inadequada etc. e suas consequências podem ser de ordem econômica, social e ambiental, e acentuam o desequilíbrio regional, bem como comprometem a qualidade de vida da população afetada.

Os trabalhos de Ab'Saber (1977), Vascelos Sobrinho (1978), Rodrigues et al. (1995), Matallo Júnior (2000 e 2001), Accioly (2001), Sampaio & Sampaio (2002), Noletto (2005) e Cândido et al. (2010), dentre outros, constituem exemplos de estudos enfocando a temática desertificação no Nordeste brasileiro, tanto na perspectiva de identificação de áreas suscetíveis a este processo como na avaliação do nível de seu comprometimento.

Considerando as consequências da desertificação, objetiva-se neste trabalho avaliar este processo no Núcleo de São Raimundo Nonato, localizado no semiárido piauiense, com suporte de indicadores climáticos, morfopedológicos, biológicos e econômicos, buscando-se, com isto, a obtenção de dados que possam ser utilizados na orientação de seu controle e combate.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo, situada na porção sudeste do Estado do Piauí, é o núcleo de desertificação de São Raimundo Nonato, identificado por Aquino (2002), sendo parte integrante da microrregião geográfica de mesma denominação. Localiza-se, de forma descontínua, entre as coordenadas de 8° 57'65" a 9° 59'03" de latitude sul e 42° 06'44" a 43° 03'25" de longitude oeste, totalizando uma área de aproximadamente 6.988 km².

O núcleo de São Raimundo Nonato é composto por cinco municípios: São Raimundo Nonato, Coronel José Dias, Bonfim do Piauí, São Lourenço e Dirceu Arcoverde, distribuídos espacialmente conforme Figura 1.

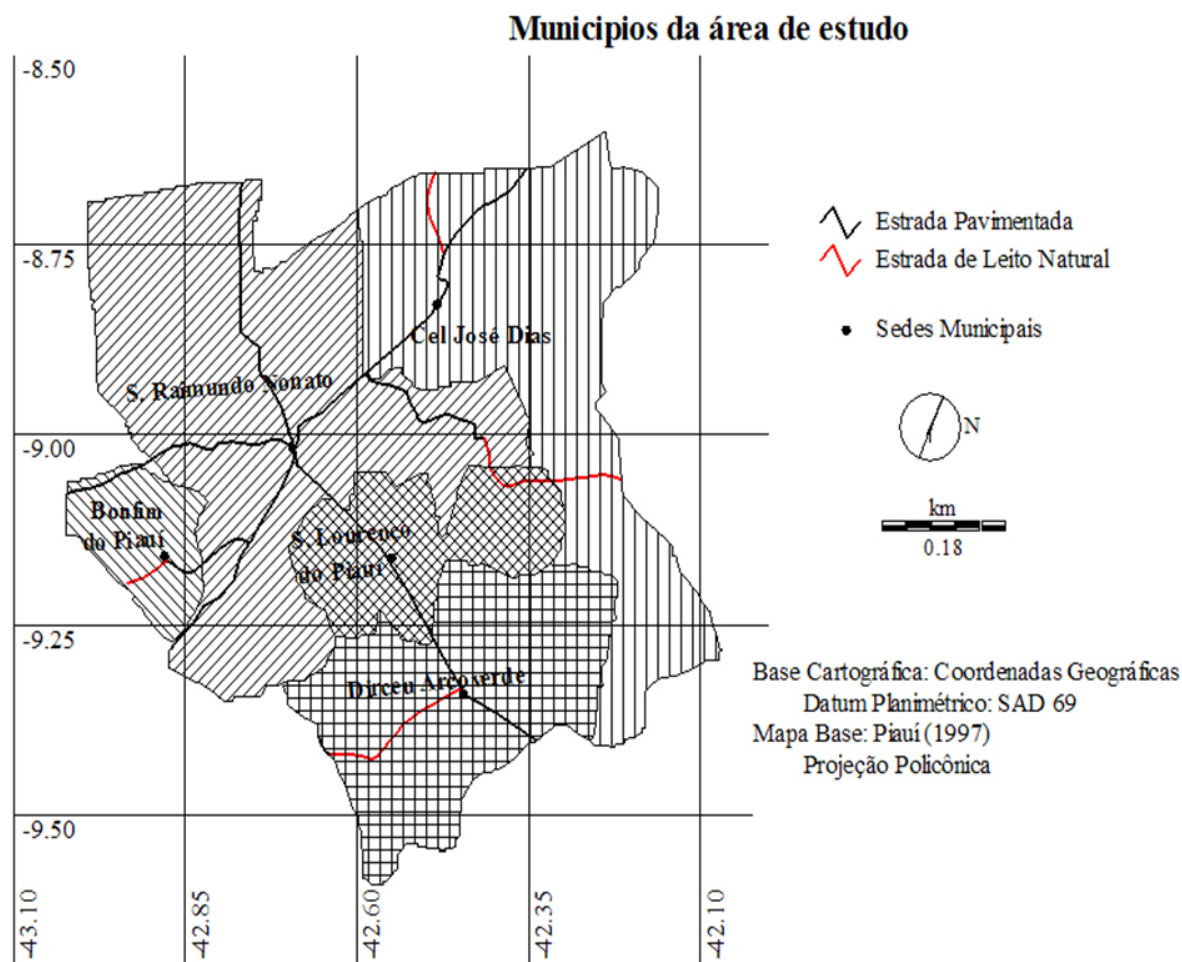


Fig. 1 – Localização dos municípios integrantes do Núcleo de São Raimundo Nonato – Piauí.

