

Modelagem numérica em SIG aplicada a gestão de salinas solares

Diógenes Félix da Silva Costa^{a,b}
David Hélio Miranda de Medeiros^a
Franklin Roberto da Costa^c
Renato de Medeiros Rocha^a

^a Laboratório de Ecologia do Semiárido / Departamento de Geografia
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Campus de Caicó)
Rua Joaquim Gregório, s/n, Penedo, 59.300-000, Caicó-RN, Brasil.
E-mails: diogenesgeo@yahoo.com.br / renatoaico@yahoo.com.br
davidgeo@yahoo.com.br

^b Departamento de Biologia, Universidade de Aveiro (Campus de Santiago)
3810-193 Aveiro, Portugal.

^c Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Rio Grande do Norte
Campus "Profª Maria Elisa de Albuquerque Maia", Br 405, Km 153, Arizona, 59.900-000
Pau dos Ferros-RN, Brasil. E-mail: franklin_rcosta@yahoo.com.br

Abstract. In solar saltworks, the limnological characteristics of the brines vary considerably through salt ponds, where drastic changes in these characteristics can damage the entire salt production. Although these systems constitute unique wetland habitats, new strategies and tools for management are poorly studied. In this sense, the Geographic Information Systems - GIS emerge as a technological alternative for analysis of ecological processes in different saltponds, and assessing the influence of transfers between the brines on the ecological parameters. In this research, were monitored some limnological parameters in seven sampling points distributed over the Salina Unidos (Macau-Brazil) circuit, during a complete production cycle. The software Spring 5.1.6 was used to build, store, analyze and model the spatial distribution of the parameters by numerical modeling. Salinity and alkalinity showed a relationship to salt production with extreme values in crystallizer zone. We identified a stratification of the salinity and temperature gradients, with values increasing from evaporation zone to concentration zone. Depth and dissolved showed a decrease from evaporation zone to concentration zone. It was analyzed distinct dynamics of these parameters, with an increase of concentrations of this and others parameters from evaporation zone to concentration zone, which showed a seasonal distribution heterogeneous and significantly different. This approach by GIS proved to be a practice tool for an adequate administration of solar saltworks (economic activity) and of the ecosystem managed.

Palavras-chave: Salt production, Management, GIS, Triangular Irregular Network, Brazil, Produção de sal, manejo, SIG, Triangular Irregular Network, Brasil.

1. Introdução

As salinas solares são ecossistemas marinhos compostos por uma série de tanques interconectados (evaporadores), fornecendo uma variedade de ambientes com diferentes salinidades, a partir da água do mar até à saturação do cloreto de sódio (Javor 1989). A partir da evaporação e consequente aumento da salinidade, a salmoura é

bombeada ou passada por gravidade para o próximo tanque, nos quais a salinidade é mantida dentro de curtos intervalos de variação, sendo essencialmente constante. Assim, cada evaporador pode assim ser considerado em equilíbrio de biota, com as comunidades adaptadas e estabelecidas em relação a salinidade (Pedrós-Alió et al., 2000).

As características hidrogeoquímicas das salmouras das salinas variam bastante em todo o mundo, onde estas variações dependem da localização geográfica, estação do ano, práticas de gestão, e muitos outros fatores (Oren, 2000). No entanto, embora estes sistemas sejam amplamente estudados, são poucos os trabalhos voltados para o desenvolvimento de métodos e técnicas que auxiliam na gestão da salmoura (Laborde, 1983; Davis, 2009).

Todavia, inúmeras técnicas para análises temporais e espaciais têm sido aplicadas a fim de identificar os diferentes tipos de habitats em ecossistemas (Dufrene e Legendre, 1997; Wetzel e Likens, 2000; Murtaugh e Pooler, 2006). Há, no entanto, a necessidade de implantar procedimentos robustos para o monitoramento e gestão em ecossistemas extremos, como as salinas brasileiras, onde o desenvolvimento de métodos e ferramentas voltados para estes tipos de zonas úmidas constitui um objetivo prioritário para os gestores das empresas salineiras (De Medeiros Rocha et al., 2012).

Entre as várias razões para novas abordagens nas análises espaciais em salinas, cita-se principalmente a urgência constante em se avaliar o fluxo de salmoura no ciclo de produção de sal, a caracterização espacial hidrogeoquímica e o monitoramento de flutuações/tendências das condições de produção de sal ao longo do tempo (Oren, 2000; Davis, 2009). Portanto, este artigo propõe a adaptação de um método de modelagem espacial TIN (*Triangular Irregular Network*) para analisar a distribuição das variáveis hidrogeoquímicas em uma salina solar.

