

Estimativa da aridez no Estado do Ceará usando Sistemas de Informação Geográfica

Rafaela Ferreira Caitano¹
Fernando Bezerra Lopes¹
Adunias dos Santos Teixeira¹

¹ Universidade Federal do Ceará - UFC
Av. Humberto Monte, Campus do Pici - Fortaleza - CE, Brasil
{rafaela_caitano; lopesfb}@yahoo.com.br; adunias@ufc.br

Abstract. Water is a limiting factor for the world's economy because of its decreasing quality and changes in distribution. With global warming, an increase in aridity is predicted for some areas in some model scenarios which estimated that drought would persist in critical agricultural regions. Assessment and monitoring of aridity is essential to combat probable land degradation and desertification. The most widely used method of calculating aridity index (AI) has been that recommended by UNESCO. A geographic information system is used in this paper for the assessment and update aridity of Ceará from long-term climatic data collected from stations distributed in State. Daily precipitation data of 91 rain stations over the State of Ceara for 1976–2009 were analyzed to calculate mean monthly and annual precipitation. Other climatic parameters needed in calculating the FAO recommended Penman-Monteith reference evapotranspiration (ET_o-PM) as sunshine hours, air humidity, as well as wind speed at 2m height were acquired from 16 meteorological stations over State. Then present calculated results of both precipitation and evapotranspiration were spatially interpolated for study area by kriging method using SURFER. UNESCO Aridity Index was then calculated using ArcGis. Results shows that the annual average precipitation is 618-1394 mm in the whole State, while annual potential evapotranspiration ranged between 1243-2212 mm. Results evidenced that climate of Ceará is mostly semiarid in nature which comprises 76.16 % of total area of State.

Palavras-chave: monitoring, Northeast Brazil, krigging, droughts, monitoramento, Nordeste do Brasil, krigagem, secas

1. Introdução

A água é um fator limitante para a economia mundial devido à redução da sua disponibilidade, ao decréscimo da sua qualidade e às mudanças na sua distribuição. Durante a última década, as questões relacionadas às alterações climáticas têm estado no centro de muitos estudos científicos que alertam sobre uma possível elevação da temperatura no planeta (Paltineanu, 2006). Os modelos climáticos utilizados prevêm um aumento da aridez para algumas áreas com a estimativa de que as secas manter-se-ão frequentes (Schwartz e Randall, 2003). Assim, o conhecimento da aridez é necessário para, além de explicar as características da paisagem, possibilitar a determinação de medidas políticas e de gestão necessárias a utilização racional dos recursos hídricos em muitas regiões.

Existem várias metodologias utilizadas para a determinação da aridez de uma região. A definição elaborada pelas Nações Unidas (UNESCO, 1979) baseia-se na metodologia desenvolvida por Thornthwaite (1941), com posterior ajuste por Penman (1953), segundo a qual o índice de aridez (IA) de uma região consiste na razão entre a quantidade de água advinda da chuva (Precipitação) e as potenciais perdas de água para a atmosfera (Evapotranspiração Potencial).

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são ferramentas potenciais a serem utilizadas nos processos de tomada de decisões relativas à gestão dos recursos. Nas últimas duas décadas, técnicas geoestatísticas de previsão espacial e interpolação tornaram-se componentes essenciais de qualquer SIG (Odeh, 2008). Esta eficiente ferramenta, a

interpolação, permite que se estimem valores de pontos desconhecidos a partir de uma ponderação dos pontos de valores conhecidos. Estas técnicas são facilmente aplicadas à produção de mapas digitais que permitem interações e operações aritméticas que simulam adequadamente as condições reais.

O Nordeste brasileiro tem sua história marcada por eventos de secas com diversos graus de intensidade que geralmente desencadeiam graves problemas sócio-econômicos. A região é caracterizada pela concentração do regime pluviométrico em um único período de três a cinco meses no ano, com uma média de precipitação de 775 mm e um coeficiente de variação de 30% (MINTER, 1984).

O Estado do Ceará é o terceiro maior Estado, em extensão, do nordeste brasileiro. Com 75% de sua área total incluída na isoietta abaixo de 800 mm anuais (FUNCEME, 1991) e médias térmicas elevadas, variando de 23° a 27° C, o Ceará apresenta zonas com balanço hídrico anual negativo (MIN, 2005). De acordo com a classificação climática de Köppen, o Estado apresenta três tipos de clima: BSw'h', Aw' e Cw', havendo uma predominância em aproximadamente 80% como BSw'h' (semi-árido).