Considerando a geologia regional, o núcleo de São Raimundo Nonato situa-se em três grandes domínios geológicos: as Províncias São-Franciscana, Borborema e Parnaíba.

A geomorfologia da área de estudo indica a existência de unidades geoambientais caracterizadas por um relevo onde as declividade variam entre o plano (0 a 2%) a forte ondulado (15 a 45%).

A análise climática da área de estudo baseou-se em dados de precipitação das séries anuais disponibilizados pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1990). A análise dos dados revelou valores médios anuais de precipitação variando de 996 mm a 707 mm, com coeficiente de variação entre 28,2% e 43,9% para os diferentes postos meteorológicos considerados, evidenciando a significativa variabilidade climática da área de estudo.

A evapotranspiração potencial média anual (ETP) da área de estudo apresenta valores em todos os postos analisados superiores a 1000 mm, com um valor médio de 1.462mm. Estes elevados valores de ETP resultam, em parte, das elevadas temperaturas a que está submetida a região Nordeste, aliada a sua localização geográfica, que proporciona alto recebimento de radiação solar, associado à concentração de calor e a excedente energético.

Uma análise comparativa entre a variação dos valores médios mensais de precipitação e a evapotranspiração potencial permite inferir a existência de significativo deficit hídrico, superior a 400 mm no Núcleo de São Raimundo Nonato. Aliada a este fato está a grande flutuação dos índices de precipitação total média anual. O conjunto destas características do regime pluviométrico confere ao clima semiárido da região uma grande instabilidade,

o que a torna ainda mais suscetível a ocorrência de desertificação.

O ecossistema da área é uma caatinga cuja vegetação é constantemente modificada, quer quando é utilizada sob superpastejo ou quando é removida para práticas de agricultura familiar, situações em que deixa de oferecer ao solo a cobertura vegetal indispensável para controle da erosão. Com isto aumenta a suscetibilidade da área à desertificação já identificada por suas condições ambientais.

2.2 Métodos

A amplitude conceitual do tema desertificação, definida como a “degradação da terra”, ideia esta complexa, porém vital, enseja o emprego da abordagem sistêmica, fundamentada na Convenção de Combate à Desertificação, que orienta o emprego de indicadores biofísicos nos estudos do processo. Foram, assim, selecionados indicadores climáticos, morfopedológicos, biológicos e econômicos.

2.2.1 Indicadores climáticos

No eixo climático, foram avaliados o Índice de Aridez (IA) do United Nations Environment Program (UNEP), o Índice Climático e a Erosividade da Chuva.

O Índice de Aridez é determinante na identificação das áreas do globo suscetíveis a desertificação. Para SALES (2003) a determinação desse índice permite conhecer a priori as limitações impostas pelo clima para a realização de atividades biológicas primárias e, conseqüentemente da produtividade agrícola, indispensável ao desenvolvimento das sociedades humanas. Este Índice, proposto pelo UNEP (1991), é o quociente entre os valores médios anuais da precipitação total e da evapotranspiração potencial, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Zonas climáticas, de acordo com o Índice de Aridez (IA) do UNEP (1991)

Zonas Climáticas	Intervalo de IA
Árido	0,05 – 0,20
Semiárido	0,21-0,50
Subúmido seco	0,51 a 0,65

Fonte: UNEP (1991)

De acordo com Unep (1991), somente as áreas em que o IA tem valores entre 0,05 e 0,65 são suscetíveis a desertificação.

O Índice Climático (Tabela 2) evidencia a intensidade do efeito do clima na área de estudo, sobretudo na produtividade primária do sistema ecológico e, conseqüentemente, no Índice de Cobertura Vegetal.

Tabela 2 – Classe de índice

Intervalos de Valores	Classes
0 a 7	Muito Baixo
8 a 14	Baixo
15 a 21	Moderado
22 a 28	Alto
29 a 36	Muito Alto

Fonte: Organizada pelos autores.

Os intervalos na Tabela 2 foram obtidos dividindo-se em cinco classes a diferença entre o menor e o maior valor do produto entre os números de classes do Índice Efetivo de Umidade de Thornthwaite (Tabela 3) e o número de classes de Meses Secos, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 3 – Classes do índice efetivo de umidade de Thornthwaite (I_M)

Intervalos de Valores	Classes
0 a -33.3	C ₁ - Subúmido seco
-33.6 a -66.7	D - Semiárido
-66.7 a 100	E - Árido

Fonte: (THORNTHWAITE & MATHER, 1955)

Este índice foi obtido, para os climas secos (Tabela 3), a partir da combinação dos dados das classes do Índice Efetivo de Umidade, de Thornthwaite (I_M) (THORNTHWAITE & MATHER, 1955) e do número de Meses Secos computado pelo balanço hídrico desses autores (Tabela 4).

A erosividade expressa a capacidade da chuva de erodir o solo e foi estimada a partir da equação proposta por BERTONI & LOMBARDI NETO (1999):

$$R = \sum_{i=1}^{12} EI = 67,355(r_i^2 / P)^{0,85} \quad (1)$$

Em que:

EI é a média mensal do Índice de Erosão, em MJmm/ha.h.ano;

r é a precipitação média mensal, em mm,

P é a precipitação média anual, em mm.

Os doze valores mensais de EI foram somados para obtenção da erosividade anual da chuva e distribuídos em intervalos segundo a Tabela 5.