2. Material e Métodos

2.1 Área de estudo

Esta pesquisa foi desenvolvida na Salina Unidos (Macau-RN), maior salina solar do Brasil, localizada no litoral semiárido nordestino (Figura 1), delimitada pelas seguintes coordenadas: lat/long 01 - 5°11'55,8" S e 36°40'19,0" W e lat/long 02 - 5°5'48,5" S e 36°34'44,5" W. Esta salina foi construída a mais de 30 anos, ocupando uma área alagada de 4.663,7 hectares.

2.2 Amostragem e análise de amostras

As amostragens foram realizadas entre janeiro e dezembro de 2007, onde a primeira fase desta pesquisa foi o reconhecimento do ciclo da salmoura na salina, analisando-se como se dava a gestão das salmouras nos tanques evaporadores. Esta salina apresenta seu sistema de produção (tanques de evaporação e concentração), dividido em sete zonas, em que a salmoura é deslocada entre os evaporadores logo que se atinge determinada saturação de sal.

As amostras foram realizadas mensalmente, entre janeiro e dezembro de 2007, em sete pontos de amostragem, analisando-se a salinidade (g/L) (refratômetro portátil Fisher), temperatura (°C) e pH da água (termômetro e pHmetro digital portátil Hanna) e profundidade (cm) - corda graduada e com peso, medidos *in situ*. As

concentrações de oxigênio dissolvido foram determinadas pelo método de Winkler (Golterman et al., 1978).

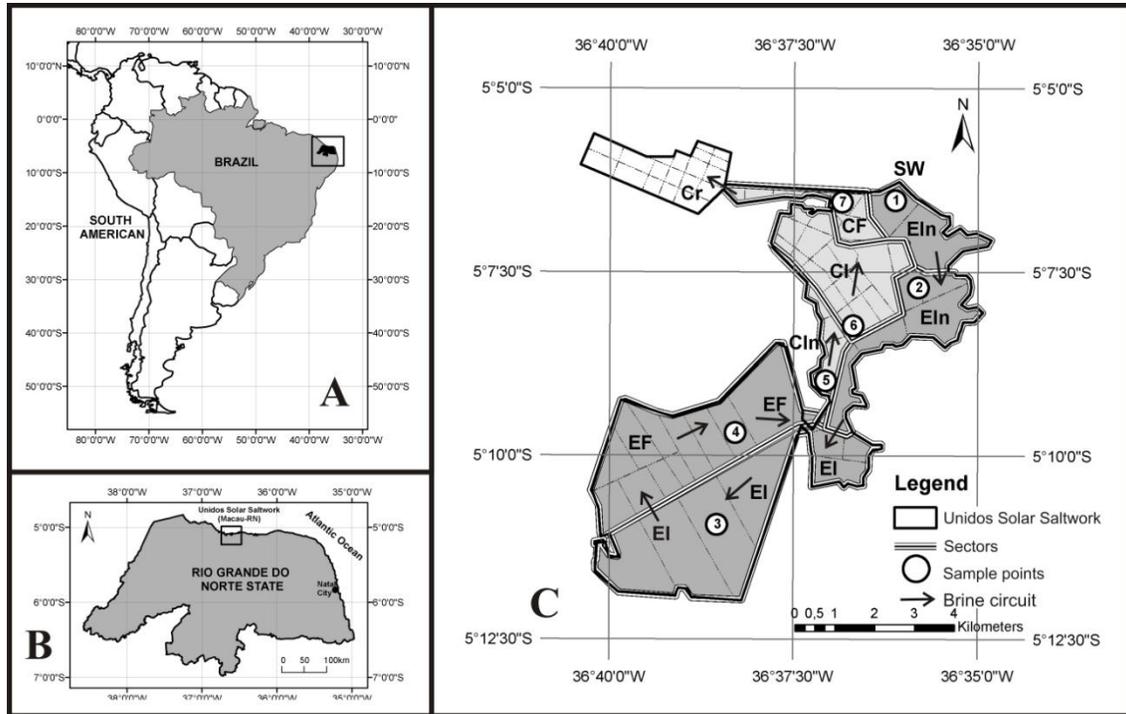


Figura 1. Mapa de localização dos pontos amostrais na Salina Unidos e direção do fluxo da salmoura, com a seguinte diferenciação: zona de entrada (SW); Zona de Evaporação (inicial - Ein, intermediário - Ei e final - EF), Zona de Concentração (inicial - Cin, Intermediário - CI e Final - CF) e tanques de cristalização (Cr).

