



INFLUÊNCIA DE FATORES AMBIENTAIS NO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE SAL MARINHO EM SALINAS SOLARES DO BRASIL

INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE MARINE SALT EXTRACTION PROCESS IN SOLAR SALT FROM BRAZIL

INFLUENCIA DE LOS FACTORES AMBIENTALES EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE SAL MARINA EN LA SAL SOLAR DE BRASIL

David Hélio Miranda de Medeiros

Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar

Avenida da Abolição, 3207, Meireles

CEP: 60165081 - Fortaleza, CE - Brasil

davidgeo.ambiental@yahoo.com.br

Renato de Medeiros Rocha

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro Regional de Ensino Superior do Seridó

Rua José Evaristo S/N, Penedo

CEP: 59300-000 - Caicó, RN - Brasil

renatoaico@yahoo.com.br

Diógenes Félix da Silva Costa

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro Regional de Ensino Superior do Seridó

Rua José Evaristo S/N, Penedo

CEP: 59300-000 - Caicó, RN - Brasil

diogenesgeo@gmail.com

Resumo

Durante o processo de cristalização do cloreto de sódio geram-se condições termodinâmicas que causam aproximações e agrupamentos de moléculas em estruturas organizadas, denominadas de cristais. Contudo, a constituição dos cristais deriva a partir de inclusões (impurezas) as quais irão influenciar na composição química da água-mãe e na cinética de crescimento do cristal. Nesta pesquisa foi considerada a direção e intensidade dos ventos no cristalizador, o grau de evaporação, temperatura, precipitação, nebulosidade, insolação, umidade relativa, precipitação pluviométrica e pressão atmosférica. Esses dados foram reunidos, compilados em planilhas eletrônicas e tratados estatisticamente. Paralelo a isso, foram realizadas coletas de cristais de cloreto de sódio sedimentados, para serem identificados, quanto à tipologia. A assimilação dos resultados dessas análises demonstrou que tais variáveis abióticas são condicionantes na mineralogia dos cristais de cloreto de sódio precipitados, podendo ocorrer impurezas e altas concentrações de outros sais (Mg, Ca, SO₄) que interferem na cinética do crescimento do cristal, determinando as características do produto final.

Palavras chave: cristalização, cloreto de sódio, fatores ambientais.

Abstract

During the process of crystallization of sodium chloride are generated thermodynamic conditions that cause approximations and clusters of molecules in organized structures, called crystals. However, the formation of crystals is derived from inclusions (impurities) which will influence the chemical composition of the water-mother and on crystal growth kinetic. This

research was considered the direction and intensity of winds in the Crystallizer, the degree of evaporation, temperature, precipitation, cloudiness, heatstroke, relative humidity, precipitation and atmospheric pressure. These data were gathered, compiled in spreadsheets and treated statistically. Parallel to this, were held collections of crystals of sodium chloride based, to be identified, as for the typology. The assimilation of the results of these analyses showed that such variables are abiotic constraints on mineralogy of crystals of sodium chloride precipitates, and impurities may occur high concentrations of other salts (Mg, Ca, SO₄) that interfere with the crystal growth kinetics, determining the characteristics of the final product.

Keywords: crystallization, sodium chloride, environmental factors.

Resumen

Durante el proceso de cristalización de cloruro de sodio se generan enfoques condiciones termodinámicas que causan moléculas y grupos de estructuras organizadas, denominado cristales. Sin embargo, la formación de cristales derivado de inclusiones (impurezas) que influirá en la composición química de las aguas madres y la cinética de crecimiento de cristales. En esta investigación se consideró la dirección e intensidad de los vientos en el cristalizador, el grado de evaporación, temperatura, precipitaciones, nubosidad, radiación solar, humedad relativa, precipitación y presión atmosférica. Estos datos fueron recogidos, compilado en las hojas de cálculo y analizados estadísticamente. Paralelamente a esto, se tomaron muestras de cristales de cloruro de sodio sedimentadas, ser identificado, como la tipología. La asimilación de estos valores mostró que las variables abióticas tales condiciones son mineralogía de cristales de cloruro de sodio precipitados, impurezas pueden ocurrir y altas concentraciones de otras sales (Mg, Ca SO₄) que interfieren con la cinética de crecimiento de los cristales, la determinación de las características del producto final.

Palabras clave: La cristalización de cloruro de sodio y los factores ambientales.