Tabela 4 – Classes de número de meses secos

Intervalos de Valores	Classes
0 a 1	1 mês seco
1 a 2	2 meses secos
2 a 3	3 meses secos
3 a 4	4 meses secos
4 a 5	5 meses secos
5 a 6	6 meses secos
6 a 7	7 meses secos
7 a 8	8 meses secos
8 a 9	9 meses secos
9 a 10	10 meses secos
10 a 11	11 meses secos
11 a 12	12 meses secos

Fonte: Organizada pelos autores.

Tabela 5 - Intervalos das classes do índice de erosividade da chuva

Intervalos Mj.mm/ha.h.ano)	Classe
R < 4216	Muito Baixa
4216 < R < 4532	Baixa
4532 < R < 4848	Moderada
4848 < R < 5164	Alta
R > 5164	Muito Alta

Fonte: Organizada pelos autores.

2.2.2 Indicadores morfopedológicos

Os indicadores morfopedológicos avaliados foram a Declividade e a Erodibilidade dos Solos.

Na determinação das classes de declividade, foram empregadas imagens do Modelo Digital de Elevação (MDE), obtidas a partir dos dados do SRTM. Para a identificação dessas classes, foi

utilizada a ferramenta SLOPE do IDRISI 3.2, (EASTMAN, 2001) que classificou as imagens em percentagens de declividade. Depois o produto dessa operação foi tratado pela ferramenta RECLASS, do mesmo programa, para determinação das declividades utilizadas no estabelecimento das Classes de Relevo indicadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Intervalos das classes de relevo.

Declividade	Classes de Relevo
< 2 %	Plano
2 a 5%	Suave Ondulado
5 a 10%	Ondulado
10 a 15%	Muito Ondulado
15 a 45%	Forte Ondulado
45 a 70%	Montanhoso
>70%	Escarpado

Fonte: LEPSH *et al.*, (1991)

A erodibilidade representa a suscetibilidade que cada solo apresenta em relação ao potencial erosivo das chuvas. A erodibilidade dos solos da área de estudo foi estimada com apoio da equação proposta em RÖMKENS *et al.* (1987, 1997), adaptada para gerar valores em unidades internacionais, como segue:

$$K = 0,0034 + 0,0405 \exp(-1/2) \left((\log(Dg) + 1,659) / 0,7101 \right)^2 \quad (2)$$

Em que:

K é a erodibilidade do solo, em ton.ha.h/haMJmm,

log é o logaritmo decimal,

Dg é a média geométrica do diâmetro das partículas primárias, em mm, calculada de acordo com Shirazi & Boersma (1984) e expressa como:

$$Dg = \exp(0.01 \sum_{i=1}^3 f_i \cdot \ln M_i) \quad (3)$$

Em que:

fi é a percentagem das frações granulométricas das partículas de areia, silte e argila,

ln é o logaritmo natural,

Mi é a média aritmética dos dois limites do diâmetro das partículas, segundo Shirazi & Boersma (1984) como segue:

$$\begin{aligned} \text{Mareia} &= (2+0,05)/2 = 1,025\text{mm}; \\ \text{Msilte} &= (0,005 + 0,002)/2 = 0,026 \text{ mm}; \\ \text{Margila} &= (0,002 + 0) = 0,001\text{mm} \end{aligned}$$

A Erodibilidade do solo é, então, computada em função da textura de seu horizonte superficial, sendo os valores obtidos classificados segundo a Tabela 7.

Tabela 7 - Intervalos das classes do índice de erodibilidade dos solos

Intervalo Ton.ha.h./há.MJ.mm	Classes
0,015 a 0,018	Muito Baixa
0,019 a 0,021	Baixa
0,022 a 0,024	Moderada
0,025 a 0,027	Alta
0,028 a 0,030	Muito Alta

Fonte: Organizada pelos autores.

2.2.3 Indicador biológico

O indicador biológico avaliado foi o Índice de Cobertura Vegetal (ICV) baseado no NDVI, desde que o primeiro é proporcional ao segundo na faixa de valores entre 0 a 1, valor próximo ou igual a 1 indicando maior biomassa; o valor 0 indica ausência desta. A ausência ou a presença de cobertura vegetal pode acentuar ou atenuar a erosão dos solos. Quanto maior a proporção de solo exposto pelo decréscimo da cobertura vegetal, maior a taxa de perda de solo.

Neste estudo, o NDVI foi computado como a diferença da refletância no infravermelho próximo (NIR) e a refletância no vermelho (R), respectivamente, as bandas 4 e 3 do sensor temático Landsat 5 ; esta diferença é então normalizada quando dividida pela soma das duas refletâncias, como segue:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R}} \quad (4)$$

Onde:

NDVI é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NIR é a refletância no comprimento de onda infravermelho próximo; e

R é a refletância no comprimento de onda vermelho.

As classes de proteção correspondentes aos intervalos de NDVI estão indicadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Classificação dos índices de NDVI

Intervalos de NDVI	Classes de proteção
0,8 a 1	Alta
0,6 a 0,8	Moderadamente Alta
0,4 a 0,6	Moderada
0,2 a 0,4	Baixa
>0 a 0,2	Muito Baixa
-1 a 0	Solo Exposto (Nenhuma)

Fonte: Organizada pelos autores.

Os mapas de NDVI produzidos a partir das imagens Landsat 5 dos anos de 1987 e 2007 foram comparados pixel a pixel, e a semelhança entre eles é indicada pelos Índices Kappa e V, de Cramer, determinados pela ferramenta Crosstab do IDRISI 3.2 (EASTMAN, 2001). Os valores do Índice Kappa empregados na comparação estão indicados na Tabela 9.