2.3 Plotagem de pontos e criação de grades geométricas

Para a avaliação da viabilidade da técnica de modelagem espacial no monitoramento da variação dos parâmetros hidrogeoquímicos, o valor médio anual de cada ponto foi utilizado para criar os modelos em SIG, com auxílio do software SPRING 5.1.6 (Camara et al., 1996).

Esta etapa foi constituída em criar duas grades de modelagem, uma triangular e outra retangular. Para a grade triangular - TIN (*Triangular Irregular Network*), foi escolhido o tipo de "Delaunay", com linha de quebra, com as seguintes referências: nível de tolerância entre as linhas = 16.0, a distância entre isolinhas = 320,0 e tolerância de linhas de quebra = 16.0, Finalmente, a triangulação foi definida com menor margem = 3,2 metros.

Logo depois, foi criada a grade retangular, com base em dados numéricos da grade triangular (TIN), usando um interpolador do tipo "linear". Considerando a área da salina (46.630.000 m²), foi selecionado o valor de 50 metros (erro admissível < 20 m, escala 1:100.000) para o eixo X e Y, com pixel de 250 m² na imagem resultante, em

tonalidade cinza (cor opcional), com 32 bits. Essa grade final representa uma série de valores médios intermediários para cada pixel localizado entre os pontos da amostra, sendo atribuído um nível de tonalidade de cinza para esses valores.

3. Resultados e discussão

De acordo com a gestão da salmoura, a salinidade apresentou um gradiente espacial ao longo de todos os evaporadores, iniciando em 32 g/L no setor de evaporação inicial, com um aumento gradual deste valor para 269 g/L no setor de concentração final (Figura 2A). Em termos de segmentação da área de salinas, esta variável foi adotada como referência para dividir em 02 zonas: zonas de evaporação e concentração. Estas zonas foram ainda sub-divididas em 03 setores: inicial, intermediário e final, como já foi explicado por diversos autores (ex. Davis, 2000; Oren, 2009; López et al., 2010;). Nesse contexto, a Figura 2A mostram a existência de um setor de evaporação inicial, com valores entre 32 e 50 g/L, intermediário de 50 a 100 g/L e final de 100 a 150 g/L. Em seguida, o setor inicial da zona de concentração tem início entre 100 e 150 g/L, o intermediário com 150 e 200 g/L, e o final dos tanques de saturação com salmoura acima de 200 g/L. Neste setor, toda a salmoura é deslocada para pequenos tanques para a precipitação final de cloreto de sódio.

Os valores de profundidade mostraram um padrão para este tipo de ecossistema artificial, com progressiva redução de evaporação para concentração nos tanques. Nesse sentido, o valor mais elevado de profundidade foi obtido no tanque de evaporação inicial (210 cm), onde, em toda a zona de evaporação, as profundidades mantiveram-se acima do 100 cm. Na zona de concentração, esse valor diminuir gradualmente até atingir pequenos valores no setor final (25 cm). Este parâmetro morfométrico e a salinidade foram os primeiros analisadas para a caracterização de salinas como um sistema com habitats diferenciados (Figura 2B).

Em resposta ao aumento da salinidade e à redução de profundidade ao longo do circuito da salmoura, a temperatura da água e também mostram uma forte estratificação uniforme (Figura 2C), com valores médios de 26 °C no setor inicial da zona de evaporação, a 30 °C na parte final desta zona. Na zona de concentração, todos os valores estavam acima de 30 °C, onde no último setor da zona de concentração foram obtidos os valores mais elevados desta variável (34 °C). Inversamente proporcional à salinidade, a concentração de oxigênio dissolvido decresce progressivamente da zona de evaporação para a concentração (Fig. 2D), com valores mais elevados em tanques de evaporação inicial (6,0 mg/L), com valores intermediários (3,7 mg/L) no setor de final da zona de evaporação e do setor inicial da zona de concentração, até atingir a menor concentração (1,5 mg/L) no setor final desta zona, onde a salmoura atingir valores máximos da saturação de sal e é transferido para tanques cristalizadores (> 250 g/L).

