

## CENÁRIOS DE SUSCEPTIBILIDADE À SALINIZAÇÃO EM ÁREAS DO TRÓPICO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Anderson de Jesus Pereira<sup>1</sup>, Israel de Oliveira Junior<sup>2</sup>, Luís Henrique Bassoi<sup>3</sup>

**RESUMO:** Os dados topográficos extraídos do modelo digital de elevação (MDE) possibilitam analisar fatores associados a diversos fenômenos decorrentes no trópico semiárido brasileiro. Com isso, por meio deste estudo, objetivou-se avaliar a susceptibilidade ambiental à salinização através da modelagem de dados topográficos na Área Susceptível à Desertificação (ASD). Definiu-se o município de Jeremoabo-BA como escala espacial de análise devido às características climáticas e aos indícios de deterioração ambiental. Aplicou-se a lógica *fuzzy*, operador *gamma*, para integrar a declividade, plano de curvatura, perfil de curvatura e índice topográfico de umidade e configurar cenários de susceptibilidade à salinização. Destacou-se a ocorrência das classes de alta e severa susceptibilidade à salinização, por decorrer, juntas, em cerca de 68,2% da área total. Elas estão associadas às baixas declividades, altos índices topográficos de umidade, perfil de curvatura côncavo e à classe planar do plano de curvatura do relevo. Os dados indicam a necessidade de realizar um planejamento eficaz do uso da terra pela agricultura, como no manejo da irrigação, para não desencadear processos de salinização, que estão associados ao fenômeno da desertificação.

**PALAVRAS-CHAVE:** geoprocessamento, lógica *fuzzy*, análise ambiental

## SCENARIOS OF SUSCEPTIBILITY TO SALINIZATION IN AREAS OF THE BRAZILIAN SEMIARID TRAFFIC

**ABSTRACT:** The topographic data extracted from the digital elevation model (DEM) make it possible to analyze factors associated with several phenomena arising in the Brazilian semi-arid tropics. With this, through this study, the objective was to evaluate the environmental susceptibility to salinization through the modeling of topographic data in the Area Susceptible to Desertification (ASD). The municipality of Jeremoabo-BA was defined as a spatial scale of

---

<sup>1</sup> Mestrando em Agronomia – Irrigação e Drenagem, UNESP; e-mail: agroandersonn@gmail.com

<sup>2</sup> Dr. em Geografia; Secretaria de Educação do Estado da Bahia; e-mail: iojjjunior@gmail.com

<sup>3</sup> Pesquisador; Embrapa Instrumentação, São Carlos-SP; e-mail: luis.bassoi@embrapa.br

analysis due to climatic characteristics and signs of environmental deterioration. The fuzzy logic, gamma operator, was applied to integrate the slope, curvature plane, curvature profile and topographic humidity index and configure scenarios of susceptibility to salinization. The occurrence of classes of high and severe susceptibility to salinization was highlighted, due to the fact that together they account for about 68.2% of the total area. They are associated with low slopes, high topographic humidity indexes, concave curvature profile and the planar class of the relief curvature plane. The data indicate the need to carry out an effective planning of land use by agriculture, as in the management of irrigation, so as not to trigger salinization processes, which are associated with the phenomenon of desertification.

**KEYWORDS:** geoprocessing, *fuzzy* logic, environmental analysis

## INTRODUÇÃO

O trópico semiárido brasileiro é caracterizado pela concentração das precipitações pluviométricas em cerca de quatro meses e, assim, pelo longo período de estiagem, que, comumente, ultrapassa o tempo de um ano e desencadeia o fenômeno da seca (AB'SABER, 2003). A disponibilidade de solos férteis e água (BUAINAIN & GARCIA, 2015) expõem a irrigação como uma das alternativas para a ocorrência da agricultura e desenvolvimento no trópico semiárido. Calcula-se a distribuição de polos de irrigação ou perímetros irrigados em mais de 69 municípios dos estados nordestinos, com exceção do Maranhão. Alguns desses encontram-se em áreas de clima tropical semiárido, onde os sistemas produtivos são intensivos em capital, tecnologia e conhecimento (BUAINAIN & GARCIA, 2015).