Introdução

Ao longo do litoral setentrional do Estado Rio Grande do Norte/Brasil, mais precisamente nas margens dos estuários dos rios Apodi-Mossoró, Piranhas-Assú e Galinhos-Guamaré, estão situadas as maiores empresas salineiras do país (DE MEDEIROS ROCHA et al., 2009, 2012). Tal modelo extrativista representa uma multiplicidade de serviços econômicos, ambientais, políticos, culturais; e vem passando por um estágio contínuo de modernização, particularmente em relação ao seu grau de pureza e qualidade (DE FLERS, 1967, 1969; BREMER, 1983; JAVOR, 2002; OREN, 2003; DAVIS, 2009; LIU, 2002; RAHMAN, 2009; ZHILING, 2009).

A região setentrional potiguar apresenta o clima semiárido quente, com altas temperaturas (>28°C), onde predominam estações secas com 7 a 8 meses de duração (junho a janeiro), quando a precipitação média não ultrapassa 10 mm, uma estação chuvosa de fevereiro a maio (período úmido) e um período superúmido (precipitação superior a 100 mm) de março a meados de maio, logo com baixa precipitação pluviométrica (<800 mm/ano) e altas taxas de evaporação, (RADAMBRASIL, 1981).

Como consequências dessas condições climáticas, ocorrem nas bacias de drenagem dos rios, taxas de evapotranspiração potencial maiores do que a

precipitação, uma vez que as taxas de escoamento superficial são praticamente desprezíveis, gerando condições hipersalinas nos ambientes costeiros (COSTA, 2013; MEDEIROS, 2016). Nesse contexto, as características homogêneas dos fatores ambientais, em determinados espaços distintos, permitiu a geração de geoambientes salinos e hipersalinos (MOREIRA, 1989; MENDES, 2008).

Todavia, essas áreas assumiram especial importância desde a colonização do Brasil, sendo ocupadas para construção de salinas solares (VITA et al., 2007; COSTA et al., 2013), principalmente em virtude das características específicas desse tipo de solo, como alta salinidade e impermeabilidade (KENDALL, 1996; GUO et al., 2007).

A cultura salineira ocorre em regiões com forte insolação diária, nas proximidades de estuários, com predomínio de solos argilosos que favorecem a impermeabilização do terreno, no que facilita a precipitação dos sais dissolvidos, entre eles o cloreto de sódio. Os índices pluviométricos das referidas áreas costumam ser baixos ou pelo menos com um período de chuvas concentrado em poucos meses do ano; outra característica climatológica importante é a presença de fortes ventos que permitem a aceleração da evaporação da água (BAHA AL-DENN, 1974; DAVIS, 2009; ZHILING, 2009; KILIC, 2010; LÓPEZ et al., 2010).

Pode-se afirmar que nenhuma outra cultura econômica poderia melhor se desenvolver nessa região do Estado potiguar, do que a atividade salineira (DE MEDEIROS ROCHA, 1993; DAVIS, 2000; KOROVISSIS; LEKKAS, 2006; MOOSVI, 2006). Dessa forma, a localização do polo de extração de sal marinho, inserido há décadas no litoral setentrional do RN (figura 1), é responsável por 95% de todo o sal produzido no Brasil (ROCHA, 2005; COSTA, 2013; DE MEDEIROS ROCHA, 2005, 2011).