Diversos autores (Pereira Jr, 2007; Santos, 2010; Valadão, 2010) estudaram os índices de aridez para todo o nordeste brasileiro e ponderaram a precisão dessa aplicação por se tratar de uma vasta extensão geográfica e pela escassez e/ou má distribuição de estações meteorológicas em algumas localidades.

A Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos estimou a aridez para o Estado do Ceará e recomendou que o mapa fosse tomado “de maneira mais regionalizada já que os mesmos foram gerados através de interpolação dos dados esparsos, e devido às acentuadas diferenças de duração das séries temporais e de quantidade de estações para cada ano” (FUNCEME, 2002).

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho obter uma representação mais precisa, fiel e atualizada da distribuição espacial da aridez no Estado do Ceará utilizando-se Sistemas de Informação Geográfica.

2. Metodologia

A área de estudo corresponde ao Estado do Ceará (Figura 1) que está inteiramente inserido na região intertropical, entre os paralelos 2,5° e 8° de latitude Sul e os meridianos 37° e 42° de longitude Oeste. O Estado tem área total igual a 146.348,30 km², equivalente a 9,37% da área da região Nordeste e 1,7% da superfície do Brasil (GEC, 2010).



FIGURA 1: Localização do Estado do Ceará no Brasil.

Para o cálculo do Índice de Aridez, seguiu-se o critério estabelecido pelas Nações Unidas (UNESCO, 1979), segundo o qual o Índice de Aridez de uma região consiste na razão entre a Precipitação e Evapotranspiração Potencial. A Tabela 1 apresenta a classificação climática para o índice de aridez, conforme critérios estabelecidos por Thornthwaite (1941) ajustado por Penman (1953).

TABELA 1 – Classes de clima de acordo com o Índice de Aridez

Classe	Índice
Hiper-árido	< 0,03
Árido	0,03 – 0,2
Semi-árido	0,21 – 0,5
Sub-úmido e seco	0,51 – 0,65
Sub-úmido e úmido	> 0,65

Fonte: Resolução CONAMA Nº 238.

Foi compilada uma base de dados contendo como planos de informação as médias anuais de precipitação, as médias anuais de evapotranspiração potencial e as coordenadas geográficas das estações climatológicas.

Para o cálculo da precipitação média anual foram utilizados valores de precipitação diários de 91 estações meteorológicas distribuídas por todo o Estado do Ceará (Figura 2a). Os dados pluviométricos foram provenientes da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). O número de estações meteorológicas selecionadas foi determinado em função das séries históricas de modo que todas contivessem um período superior a 30 anos de registros sem falhas, abrangendo os anos entre 1976 e 2009.

Para a estimativa da evapotranspiração potencial foi utilizado o método de Penman-Montheith recomendado pela FAO (Equação 1) (ALLEN et al., 1998). Foram compilados os dados climáticos médios mensais de 16 municípios (Figura 2b) que dispunham de séries completas de, em média, 15 anos. As variáveis climáticas - temperaturas máximas e mínimas, umidade relativa, velocidade do vento a 2 metros da superfície do solo, insolação, altitude e coordenadas geográficas – foram obtidas de estações meteorológicas de instituições como Universidade Federal Ceará (UFC), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Escritórios Estaduais de Meteorologia.

$$ET_o = \frac{0,480\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

em que: R_n é o saldo de radiação ($MJ m^{-2} dia^{-1}$), G o fluxo de calor no solo ($MJ m^{-2} dia^{-1}$), γ a constante psicrométrica ($kPa ^\circ C^{-1}$), T a temperatura média do ar ($^\circ C$), u_2 a velocidade do vento a 2,0 m de altura ($m s^{-1}$), e_s e e_a déficit de pressão de vapor do ar saturado e do ar ambiente (kPa), respectivamente e Δ a inclinação da curva de pressão de vapor ($kPa ^\circ C^{-1}$).

Na Tabela 2 são apresentadas os valores médios anuais da evapotranspiração potencial estimada para os municípios.

TABELA 2. Valores médios anuais de evapotranspiração potencial estimado pelo método Penman-Monteith FAO para alguns municípios do Estado do Ceará.