As condições do clima, a qualidade das águas subterrâneas e superficiais, as características topográficas e pedológicas são intrínsecas à dinâmica ambiental do trópico semiárido e devem ser consideradas no manejo das terras, no intuito de potencializar a produção e evitar os processos de salinização e degradação. A salinização primária ou natural ocorre pela integração de elementos, a exemplo dos topográficos, ao favorecer o depósito de sais em relevos planos por causa do escoamento superficial (RIBEIRO et al., 2009). Outras situações, também, contribuem, como a restrição da drenagem em áreas baixas, onde sucede o acúmulo das águas e dos sais transportados; a baixa permeabilidade do solo, pois dificulta a lavagem dos sais; o lençol freático alto e as taxas elevadas de evapotranspiração, ao contribuir com a ascensão capilar (FANNING & FANNING, 1989).

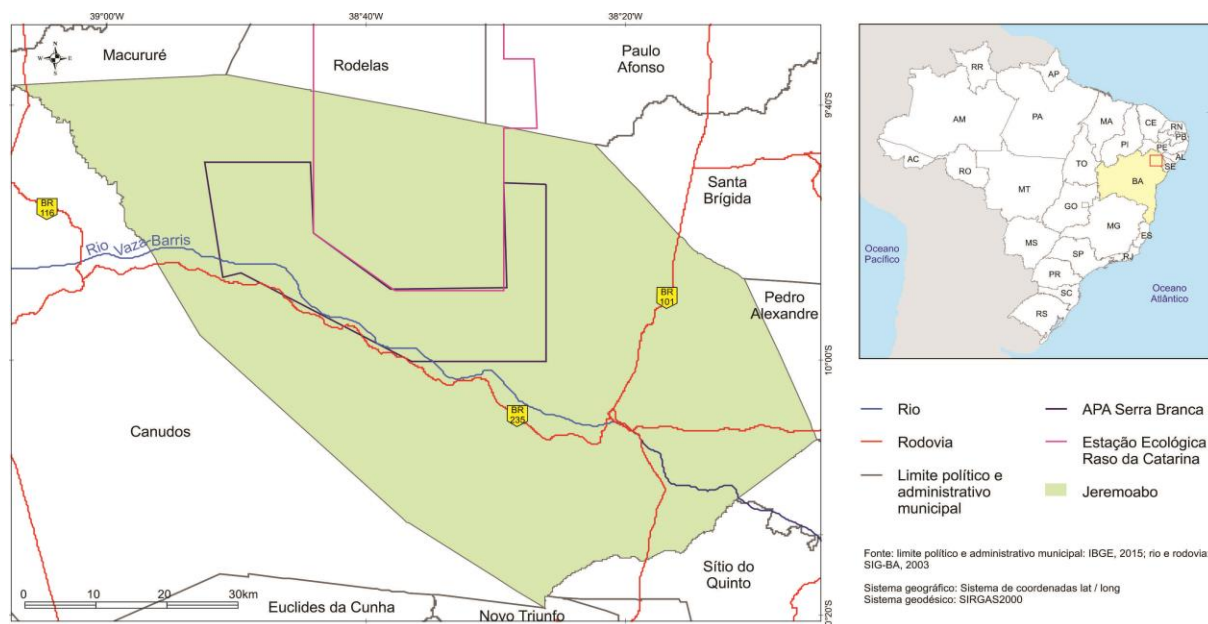
A salinização secundária é induzida por ações antrópicas, na maioria das vezes relacionada à irrigação, em razão do uso de água salina e/ou sódica; ausência de uma

drenagem eficiente; manejo errôneo da irrigação, com aplicação de lâmina excessiva, que eleva o lençol freático à superfície e ocasiona a deposição dos sais (RIBEIRO et al., 2016). Soma-se, também, o uso exacerbado de fertilizantes com teores elevados de sais, como o nitrato de amônia, cloreto de potássio e outros produtos comerciais (WANDERLEY, 2009). Com isso, resulta na alteração das propriedades físicas e químicas do solo, na consequente perda da capacidade produtiva (CASTRO & SANTOS, 2020; PEDROTTI, 2015; VASCONCELO, 2014). O acúmulo dos sais na área radicular aumenta o potencial osmótico, reduz a disponibilidade hídrica, gera a intoxicação das plantas, diminui a porcentagem de germinação e variação no crescimento das culturas (PEDROTTI, 2015; GKIOUGKIS et al., 2015).