Tabela 9 – Avaliação, segundo o coeficiente Kappa

Semelhança	Kappa
Péssima	< 0
Ruim	0 - 0,20
Acurácia razoável	0,20 - 0,40
Acurácia de moderada a boa	0,40 - 0,60
Acurácia muito boa	0,60 - 0,80
Acurácia excelente	0,80 - 1,00

Fonte: Adaptado de Landis e Koch (1977).

O índice V de Cramer indica a associação entre duas imagens, numa comparação pixel a pixel. Seus valores variam entre 0 (indica nenhuma associação) e 1 (associação completa) entre as variáveis.

Os valores de NDVI foram computados nas imagens LANDSAT 5 dos anos de 1987 e 2007, corrigidas pelo método imagem/imagem. Estes valores foram empregados na equação (5) para avaliar e comparar os níveis de desertificação da área de estudo nos anos de 1987 e 2007.

$$DE = [IC+R+K+D+ ICV (1987 e 2007)]$$

(5)

Em que:

DE = Desertificação;

IC = Índice Climático;

R= Erosividade;

K= Erodibilidade;

D = Declividade;

ICV = Índice de Cobertura Vegetal para os anos de 1987 e 2007, representado pelo NDVI.

2.2.4 Indicadores econômicos

A análise dos indicadores econômicos empregados no estudo foi realizada com base em dados disponíveis no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). São dados de culturas temporárias e permanentes (dos anos de 1985, 1989, 1995, 2001 e 2006) e os efetivos dos rebanhos de bovinos, ovinos e caprinos (nos anos de 1991, 1996, 2001 e 2006).

Os dados relativos às culturas temporárias e permanentes obtidos foram: áreas plantadas e colhidas (hectares) e produção (tonelada). O dado relativo aos efetivos dos rebanhos de bovinos, ovinos e caprinos foi o número de cabeças de cada rebanho. Esses dados foram comparados qualitativamente com os de NDVI dos anos de 1987 e 2007, buscando-se, com isto, compreender a relação entre desertificação e a dinâmica econômica da área de estudo.

3. RESULTADOS

3.1 Indicadores climáticos

O Índice de Aridez proposto por UNEP (1991) para a identificação das terras secas suscetíveis a desertificação foi aplicado e revelou níveis diferenciados de aridez para a área de estudo, com valores variando de 0,37 a 0,65, o que indica, de acordo com a Tabela 1, estar toda a área em clima suscetível à desertificação.

Os valores obtidos para o Índice Efetivo de Umidade (THORNTHWAITE & MATHER, 1955) variaram de -34,8 a - 59,70, reforçando a ocorrência de um clima semiárido na área de estudo. Em 46,5% da área de estudo constatou-se predomínio das classes de Índice Climático de moderado a muito alto.

Com relação à distribuição temporal do balanço hídrico, constatou-se que a área de estudo apresenta de oito a 11 meses secos. Isto evidencia

o problema de concentração temporal das chuvas em um período que varia de três a quatro meses, o que afeta, sobretudo, a produtividade primária do sistema ecológico e, conseqüentemente, o Índice de Cobertura Vegetal que protege o solo contra a erosão.

O menor valor de erosividade obtido, considerando os postos inseridos na área de estudo, foi de 4.006 MJ.mm/ha.h.ano no posto Riacho das Vacas, e o maior valor foi de 5.217 MJ.mm/ha.h.ano, no posto Cavalheiro, valores estes que indicam, de acordo com a Tabela 5, erosividade que varia de muito baixa a muito alta. A distribuição da erosividade, entretanto, indica que 67,7% da área de estudo apresenta valores de R variando de muito baixo a moderado e que em apenas 32,3% da área os valores variam de alta a muito alta erosividade. Esses valores de R são similares aos obtidos por CAMPOS FILHO et al. (1992), ALBUQUERQUE et al (2002), SALES (2003), SILVA et al. (2008) e CECÍLIO (2008).

3.2 Indicadores morfopedológicos

Há predominância, na área de estudo, de relevo do tipo plano e suave ondulado. O somatório destas duas classes perfaz 74,7% do total da área estudada; apenas 25,3% da área apresentam relevos que variam de ondulado a escarpado. Isto leva a crer que a declividade é favorável à exploração agropecuária, desde que seja realizada de maneira adequada.

Nas classes de erodibilidade muito baixa e baixa, foram encontrados, respectivamente, 100%, 60% e 20% das associações de solos Neossolos Regolíticos, Latossolos e Argissolos. Os resultados de baixa erodibilidade encontrados para Neossolos Regolíticos e Latossolos são coerentes com os de LEPRUN (1988), SILVA (1994 b) e BUENO et al. (2000).

Estes baixos valores de erodibilidade resultam das características físicas destes solos, tais como altas permeabilidades e elevadas percentagens de areia que aumentam a capacidade de infiltração e que, conseqüentemente, diminuem o escoamento superficial e o transporte do material desagregado da superfície do solo

Nas classes de erodibilidade moderada, moderadamente alta e alta, foram encontrados, respectivamente, 100%, 80% e 40% das

associações de solos, Luvisolos e Neossolos Litólicos, Argissolos e Latossolos.

Os dados permitiram inferir que 20,3%, 19%, 36,7%, 9,6% e 14,4% da área de estudo apresentam, respectivamente, valores de erodibilidade muito baixos, baixos, moderados, moderadamente altos e altos.