Municípios	Etp (mm ano ⁻¹)	Municípios	Etp (mm ano ⁻¹)
Acaraú	2044,2	Jaguaruana	2060,4
Aracati	2064,3	Juazeiro do Norte	1888,2
Barbalha	1868,7	Morada Nova	2177,7
Campos Sales	2215,2	Paraipaba	1629,6
Crateús	2183,1	Pentecoste	2146,5
Fortaleza	1780,5	Quixeramobim	2183,4
Guaramiranga	1200,9	Sobral	1990,2
Iguatu	1745,4	Tauá	1983,6

Fonte: CABRAL (2000).

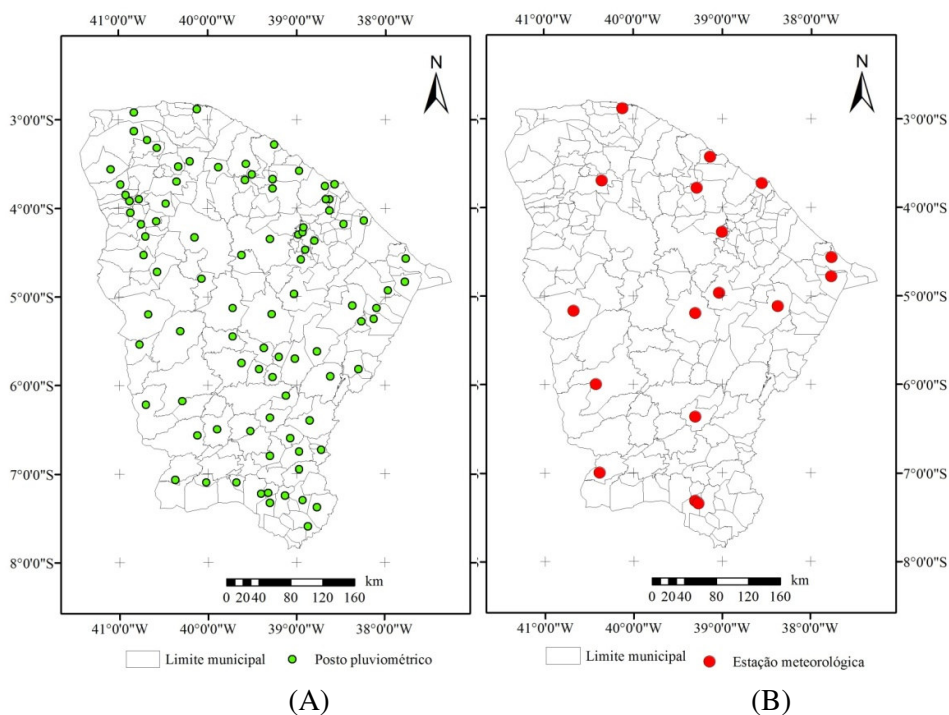


FIGURA 2: Localização dos postos pluviométricos (A) e estações meteorológicas (B) no Estado do Ceará.

A interpolação dos valores pontuais de precipitação e evapotranspiração foi feita aplicando o método de krigagem (Cressie, 1990) utilizando o software SURFER (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 2002). Esses valores foram espacializados, para toda a área de estudo, por meio de grades regulares com 2000 x 2000 m de resolução. Com o uso do software ArcMap (Esri), os valores foram agrupados em intervalos de classes e com a ferramenta de análise espacial “álgebra de mapas” foi realizado o cálculo do Índice de Aridez.

3) Resultados e Discussão

Na Figura 3 observa-se a distribuição espacial da precipitação anual para o Estado do Ceará que corrobora com estudo da FUNCEME (1991) segundo o qual o Estado possui 75% de sua área total incluída na isoietia abaixo de 800 mm anuais. O valor máximo de precipitação média observada foi de 1394 mm ano⁻¹ enquanto o mínimo foi de 618 mm ano⁻¹.

Observa-se que, as áreas contempladas com as maiores médias anuais de precipitação se concentram nos setores noroeste (região da Serra da Ibiapaba), Cariri (Chapada do Araripe – sul do Estado) e em toda a faixa litorânea e a região do Maciço de Baturité. Nas regiões do Sertão dos Inhamuns, Sertão Central e Jaguaribe estão as áreas menos favorecidas pelas quantidades de precipitação o que sugere que estas sejam as regiões com menores índices de aridez.