A salinização na escala do semiárido é um dos indicadores de desertificação, além de encontrar-se associada ao abandono de terra (CASTRO & SANTOS, 2020). Aspectos do relevo são de importância para demonstrar a fragilidade ambiental e fatores de propensão à salinização, pois influem nos processos hidrológicos e condiciona espacialmente as zonas de acúmulo superficial de umidade. Na perspectiva da análise, a susceptibilidade refere-se à probabilidade de ocorrência de processos, como o de salinização, devido às características naturais (PEREIRA et al., 2020). Assim, por este estudo, objetiva-se elaborar um modelo ambiental de susceptibilidade à salinização através da integração de dados topográficos, para contribuir com a discussão de indicadores para o manejo das terras no trópico semiárido.

## **CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL**

A área de estudo compreende o município de Jeremoabo, situado na Área de Susceptibilidade à Desertificação (ASD), no norte do estado da Bahia (Figura 1). Nele, há estágios avançados de deterioração ambiental, que evidenciam alta propensão à ocorrência da desertificação (AB'SABER, 1977; OLIVEIRA JUNIOR et al., 2018; OLIVEIRA JUNIOR et al., 2020; LOBÃO & VALE, 2013). As secas ocorrem com frequência entre 61% e 80% (CARVALHO, 1973), não há excedente hídrico em nenhum mês, e o clima é caracterizado pelo constante déficit hídrico, em cerca de 822,9mm (SEI, 1999), demonstrando a severidade climática.



**Figura 1.** Localização do município de Jeremoabo – Estado da Bahia.

As rochas sedimentares são as de maiores extensões, constituídas, sobremaneira, de arenitos, que correspondem a 74,46% da totalidade encontrada na área. A geomorfologia é formada por três unidades, destacáveis, em ordem de ocorrência, pelas formas de dissecação e aplanamentos embutidos, tabuleiros e os pedimentos funcionais ou retocados por drenagem incipiente (SIG-BA, 2003).

As feições vegetais predominantes são a caatinga arbórea-arbustiva e a caatinga parque, que desenvolvem-se, sobretudo, sobre os tabuleiros. A agropecuária é desenvolvida, evidentemente, nas formas de dissecação e aplanamentos embutidos, caracterizadas pela pecuária extensiva e agricultura de sequeiro. No vale do rio Vaza-Barris, ocorre a agricultura irrigada, com a produção de frutíferas e milho (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2020).

## MATERIAIS E MÉTODO

Elaborou-se mapas das variáveis do relevo, denominados planos de informação, como declividade, plano de curvatura, perfil de curvatura e índice topográfico de umidade. Eles foram extraídos do modelo digital de elevação (MDE), do sensor Alos Palsar, com resolução de 12,5m, pela aplicação de técnicas de geoprocessamento.

Integrou-se os dados topográficos ao SIG por meio da lógica *fuzzy*, operador *gamma*, como especifica a equação 1.

$$\text{Modelo fuzzy} = (\text{soma algébrica}) \times (\text{produto algébrico}) \times (1 - g) \quad (1)$$

Em que a constante  $g$  varia de 0 a 1. A proximidade do valor zero gera um cenário otimista, em oposição ao distanciamento dele, porque os valores se aproximam da soma ou do produto algébrico (BONHAM-CARTER, 1994).

Cada classe do plano de informação foi valorada em função da susceptibilidade à salinização, que compreendeu valores entre zero e um, sendo os mais próximos ao um de maior susceptibilidade. Com isso, possibilitou analisar a paisagem no contexto da desertificação e a configuração de cenários de susceptibilidade à salinização.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Algumas variáveis do relevo possuíram importância hierárquica na configuração da modelagem, pois influenciam os processos de acúmulo e escoamento superficial hídrica, de importância para analisar a susceptibilidade ambiental à salinização. Com isso, por meio dos estudos em campo, associado aos dados extraídos do MDE, selecionou-se a declividade, plano de curvatura, perfil de curvatura e índice topográfico de umidade para integrá-los ao SIG e elaborar cenários próximos à realidade ambiental.