A estratificação da salinidade é característica do manejo de salmoura em salinas solares, onde a mesma é transferida entre os tanques com o aumento da salinidade. Assim, no primeiro tanque de evaporação, foram identificados os valores típicos de salinidade da água do mar/estuarinas, onde a água ficar até o aumento da salinidade de 40g/L, caracterizando ainda um habitat para muitas espécies marinhas. No entanto, o aumento progressivo desta variável até atingir valores acima de 200 g/L caracterizam esta

zona como um ambiente hipersalino, típico e único habitat entre os da mais extrema importância para o desenvolvimento da vida do planeta (Pedrós-Alió et al., 2000).

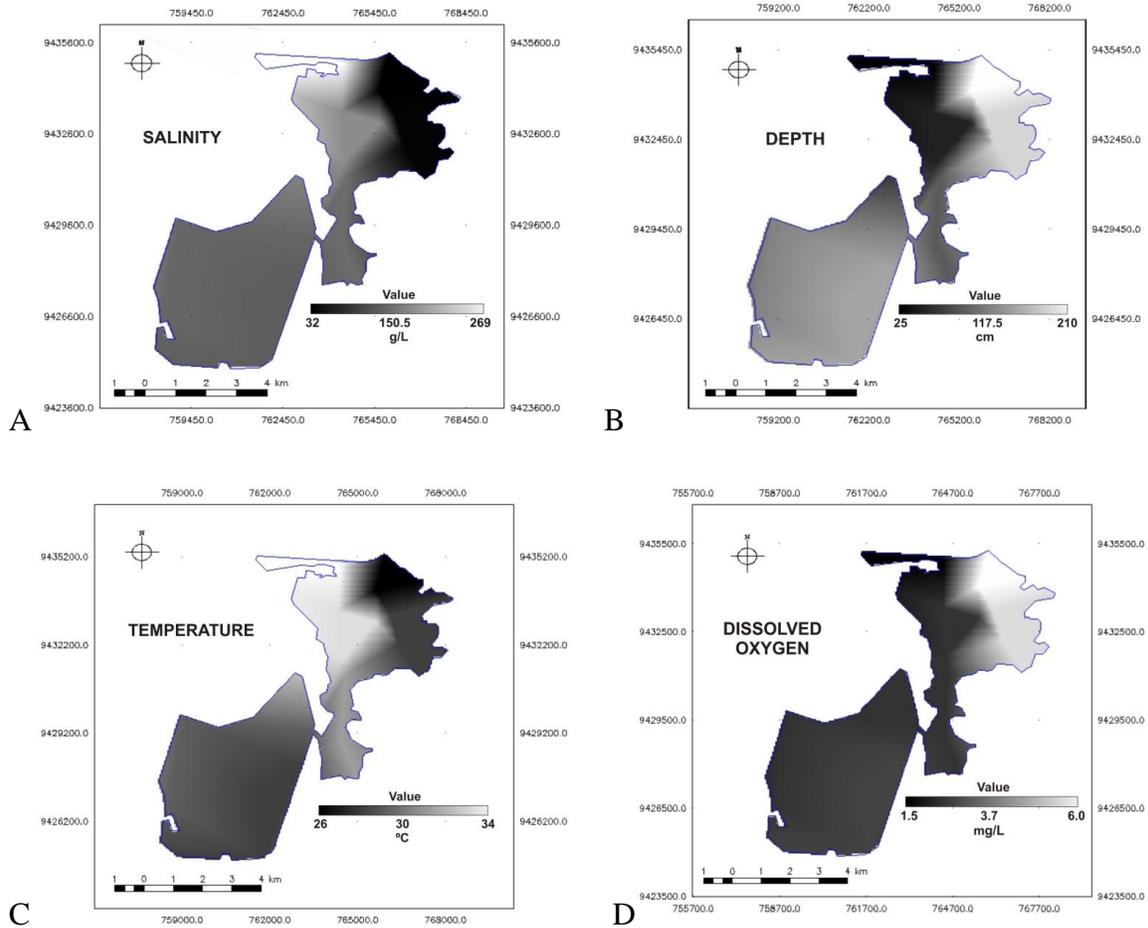


Figura 2. Variação espacial da salinidade (A), profundidade (B), temperatura (C) e oxigênio dissolvido (D) ao longo do circuito de salmoura na Salina Unidos.