Tal distribuição das chuvas pode ser explicada pela influência dos tipos de precipitações em cada região do Estado. As regiões da Serra da Ibiapaba e do Maciço de Baturité sofrem uma forte influência do efeito orográfico nos regimes pluviométricos. Enquanto que a região litorânea está sob a influência das massas úmidas vindas do oceano, bem como a influencia da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

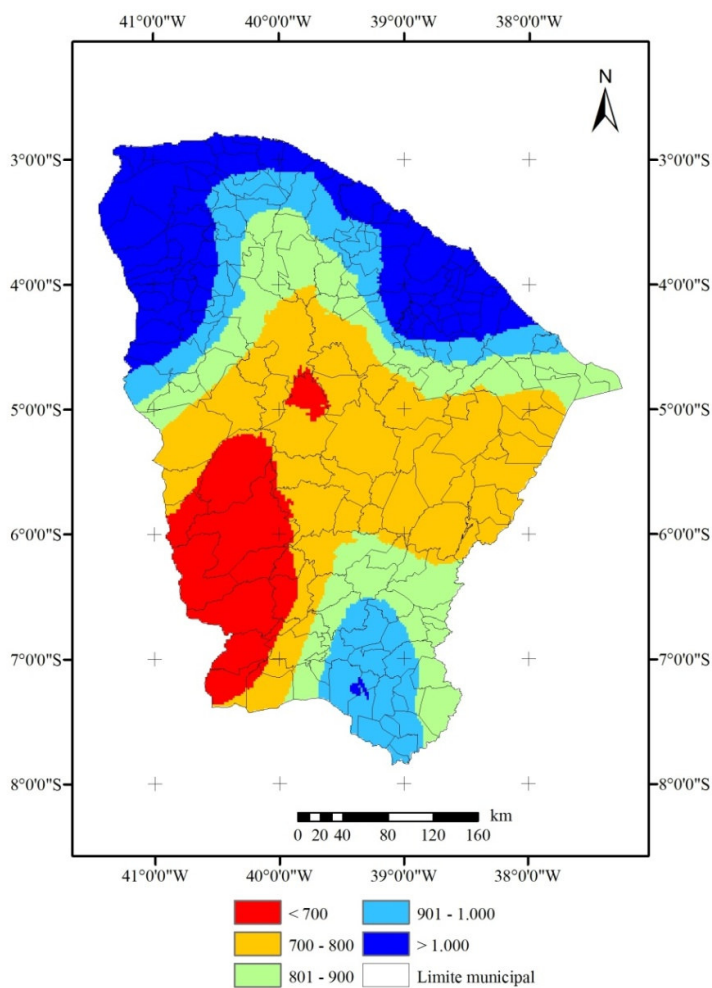


FIGURA 3 – Variabilidade espacial da precipitação média (mm ano⁻¹) do Estado do Ceará.

Na Figura 4 observa-se a distribuição espacial da Evapotranspiração Potencial média (mm ano^{-1}) do Estado do Ceará. O valor máximo observado foi de 2212 mm ano^{-1} enquanto o mínimo foi de 1243 mm ano^{-1} .

De uma forma geral pode-se dizer que a ETo aumenta no sentido de norte-nordeste para sul-sudeste e sul-sudoeste o que corrobora com resultados de Dantas Neto (1998). Entretanto os maiores valores tendem a concentrar-se nas regiões do Sertão dos Inhamuns, Sertão Central e Litoral Leste-Jaguaribe. As regiões localizadas acima do paralelo -5° tendem a apresentar os menores valores de ETo, principalmente a região norte-nordeste do Estado.