Em 60,7% da área de estudo, há associações de solos situados nas categorias de moderada, moderadamente alta e alta erodibilidade, com predominância destas categorias nas associações de solos: Argissolos, Neossolos Litólicos e Luvisolos.

De modo geral, as associações de solos citadas acima, que apresentam erodibilidade mais elevada, têm características físicas desfavoráveis, principalmente ligadas ao gradiente textural (granulometria mais fina do tipo silte) ao que se alia a baixa permeabilidade no horizonte subsuperficial, o que lhes confere valores elevados de erodibilidade e, conseqüentemente, alta susceptibilidade à erosão.

3.3 NDVI

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada varia de -1 a 1, sendo que, quanto mais próximo de 1, mais densa a vegetação e maior a cobertura vegetal (SANTOS & NEGRI, 1997).

Os valores de NDVI estimados para a área de estudo foram reclassificados em seis classes: muito alta, alta, moderadamente baixa, baixa, muito baixa e solo exposto, representando os diferentes graus de proteção oferecidos pela cobertura vegetal ao solo. A Tabela 10 apresenta a distribuição absoluta e relativa dos valores de NDVI por classes para os anos de 1987 e 2007.

Pela Tabela, constata-se não ter havido alterações nos valores de NDVI nas classes alta e moderadamente baixa; na classe moderadamente alta, houve pequeno aumento, da ordem de 0,6 km².

Mudanças mais significativas são constatadas nas classes de proteção (NDVI) baixa, muito baixa e solo exposto correspondentes ao intervalo do índice entre 0 e 0,4 (Tabela 8). Houve decréscimo nas classes baixa de 3,2% para 0,7%; a classe muito baixa aumentou de 71,8% para 86,7% e, na classe solo exposto, verificou-se redução de 25% para 13,3%. Estes valores são semelhantes aos obtidos em estudo de BRAGA et al. (2003 e 2008) que, analisando a variabilidade sazonal do NDVI na região Nordeste para o período de 1981 a 1991,

constataram que os valores de NDVI oscilaram entre 0,15 e 0,62. Os resultados obtidos por LOPES et al. (2010) também corroboram os aqui obtidos. Os autores avaliando mudanças na cobertura vegetal com base no NDVI, na bacia hidrográfica do rio Brígida (Pernambuco), obtiveram valores mínimo, máximo e médio para o ano de 1985 da ordem de 0,09, 0,24 e 0,12. Para 2001, os valores obtidos foram de 0,09, 0,42 e 0,14, permitindo inferir a presença de uma vegetação bastante rala na área de estudo, à semelhança da identificada no Núcleo de São Raimundo Nonato.

O valor de Kappa obtido considerando os mapas temáticos de NDVI para os anos de 1987 e 2007 foi de 0,7680. Este valor permite inferir uma semelhança considerável entre os mapas dos referidos anos, confirmando as poucas modificações constatadas nas classes de NDVI estabelecidas para o Núcleo de São Raimundo Nonato, com acurácia muito boa, conforme dados da Tabela 9. O Índice V, de Cramer, foi de 0,4169, evidenciando diferenças nas imagens.

De acordo com os dados indicados na Tabela 10, obtidos da comparação pixel a pixel dos valores de NDVI das imagens de 1987 e 2007, pode-se afirmar que, de modo geral, houve melhoria nas classes de proteção vegetal na área de estudo entre os anos analisados.

Tabela 10 - Valores absolutos e relativos de NDVI para o núcleo de São Raimundo Nonato, nos anos 1987 e 2007, com as respectivas classes de proteção

Classes de Proteção	Área na Classe (km ²)		% da Área Total na Classe	
	1987	2007	1987	2007
(NDVI)				
Alta	0,12	0,12	---	---
Moderadamente alta	0,28	0,22	---	---
Moderadamente baixa	1,23	1,23	---	---
Baixa	223,6	51,87	3,2	0,7
Muito Baixa	5018,3	6007,9	71,8	86
Solo Exposto	1744,3	926,6	25	13,3
Índice Kappa = 0,7680				
Índice V de Cramer = 0,4169				

3.4 Análise da Desertificação no Núcleo de São Raimundo Nonato.

A análise da dinâmica da desertificação no Núcleo de São Raimundo Nonato baseou-se no uso da Equação 5. A combinação do conjunto de informações constantes na referida equação foi facilitada com o emprego do aplicativo IDRISI 3.2 (EASTMAN, 2001).

A Figura 2 apresenta a distribuição espacial da desertificação na área de estudo nos anos de 1987 e 2007. Em 1987, a distribuição nas classes de desertificação média e alta foi de 70% e 30%, respectivamente. Em 2007, a distribuição é a seguinte: 71% e 29% nas classes de média e alta desertificação. Constatam-se modificações muito