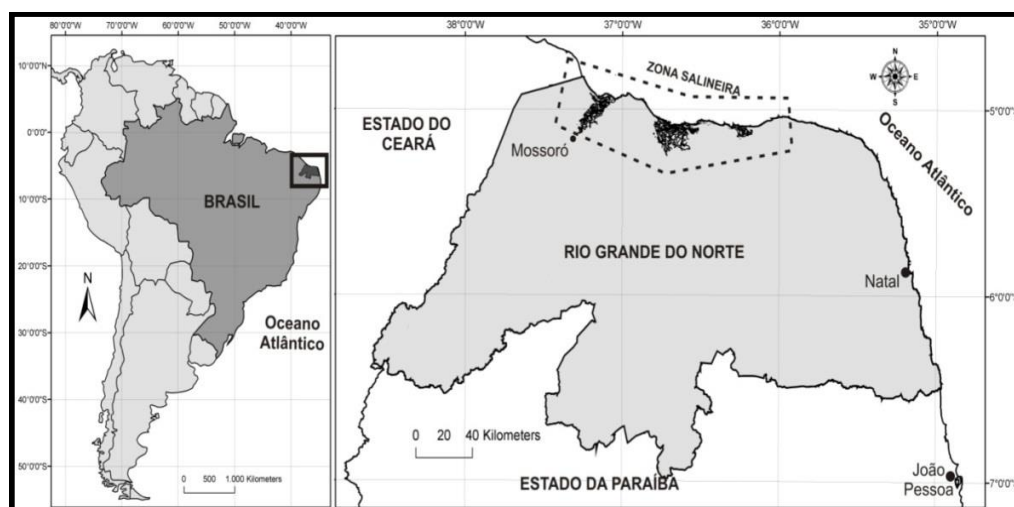


Figura 1: localização da zona salineira no Estado do Rio Grande do Norte, Fonte: DE MEDEIROS ROCHA, 2011.

Todavia, observa-se que a partir do modo de exploração e colheita do sal marinho, as salinas brasileiras estão classificadas em artesanais e mecanizadas (SOUTO, 1988; CÂMARA, 1999; DE MEDEIROS ROCHA, 2009, 2011; MEDEIROS, 2012).

As salinas artesanais são pequenas (figura 2), com uma superfície média de 2-50 ha, dividida em 10-20 tanques (evaporadores e cristalizadores), com colheita manual do sal. Neste sistema, a água do mar ou do subsolo (água de revência, como é conhecida), geralmente é captada por bombas diesel, seguindo a salmoura pelos canais (por gravidade) para os tanques; a colheita ocorre durante a estação seca de maneira contínua e artesanal, utilizando pás e carros de mão. A lavagem e o armazenamento são feitos nas cooperativas de pequenos salineiros.



Figura 2: salina artesanal em Grossos/RN.
Fonte: MEDEIROS, 2012.

Por outro lado, as salinas mecanizadas (figura 3) é o método atual mais comum para a extração do cloreto de sódio. Tal modelo constitui-se basicamente de dois estágios: um para a evaporação, em que se delimitam diversos tanques interconectados com o objetivo principal que as salmouras atinjam a concentração de saturação do cloreto de sódio; e outro de produção ou cristalização, com tanques de menor dimensão quando comparados aos da área de evaporação (figura 4) (SOUTO et al., 1988; CÂMARA et al., 1999; AMINI, 2008; OREN, 2009; LÓPEZ et al., 2010).

Com a precipitação do cloreto de sódio, é que de fato se inicia a colheita, com o auxílio de uma máquina colheitadeira e tratores-caçamba ou caminhões-caçamba. A máquina colheitadeira colhe a laje de sal precipitada (± 15 cm) e em seguida depositam nos tratores-caçamba, que transportam o sal para o lavador (fase

de lavagem do sal); logo após, o sal é estocado no aterro, em forma de pilhas, que podem atingir alturas de 15 - 18m e 400 - 1.200m de comprimento. Por último, o sal é retirado do aterro e transportado para unidades de beneficiamento locais, que posteriormente são destinados para diversos mercados de consumo, tanto moído como refinado (MEDEIROS, 2012).



Figura 3: salina mecanizada em Areia Branca/RN.

Fonte: MEDEIROS, 2012.