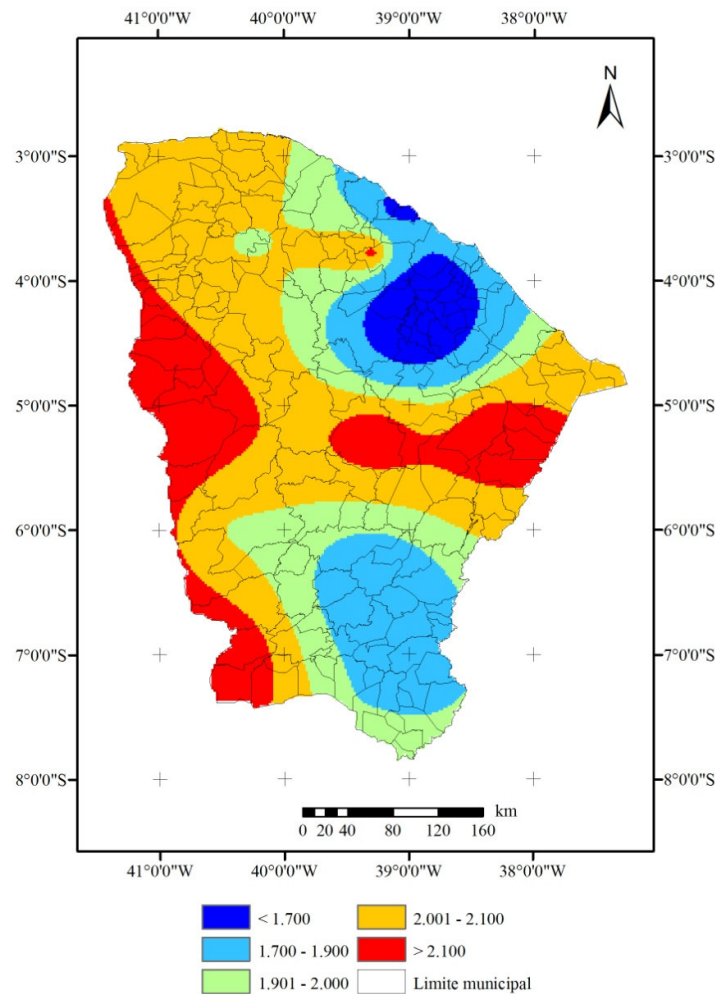


FIGURA 4 – Variabilidade espacial da Evapotranspiração Potencial média (mm ano^{-1}) do Estado do Ceará.

Na figura 5 observa-se a distribuição espacial do Índice de Aridez para o Estado do Ceará conforme a metodologia recomendada pela UNESCO (1979). O resultado obtido com essa metodologia – considerando-se semi-áridas as áreas com Índice de Aridez de 0,21 a 0,50 – determina que o semi-árido cearense envolve uma área de $11.386.517 \text{ km}^2$ equivalentes a 76,16 % da área do Estado.

Ao se comparar o mapa do Índice de Aridez (Figura 5) com o mapa distribuição espacial da precipitação média (Figura 3) observa-se que a delimitação espacial do semi-árido conforme a metodologia empregada extrapolou a superfície configurada pela isoietal modal de 800 mm, critério adotado para a delimitação pela Agência de Desenvolvimento do Nordeste – (ADENE).

Como a semi-aridez é uma qualidade do clima, fenômeno estrutural por natureza, a Organização Mundial de Climatologia recomenda que sejam utilizadas séries temporais de dados de aproximadamente 30 anos para os cálculos dos indicadores de forma a evitar ou, no mínimo, reduzir, no cálculo das médias, possíveis distorções produzidas por eventuais fenômenos meteorológicos (conjunturais). Para este trabalho, as séries temporais de precipitação tiveram a duração de 33 anos, conforme recomendado, no entanto, devido a inexistência e/ou dificuldade na aquisição dos dados climatológicos foram utilizadas séries mais curtas para a estimativa da evapotranspiração.