Estes resultados indicam que os tanques de evaporação inicial pertencem a uma série de tanques preliminares de concentração, que recebem água do mar diretamente. Este ambiente é caracterizado pela constante bombeamento de água do mar (criando turbulências mecânicas), temperatura quente e radiação solar elevada, juntamente com os nutrientes que potencialmente se acumulam nos evaporadores. O aumento da temperatura é claramente explicado pela redução da profundidade e saturação da salmoura, mostrando uma associação entre a luz e a temperatura, como os encontrados em outros estudos (Oren, 2000).

Sobre a distribuição dos parâmetros ao longo do gradiente salino, como o aumento da salinidade, a temperatura também aumentou devido à maior capacidade

calórica da salmoura, enquanto alguns tanques foram supersaturada com oxigênio, outros tinham concentrações muito baixas devido à baixa solubilidade do oxigênio na salinidade e temperatura extremamente alta (Pedrós-Alió et al., 2000).

4. Conclusão

A análise destes parâmetros mostrou ser representante em os diferentes evaporadores, sendo apropriadas para monitorar a eficácia das estratégias de gestão das salinas. Conforme identificado nos resultados, o gradiente de salinidade é um fator chave para as salinas, a partir de um ponto de vista funcional, mas também para a gestão de tanques de evaporação. A constante necessidade de deslocamento da salmoura foi responsável pela ocorrência de grandes diferenças no valor da salinidade e da profundidade, determinando a ocorrência de uma heterogeneidade espacial ao longo da salina.

O procedimento utilizado permitiu identificar diferentes zonas a partir de diferentes perspectivas e em diferentes escalas de observação. O uso de modelagem para a espacialização apresentou vantagens importantes, pois forneceram informações detalhadas sobre a distribuição e características espaciais dos parâmetros analisados.

Portanto, o uso de Sistemas de Informações Geográficas no SPRING pode ser amplamente utilizado como uma ferramenta para o gerenciamento e monitoramento em salinas solares. Os resultados demonstraram a possibilidade de se adaptar um produto visual que possibilite aos gestores expressar o seu trabalho e experiência "*in situ*" de forma clara para a administração da empresa.

Agradecimentos

Agradecemos ao Laboratório de Ecologia do Semiárido (UFRN – Campus de Caicó) pelo apoio instrumental nos trabalhos de campo e de gabinete. A CAPES, pela concessão da bolsa de pesquisa doutoral para o primeiro autor (Proc. BEX. 5834/10-4). Gostaríamos de agradecer a administração da Salina Unidos (Grupo SALINOR S.A), que forneceu todos os recursos à sua disposição para realizar este trabalho.

Referências

Cairns, J.; McCormick, P.V.; Niederlehner, B.R. A proposes framework for developing indicators of ecosystem health. **Hydrobiologia**, v. 236, p. 1–44, 1993.

Camara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M.; Garrido, J. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computares & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

Davis, J. S. Management of biological systems for continuously operated solar saltworks. **Global Nest Journal**, v. 11, n. 1, p. 73-78, 2009.

De Medeiros Rocha, R.; Costa, D.F.S.; Lucena Filho, M.A.; Bezerra, R.M. et al. Brazilian solar saltworks – ancient uses and future possibilities. **Aquatic Biosystems**, v. 8, p. 1 – 8, 2012.

Dufrene, M.; Legendre, P. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. **Ecological Monographs**, v. 67, p. 345–366, 1997.

Goltzman, H. L.; Clymo, R. S.; Ohnstad, M. A. **Methods for physical and chemical analysis of freshwaters**. London: Blackweel Sci. Publ., 1978.

Javor, B. J. **Hypersaline environments** - Microbiology and biogeochemistry. New York: Springer Verlag, 1989.

Laborde, M. E. Computer model for the area and performance of solar ponds. **6th Symp. Salt**, v. 11, p. 301–311, 1983.

Murtaugh, P. A.; Pooler, P. S. Evaluating ecological indicators: lakes in the northeastern United States. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 119, p. 83–96, 2006.

Oren, A. Salts and brines. In: Whitton, B. A.; Potts, M. (eds). **Ecology of cyanobacteria**: their diversity in time and space. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000, p 281–306.

Pedrós-Alió, C.; Calderón-Paz, J. I.; MacLean, M. H.; Medina, G.; Marrasé, C.; Gasol, J. M.; Guixa-Boixereu, N. The microbial food web along salinity gradients. **FEMS Microbiol Ecol**, v. 32, p. 143–155, 2000.

Wetzel, R. G.; Likens, G. E. **Limnological analysis**. New York: Springer-Verlag, 2000.