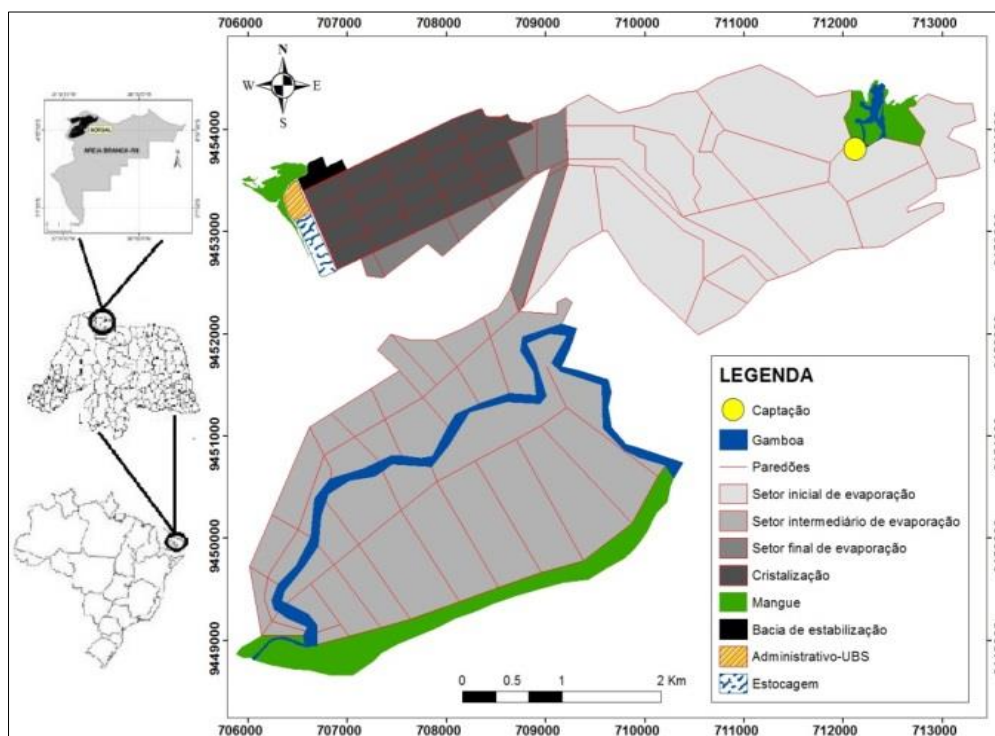


Figura 4: circuito espacial de produção de uma típica salina mecanizada (Salina Miramar/NORSAL – Areia Branca/RN).

Fonte: acervo dos autores

Câmara et al. (1999) observou que para a fase da evaporação é necessário cerca de 10/11 da área total da salina, dependendo essa proporção da concentração da água na captação, das concentrações de operação dos cristalizadores, dos índices diferenciados de perdas por infiltração e da programação de colheita do sal produzido.

As salinas do RN são ambientes que tipicamente a insolação costuma durar mais de 8h diárias e as baixas alturas da coluna da salmoura são mantidas com o propósito para induzir uma evaporação mais rápida da água; a capacidade térmica das salmouras tem um papel fundamental na distribuição da temperatura ao longo do circuito das salmouras na salina (DE MEDEIROS ROCHA, 2011).

O processo de cristalização é uma operação que exige, para a sua formação, a perfeita manutenção entre relações de equilíbrio das fases líquida e sólida, que derivam das condições físicas e biológicas do entorno (MEDEIROS, 2012). Segundo Borges (1996), um corpo cristalino, ao passar ao estado líquido, adquire uma estrutura completamente diferente, pelo que as propriedades físicas (valores distintos) assumem nas duas fases, cristalina e líquida.

A velocidade de agitação ou circulação no cristizador, a temperatura, ventos, etc., são parâmetros operatórios que condicionam a velocidade de crescimento dos cristais e as características do produto final. Em um ambiente agitado, exposto a fortes ventos unidirecionais, por exemplo, os cristais de cloreto de sódio estão mais vulneráveis a inclusões numerosas; se a condição da qualidade ecológica da salmoura for de baixo nível, provocará a obtenção de cristais de tamanho pequeno e/ou indesejáveis (KUBOTA, 2000). Amdouni (2010) constatou que quando o crescimento é lento (ambiente calmo) os cristais que se precipitam, tendem a ser límpidos e rígidos.

As técnicas de manejo durante o processo produtivo influenciam a qualidade da pureza dos cristais produzidos; ainda que a constituição destes deriva a partir de inclusões (impurezas) de moléculas, com grande relação ao soluto, as quais irão influenciar na composição química da água-mãe e na cinética de crescimento do cristal (VLASÁK, 2006; KUBOTA, 2010; FONTANA, 2011).

Vale ressaltar que para a obtenção de um sal de melhor qualidade, é necessária a boa qualidade ecológica das salmouras e a contribuição de fatores para a purificação destas, como a impermeabilização do solo, que reduz a presença de

minerais (DE MEDEIROS ROCHA, 1993; OREN et al., 2003; AMDOUNI, 2006; DAVIS, 2009).

Dessa forma, o conhecimento sobre a nucleação e crescimento do cristal de cloreto de sódio, permite inferir acerca da influência de fatores ambientais e suas interações (especialização), que refletem diretamente nos resultados quantitativos e qualitativos dos cristais produzidos.

Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida na Salina Miramar/NORSAL, localizada no município de Areia Branca/RN. O procedimento metodológico das atividades esteve dividido em 4 etapas: a primeira consistiu no levantamento cartográfico da área de estudo; em seguida, foram reunidos diversos dados de parâmetros abióticos disponibilizados pela gerência da salina (tabela 1); o terceiro ciclo de atividades, foi direcionado as amostragens quantitativas de produção, por meio da obtenção da altura (cm) da camada de sal (laje de sal) precipitados sobre a superfície dos tanques de cristalização; por último, foram reunidas as informações para serem tratadas estatisticamente e cometida a modelagem espacial dos resultados de produção de sal por cristalizador.

Tabela 1: valores médios de parâmetros físicos (1999 – 2011) na Salina Miramar/NORSAL. Med. = média, D.P. = desvio padrão e C.V. = coeficiente de variação.

Parâmetros/meses	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Med.	D. P.	C.V.
Evaporação (mm)	188,3	145,3	110,9	103,6	101,7	125,0	159,3	214,7	244,3	235,0	231,5	218,9	173,2	55,1	31,83%
Pressão atmosférica	1008,1	1008,3	1008,3	1008,5	1009,3	1010,6	1011,4	1010,9	1010,5	1009,2	1008,3	1008,1	1009,3	1,2	0,12%
Temperatura média (°C)	28,9	28,4	28,0	27,8	27,6	27,1	27,1	27,6	28,2	28,7	28,9	29,0	28,1	0,7	2,43%
Temperatura máxima (°C)	34,1	33,5	32,6	32,3	32,3	32,3	32,5	33,8	34,4	34,6	34,6	34,4	33,4	1,0	2,94%
Temperatura mínima (°C)	23,7	23,5	23,3	23,2	22,8	21,0	21,6	21,3	21,9	22,8	23,2	23,6	22,7	1,0	4,20%
Insolação (horas e décimos)	236,6	185,2	194,2	194,4	217,5	218,3	234,3	269,3	254,0	287,6	266,8	221,9	2780,1	32,7	1,17%
Velocidade dos ventos (m/h)	1,6	1,8	1,9	1,7	1,8	1,7	2,0	2,2	2,1	2,2	2,0	1,9	1,9	0,2	10,40%
Direção dos ventos	NE/SE	SE/NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE/SE	NE/SE	NE/SE	NE	NE	NE	-	-
Umidade relativa (%)	67,0	72,0	78,0	74,0	76,0	72,0	69,0	62,0	61,0	62,0	53,0	66,0	68,5	7,3	10,62%
Nebulosidade (0-10)	5,0	5,0	6,0	6,0	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	4,0	4,0	4,4	1,0	22,64%
Precipitação pluviométrica (mm)	64,7	93,7	190,3	166,1	83,7	31,8	25,8	5,1	1,6	0,4	1,6	9,9	56,2	65,8	117,02%

Fonte: Gerência da Salina Miramar/NORSAL.

Foram obtidas imagens de satélites junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) do ano de 2009. A produção cartográfica foi processada por meio de imagens do satélite CBERS-2B (sensor CCD, órbita 149, ponto 106, resolução espacial de 20 metros, ano de 2009). Para atingir o máximo de precisão desejada, as imagens foram georreferenciadas na grade de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), com o DATUM SIRGAS 2000.

Os dados disponibilizados pela gerência da salina foram consultados à SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste). Também foram oferecidos pela NORSAL, os resultados da evaporação, que é medido por técnicos da própria empresa (evaporímetro). Tais resultados expressos consistem do período de janeiro/1999 a dezembro/2011.

Foram delimitados para estudos os cristalizadores 4, 7, 10, 13 e 19 (figura 5), visto cada respectivo tanque estar localizado em um compartimento da área de cristalização da salina. Em seguida, distribuíram-se cinco pontos (figura 6) para a coleta de amostras, que foram realizadas entre os meses de abril a outubro/2012. Foi necessário o uso de pás e chibancas, para a perfuração nos cristalizadores, desde a camada superficial até o substrato do respectivo tanque (laje de sal).