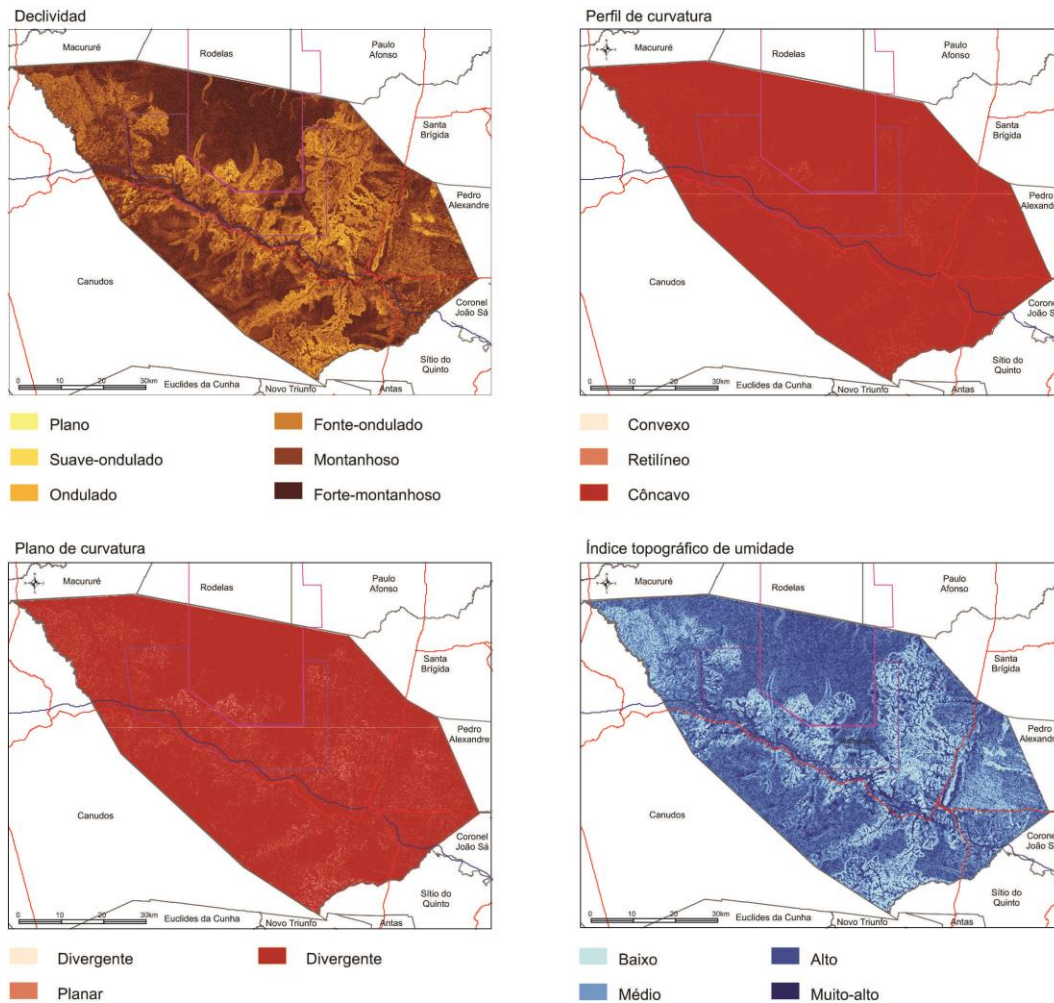
As altitudes variam entre 228m e 759m, sendo que as inferiores compõem o vale do rio Vaza-Barris. Para classificação das declividades, atendeu-se as indicações da EMBRAPA (1979). Constatou-se a predominância da classe forte-ondulada, por representar 32,17% da área (Figura 2). Em grandeza, esse número é acompanhado pela declividade suave-ondulada (29,96%), ondulada (18,32%) e plana (17,40%). Ínfimas proporções são formadas por declividades montanhosa e forte-montanhosa.