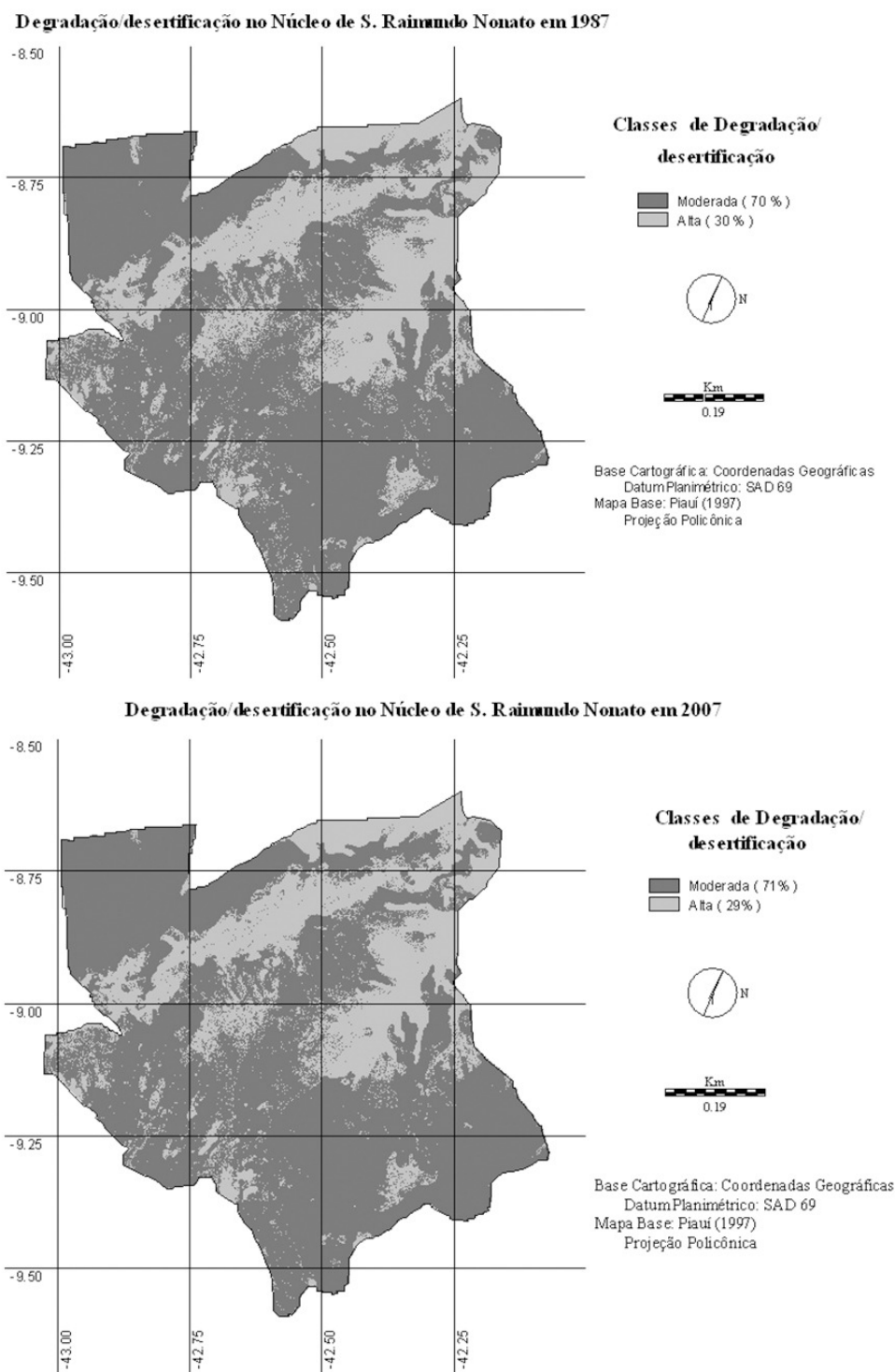


Fig. 2 – Degradação/desertificação no Núcleo de São Raimundo Nonato. Comparação entre os anos de 1987 e 2007.

sutis no sentido de uma melhoria na condição do ambiente, haja vista um decréscimo na classe de alta desertificação que em 1987 era de 30% e em 2007 passa a 29%, uma redução de 1%; daí se afirmar que a área no período analisado evidenciou uma situação de equilíbrio dinâmico.

3.5 Indicadores econômicos

A Tabela 11 apresenta uma síntese da dinâmica agrícola do Núcleo de São Raimundo Nonato para os anos de 1989 e 2006, considerando as áreas destinadas a culturas temporárias e permanentes.

De acordo com a Tabela 11, as áreas destinadas a plantio de culturas temporárias apresentaram queda significativa, passando de 57.100 hectares em 1989 para apenas 17.909 hectares em 2006, o que significa uma queda de 68,6%, com a conseqüente redução da degradação em face do aumento da proteção oferecida pela cobertura vegetal “natural”, que, em vez de ser removida e substituída anualmente por culturas temporárias, permaneceu na área, diminuindo sobremaneira os processos erosivos e a conseqüente degradação da terra. A tese da diminuição da degradação na área de estudo também é reforçada quando se observa o significativo aumento das culturas permanentes (cajucultura), que aumentou em 60,8% entre os anos de 1989 e 2006. O acréscimo das culturas permanentes promove maior proteção por parte da cobertura vegetal aos solos, reduzindo sobremaneira

os processos de degradação ocasionados pela erosão.

A pecuária extensiva, historicamente, tem-se constituído a principal atividade econômica no Núcleo de São Raimundo Nonato. Ao longo dos anos no entanto, esta atividade é objeto de algumas modificações que podem ser constatadas a partir dos dados constantes na Tabela 12, que apresenta uma síntese da variação dos rebanhos (bovino, caprino e ovino) entre os anos de 1991 e 2006, no Núcleo de São Raimundo Nonato, considerando o número de cabeças e as unidades animais.