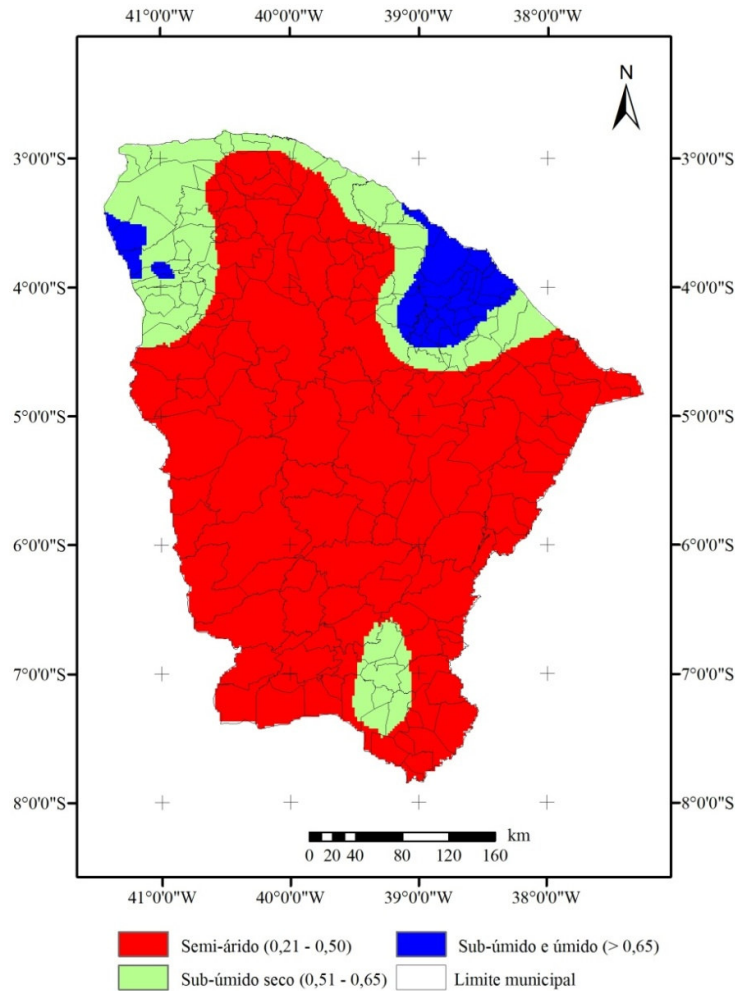


FIGURA 5 – Índice de Aridez para o Estado do Ceará conforme metodologia da UNESCO (1979).

4. Conclusões

Conclui-se que o semi-árido cearense envolve uma área de 11.386.517 km² equivalentes a 76,16 % da área do Estado. A utilização de Sistemas de Informação Geográfica permitiu a realização de uma análise rápida e dinâmica da área em estudo. Recomenda-se a utilização de séries temporais tão longas quanto possíveis e atualizações periódicas da delimitação do semi-árido de modo a servir como subsídio a pesquisa e determinação de medidas políticas e de gestão ambiental.

Referências

- CABRAL, R. C. Evapotranspiração de referência de Hargreaves (1974) corrigida pelo método de Penman-Monteith (1991) para o Estado do Ceará. 2000. 83p. **Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola**. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza/CE.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - **Resolução Conama no 238**. CONAMA, 1997.
- CRESSIE NAC. **The origins of Kriging**. *Mathematical Geology* 22: 239–252. 1990.
- DANTAS NETO, Francisco Solon ; BARRA, T. S. . Variação espaço-temporal da evapotranspiração de referência no estado do Ceará.. **In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, X e Congresso Latino-Americano e Ibérico de Meteorologia**, VII, 1998, Brasília, 1998.
- FUNCEME, 1991. **Análise preliminar do fator mais provável da medida de tendência central das series anuais de precipitação no Ceará**. Fortaleza, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 1991.
- FUNCEME, 2002. **Mapa do índice de Aridez para o Ceara**. Disponível em <<http://www.funceme.br/areas/meio-ambiente/indice-de-aridez>> Acesso em 12 de novembro de 2010.
- GEC, 2010. **Governo do Estado do Ceara**. Disponível em <<http://www.ceara.gov.br/index.php/ceara-em-numeros>>. Acesso em 02 de novembro de 2010.
- MINTER (SUDENE) - **Plano econômico-social de aproveitamento dos pequenos depósitos minerais do Nordeste Oriental**. SUDENE/CPRM, Recife. 1984.
- Odeh, I.O.A.; Onus, A. Spatial Analysis of Soil Salinity and Soil Structural Stability in a Semiarid Region of New South Wales, Australia. **Environmental Management**, v42, p.265-278, 2008.
- PALTINEANU, C. et al. Using aridity indices to describe some climate and soil features in Eastern Europe: a Romanian case study. **Theoretical and Applied Climatology**. 2007.
- PEREIRA JÚNIOR, J. S. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Brasília: Câmara dos Deputados. 2007. 25p.
- SANTOS, N.D. et al. Estudo de alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.14, n.5, p.492–500, 2010.
- SCHWARTZ P, RANDALL D (2003) An abrupt climate change scenario and its implications for United States National Security, p 22. <www.environmentaldefense.org/documents/3566_AbruptClimateChange.pdf>
- SURFER 8 Program, Surface Mapping System, **Golden Software Inc**. 2002, Disponível em <www.goldensoftware.com>, acesso em 03 de novembro de 2010.
- UNESCO, 1979. Aridity definition (UN documents), **United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization**, New York. <http://www.unesco.org/new/en/unesco/resources/publications/> Acesso em 15/10/2010
- VALADAO, E.A.C. et al. Uma Análise Comparativa de Alguns Índices de Aridez Aplicados às Capitais do Nordeste do Brasil . **In: Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Belem-PA, 2010.