O perfil de curvatura refere-se ao caráter côncavo, convexo ou retilíneo do terreno, quando analisado em perfil, e condiciona o processo de migração, acúmulo de água, minerais e matéria orgânica sobre a superfície (VALERIANO, 2003). A classe côncava é mais evidente, por corresponder a 95,65% da totalidade da área (Figura 2). As vertentes retilíneas representam 4,35% e as convexas possui valores inferiores.

O plano de curvatura associa-se aos aspectos divergente, convergente ou planar dos fluxos de matéria em superfície ao ser analisado em projeção horizontal (VALERIANO, 2008). Predominam as vertentes planares, por decorrer em 72,18%, e das convergentes, por representar 27,80% (Figura 2).

As especificidades ambientais da área possibilitaram definir quatro classes do perfil topográfico de umidade, e verificou-se a preponderância da classe baixa, correspondente a

53,77% da área (Figura 2). Esses valores são seguidos pelo índice topográfico de umidade muito-alto (19,53%), alto (13,71%) e médio (13,00%).



**Figura 2.** Características topográficas – município de Jeremoabo-BA.

Os planos de informação foram integrados por meio do operador *gamma*, da lógica *fuzzy*, com expoente 7, pois constitui o mais apropriado, atendendo aos critérios especificados na figura 3. O resultado obtido refere-se a figura 4.

Perfil de curvatura	Convexo	0,5
	Côncavo	1,0
	Retilíneo	0,7

Plano de curvatura	Divergente	0,6
	Retilíneo	0,9
	Convergente	0,3

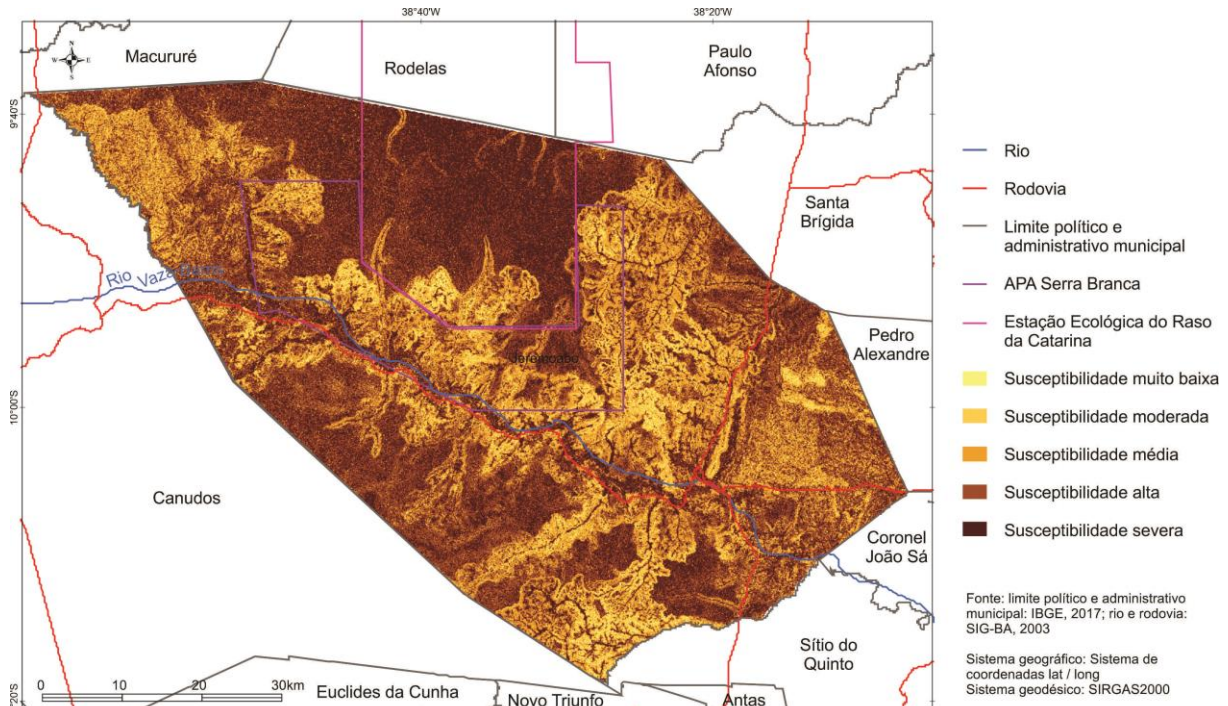
Declividade	Plano	1,0
	Suave-ondulado	0,9
	Ondulado	0,5
	Forte-ondulado	0,1
	Montanhoso	0,1
	Forte-montanhoso	0,0