Os dados da Tabela 12 indicam, respectivamente, redução de 43,5% e de 23,9% nos números de cabeças e de unidades animais dos rebanhos bovino, caprino e ovino, entre os anos de 1991 e 2006. Estes dados comprovam redução da carga animal e diminuição do sobrepastejo, bem como seus efeitos na degradação da área de estudo. Ao aumento da cobertura vegetal, resultante da diminuição do sobrepastejo e que é evidenciado pelos mais altos valores de NDVI encontrados na imagem de 2006, pode ser atribuído o controle da degradação da área de estudo.

4. CONCLUSÕES

A avaliação da desertificação na área de estudo, considerando o emprego de indicadores climáticos, morfopedológicos e biológicos denota, para o ano de 1987, os seguintes níveis de degradação: 70% moderado e 30% alto. Para o ano 2007, constatou-se que 71% da área

Tabela 11 - Síntese da variação das áreas plantadas (culturas temporárias e permanentes) entre os anos de 1989 e 2006 no núcleo de São Raimundo Nonato

Culturas	Área Plantada (ha)		Variação entre 1989 e 2006	
	1989	2006	Porcentagem	Consequência
Temporárias	57.100	17.909	Redução de 68,6	Redução da degradação/Aumento da proteção
Permanente	7.800	19.900	Aumento de 60,8	Aumento na Proteção /Redução da degradação

Tabela 12 - síntese da variação dos rebanhos (bovino, caprino e ovino) entre os anos de 1991 e 2006 no núcleo de São Raimundo Nonato

Variáveis	Rebanho							
	Bovinos (B)		Caprinos (C)		Ovinos (O)		Totais (B+C+O)	
	Anos							
	1991	2006	1991	2006	1991	2006	1991	2006
Cabeça	49.630	24.276	142.962	97.743	76.017	82.321	268.609	204.340
Unidade Animal *	49.630	24.276	9.531	6.516	5.068	5.489	64.229	36.281
Variação entre 1991 e 2006					Porcentagem/ Cabeças		Redução de 23,9%	
					Porcentagem/unidade animal		Redução de 43,5%	
					Consequência		Redução da degradação/Aumento da proteção	

*Uma Unidade Animal corresponde a 450 kg de peso vivo. (aproximadamente uma cabeça de bovino adulto ou quinze cabeças de caprinos/ovinos adultos)

apresentaram situação de degradação moderada e 29% degradação alta. Estes dados revelam uma situação de equilíbrio ecológico dinâmico na área, com tendência a melhoria, embora pequena nas condições de degradação ambiental, ou seja, no processo de desertificação.

A inexistência de classe de desertificação baixa, considerando a metodologia empregada, resulta do ritmo climático altamente sazonal, das constantes e significativas irregularidades climáticas, bem como da condição de aridez a que está submetida a área de estudo. Tais aspectos combinados confere a área de estudo significativa fragilidade natural, que, aliada a práticas seculares de uso e manejo inadequados do solo e da água, comprometem os recursos naturais desencadeando processos de desertificação.

As áreas de alta desertificação evidenciam um equilíbrio precário entre a fauna, a flora e as condições do meio (clima, solo, topografia, cobertura vegetal, etc). Estas áreas exigem atenção especial, no sentido de serem desenvolvidas ações que orientem a adoção de formas de uso e providências tecnicamente adequadas a esta condição, bem como a promoção de ações que visem à recuperação das áreas de alta degradação. Vale ressaltar que, para a consecução destas propostas, se faz necessária a revitalização dos serviços de assistência técnica e de extensão rural e

ainda, a implantação das legislações ambientais pertinentes.

Sugere-se a continuidade do monitoramento do processo de desertificação do Núcleo de São Raimundo Nonato – Piauí, bem como a ampliação do emprego da metodologia para as demais áreas no estado do Piauí suscetíveis a desertificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. A problemática da desertificação e da savanização no Brasil intertropical. **Geomorfologia**, Instituto de Geografia, USP, São Paulo, 1977, 53:1-20.

ACCIOLY, L. O. Avaliação de Mudanças no Albedo do Núcleo de Desertificação do Seridó através de Imagens do Landsat TM. In: **X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Foz do Iguaçu, 2001, p. 549-556. Anais.

ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, J.R. Manejo da cobertura do solos e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, nº 1, p. 136-141, 2002.

AQUINO, C. M. S. **Suscetibilidade Geoambiental das Terras Secas do Estado do Piauí à Desertificação**. Dissertação de Mestrado – Programa Regional de Pós-Graduação em

- Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.
- BERTONI, J. & F. LOMBARDI NETO. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone ed., 1999.
- BRAGA, C.C.; BRITO, J.I.B.; SANSIGOLO, C.A.. Sazonalidade de índice de Vegetação sobre o Nordeste do Brasil. Disponível em: <http://mtcm15.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1915/2005/09.12.13.37/doc/Braga_Sazonalidade%20de%20indice.pdf.pdf>. Acesso em 26 novembro, 2008.
- BRAGA, C.C.; BRITO, J.I.B.; SANSIGOLO, C.A.; RAO, T. V. R. Tempo de resposta da vegetação às variações sazonais da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, p. 149-157, 2003.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa de ação Nacional de Combate à desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, PAN-BRASIL**. Edição comemorativa dos 10 anos da Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – CCD. Brasília: MMA, 2004. 225p.
- BUENO, C.R.P.; STEIN, D. P.; GARCIA, G. J. Distribuição espacial do potencial natural de erosão na alta e média bacia do rio Jacaré – Pepira, SP. **Revista Ciências Biológicas e do ambiente**, São Paulo, v. 2, nº2, p. 139-153, maio/ago. 2000.
- CAMPOS FILHO, O. R. I. de F. da SILVA, A. P. de ANDRADE & J. C. LEPRUN. Erosividade da chuva e erodibilidade do solo no Agreste de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, nº9, p. 1363 – 1370, 1992.
- CANDIDO, H. G.; GALBIATTI, J.A.; PISSARRA, T. C. T. & MARTINS FILHO, M. V.. Degradação ambiental da bacia hidrográfica do rio Uberaba: uma abordagem metodológica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal. vol.30, n.1, pp. 179-192, 2010.
- CECÍLIO, R. A. Estimativa da erosão a partir da Equação Universal de Perdas do solo. Disponível em: <<http://www.nedtec.ufes.br/prof/Roberto/disciplinas/manejo/USLE.pdf>>. Acesso em novembro, 2008.
- EASTMAN, J.R. **IDRISI 3.2 Production**. Clark University, Worcester, MA, USA, 2001.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa Agropecuária Municipal – Piauí - anos de 1985, 1989, 1995, 2001 e 2006**. Rio de Janeiro.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa Pecuária Municipal anos Piauí - de 1991, 1995, 2001 e 2006**. Rio de Janeiro.
- LANDIS, J.; KOCH, G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometric**, v. 33, jan, 1977.
- LEPRUN, J. C. **Manejo e conservação de solos no Nordeste**. Recife: SUDENE, 1988.
- LEPSH, I. F.; BELLINAZZI JR, R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4ª aproximação. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 1991.
- LOPES, H.; CANDEIAS, A.L.B.; ACCIOLY, L.J.O.; SOBRAL, M. do C.M. & PACHECO, A.P. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. In: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.11, p.1210–1219, 2010.
- MATALLO JÚNIOR, Heitor. Desertificação e Sustentabilidade no Semi-árido. **Revista ECO 21**. Rio de Janeiro. Mar/Abr, 2000. p. 40-44.
- MATALLO JÚNIOR, H. **Indicadores de desertificação: histórico e perspectiva**. Brasília: UNESCO, 2001.
- NOLÊTO, T. M. S. J. **Suscetibilidade geoambiental das terras secas da microrregião de Sobral – CE à desertificação**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – PRODEMA- Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.
- RODRIGUES, Valdemar et al. **Avaliação do Quadro de Desertificação no Nordeste do Brasil: diagnóstico e perspectiva**. In: GOMES, G. M. et. al. Desenvolvimento Sustentável no Nordeste. Brasília: IPEA, 1995.
- ROMKENS, M. J.M., R.A. YOUNG, J.W. A POESEN, D.C. McCOOL, S.A.EL-SWAIFY e J.M. BRADFORD – Soil Erodibility Factor (K). In: RENARD, K.G., G.R. FODSTER, G.A

- WEESIES, D. K. McCOOL & D.C. YODER (Coordinators). **Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation, Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. Washington: USDA/ARS, Agriculture Handbook n° 703, 1997.).
- ROMKENS, M. J.M., S. N. PRASAD & J.W. A POESEN. Soil Erodibility and Properties. In: **Annals of the VIII CONGRESS of the ISSS**, Hamburg, p. 492 – 503, out. 1987.
- SALES, M. C. L. **Estudos climáticos, morfo-pedológicos e fitoecológicos no núcleo de desertificação de Irauçuba - Ceará**. 2003. Tese (Doutorado em Geografia) - USP/FFLCH, São Paulo, 2003.
- SALES, M.C.L. Evolução dos estudos de desertificação no Nordeste Brasileiro. In: **GEOUSP: Espaço e Tempo**, São Paulo, n° 11, 2002
- SAMPAIO, E. & SAMPAIO, Y. **Desertificação – Conceitos, causas, consequências e mensuração**. UFPE, UFRPE, FINEP – Recife, PE: 2002. 85p.
- SANTOS, P.; NEGRI, A. J. A comparison of the normalized difference vegetation index and rainfall for the Amazon and northeastern Brazil. **Journal of applied meteorology**, Washington, v. 36, n 7, p. 958-965, 1997.
- SHIRAZI, M. A. & BOERSMA, L. A. A unifying quantitative analyses of soil texture. **Soil Science Society of America Proceedings**, Las Vegas, v. 48, n° 1, p.142 – 147, 1984.
- SILVA, J.R.C. **Erodibilidade dos solos do Ceará: distribuição espacial e avaliação de métodos para sua determinação**. 1994. Tese para concurso de professor titular, Departamento de Solos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1994.
- SILVA, R. M.; CAMPOS, S.M. F.; SANTOS, C.A. **Erosividade da chuva e desertificação no semiárido paraibano**. Disponível em: <<http://www.semiluso.com.br/artigoslivros/erosividadedachuva.pdf>>. Acesso em 02 de novembro de 2008.
- SUDENE. **Dados Pluviométricos Mensais do Nordeste: Estado do Piauí**. Recife, 1990.
- THORNTHWAITE, C.W & J.R. MATHER. **The Water Balance - Publications in Climatology**. N. Jersey: Centerton, v. VIII, n° 1, 1955.
- UNEP. **Status of desertification and implementation of the United Nations Plan of Action to Combat Desertification**. Nairóbi, 1991.
- VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Metodologia para Identificação de Processos de Desertificação: Manual de Indicadores**. Recife: SUDENE, 1978.
- WIKIPEDIA. **Cramér's V**. disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Cram%C3%A9r's_V. Acessado em 18/09/2009.