Índice Topográfico de umidade	Baixo	0,3
	Médio	0,5
	Alto	0,8
	Muito-alto	1,0

**Figura 3.** Planos de informação e níveis de pertencimento ao conjunto *fuzzy*: critérios estabelecidos para a modelagem de susceptibilidade ambiental à salinização.

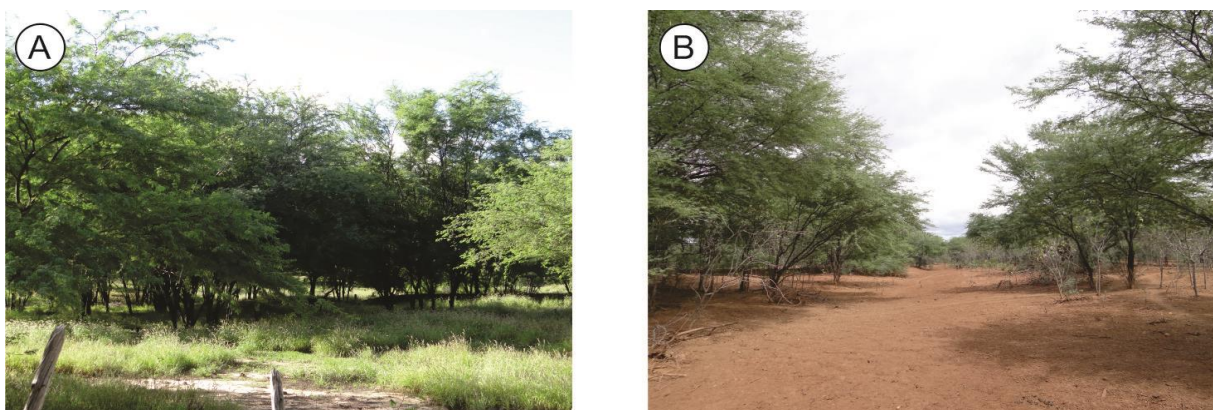




**Figura 4.** Susceptibilidade ambiental à salinização – município de Jeremoabo-Ba.

A classe de maior abrangência condiz com a de alta susceptibilidade ambiental à salinização, por representar 39,7% do município; seguida pela severa, ao decorrer em 28,5%. Elas dispersam, evidentemente, sobre os topos dos tabuleiros e no vale do rio Vaza-Barris. Nesses, os ambientes são demarcados pelo alto índice topográfico de umidade, plano de curvatura planar, perfil de curvatura retilíneo e baixas declividades.

No município, devido aos níveis elevados de sais no solo, é comum encontrar a algobora (*Prosopis juliflora*) (Figura 5). A espécie se desenvolve bem em regiões salinas (SANTOS & TERTULIANO, 1998; SINGH, 1996). Ela constitui como uma ótima forrageira alternativa para alimentar os animais em períodos de seca no semiárido brasileiro. O desenvolvimento da agricultura bioassalina é uma realidade em Jeremoabo, e os dados da pesquisa podem subsidiar o manejo mais adequando da atividade.



**Figura 5.** Desenvolvimento de algoboras (*Prosopis juliflora*) em áreas de susceptibilidade severa à salinização – vale do Rio Vaza-Barris. A: centro do município; B: oeste do município.

## CONCLUSÕES

A integração de variáveis topográficas pela lógica *fuzzy* indicou a amplitude da extensão das classes de alta susceptibilidade ambiental à salinização. A classe severa distribuiu-se em aproximadamente 28,5% da área, enquanto a alta a 39,7%. São fatores que precisam ser considerados, conjuntamente com as características hídricas e pedológicas, no manejo da água da irrigação, para não desencadear os fatores de desertificação no trópico semiárido brasileiro. Assim, o mapa de susceptibilidade ambiental à salinização contribuiu para efetivar métodos de irrigação mais adequados, associados à drenagem eficiente e às especificidades das culturas, como no desenvolvimento da agricultura biosalina.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. Problemática da desertificação e da savanização no Brasil intertropical. **Geomorfologia**, n. 53, p. 1-19, 1977.

\_\_\_\_\_. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. Cotia: Ateliê, 2003.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS**. New York: Pergamon, 1994.

BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R. Polos de irrigação no Nordeste do Brasil: desenvolvimento recente e perspectivas. **Confins**, n. 23, 2015.

CARVALHO, O. **Plano integrado para o combate preventivo aos efeitos das secas no Nordeste**. Brasília, DF: Minter, 1973.

CASTRO, F. C.; SANTOS, A. M. Salinity of the soil and the risk of desertification in the Semiarid region. **Mercator**, v. 19, e19002, 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Súmula 10: reunião técnica de levantamento de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1979.

FANNING, D. S.; FANNING, M. C. B. **Soil morphology, genesis and classification**. New York: John Wiley & Sons, 1989.



GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (ed.) **Manejo da salinidade na agricultura**: estudo básico e aplicados. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 9-16.

GKIOUGKIS, I.; KALLIORAS, A.; PLIAKAS, F.; PECHTELIDIS, A.; DIAMANTIS, V.; DIAMANTIS, I.; ZIOGAS, A.; DAFNIS, I. Assessment of soil salinization at the eastern Nestos River Delta, N.E. Greece. **Catena**, v. 128, p. 238-251, 2015.

LOBÃO, J. S. B.; VALE, R. C. M. Lógica *fuzzy* na modelagem da desertificação no estado da Bahia. **Geografia**, v. 38, n. 1, p. 123-140, 2013.

OLIVEIRA JUNIOR, I.; LOBÃO, J. S. B.; SILVA, B. C. M.; PEREIRA, A. J. Indicadores socioeconômicos de desertificação: a análise da produção agropecuária no polo Regional de Jeremoabo – Bahia. **GeoNordeste**, v. 29, n. 2, p. 23-42, 2018.

OLIVEIRA JUNIOR, I.; PEREIRA, A. J.; LOBÃO, J. S. B.; SILVA, B. C. M. N. Uso e cobertura da terra e o processo de desertificação no polo regional de Jeremoabo-Bahia. **Geografia**, v. 37, n. 2, 2020.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; NASCIMENTO, A. P. LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **REGET**, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PEREIRA, A. J.; OLIVERIA JUNIOR, I. LOBÃO, J. S. B. Análise da susceptibilidade à desertificação em ambiente de caatinga. **Geo UERJ**, n. 37, e39260, 2020.

RIBEIRO, M. R.; BARROS, M. F. C.; FREIRE, M. B. G. S. Química dos solos salinos e sódicos. *In*: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (ed). **Química e mineralogia do solo**: parte II – aplicações. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 449-484.

SANTOS, R. V.; TERTULIANO, S. S. X. Crescimento de espécies arbóreas em solo salino-sódico tratado com ácido sulfúrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 2, p. 239-242, 1998.

SING, G. **The role of Prosopis in reclaiming high-pH soils and in meeting firewood and forage needs of small farmers**. Kingsville: Center for SemiArid Forest Resources, 1996.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOREFERENCIADAS – SIG-BAHIA. **Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos – SIRH**. Salvador: Superintendência de Recursos Hídricos, 2003. 2 CD - Rom.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA – SEI.  
**Balanco hídrico do estado da Bahia.** Salvador: SEI, 1999.

VALERIANO, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 539-546, 2003.

VALERIANO, M. M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. (org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VASCONCELOS, M. C. C. A. Salinização do solo em áreas irrigadas: aspectos físicos e químicos. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 10, n. 1, p. 20-25, 2014.

WANDERLEY, R. A. **Salinização de solos sob aplicação de rejeito de dessalinizadores com e sem adição de fertilizantes.** Orientadora: Maria de Fátima Cavalcanti Barros. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade de Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.