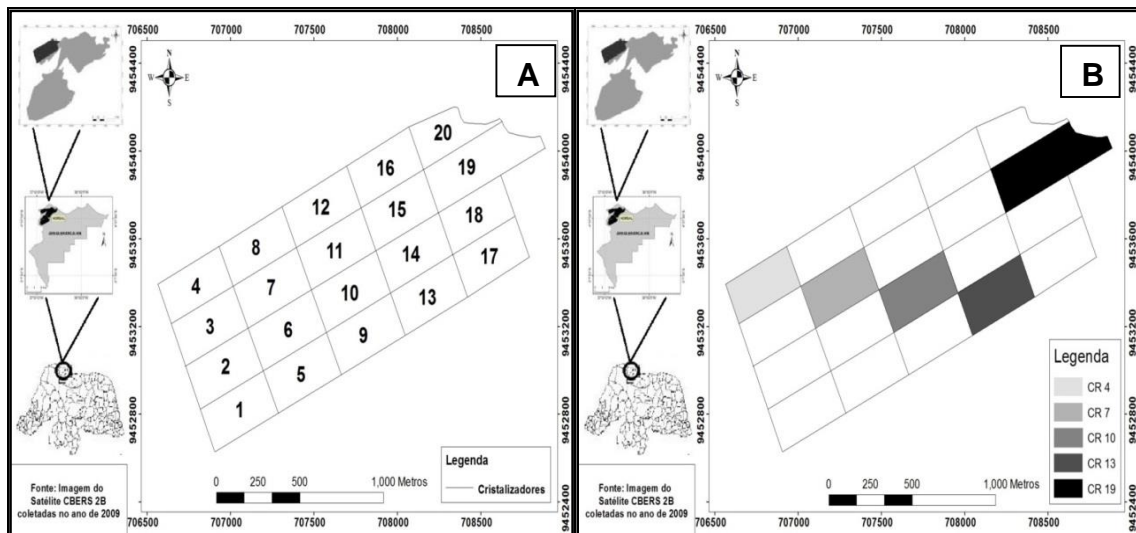


Figura 5: cristalizadores numerados (A); localização dos cristalizadores selecionados para as coletas de cristais (B).

Fonte: elaborado pelos autores.

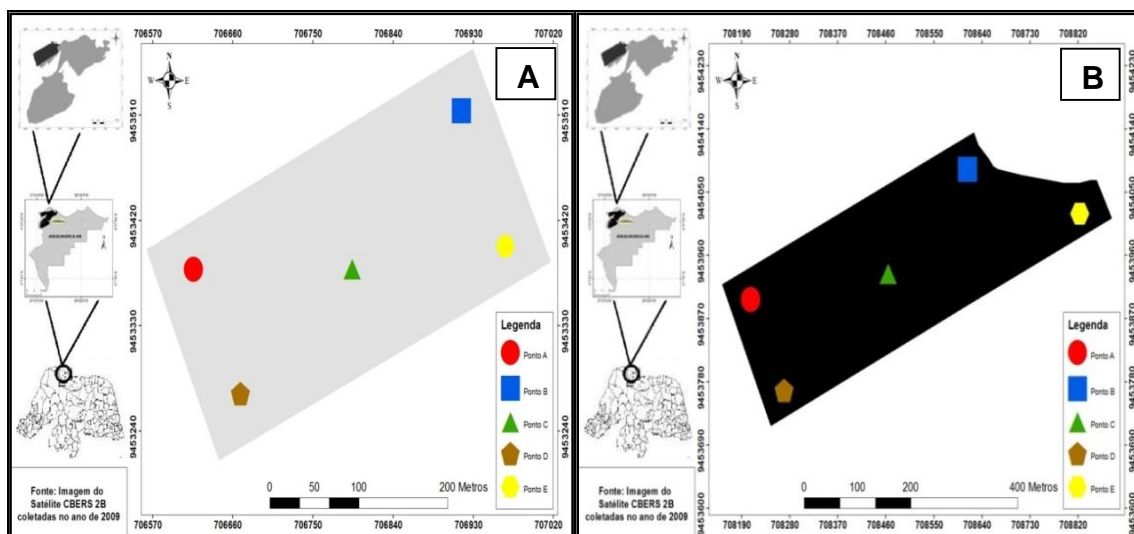


Figura 6: localização dos pontos de coleta nos cristalizadores: 4, 7, 10 e 13 (A); localização dos pontos de coleta no cristalizador 19 (B).

Fonte: elaborado pelos autores.

O processo de manipulação e integração dos dados de produção de sal (ton.) foi copilado em planilhas eletrônicas por meio do uso do software Microsoft Excel 2010, sendo realizada a análise descritiva (média, desvio padrão e coeficiente de variação) dos dados referentes aos parâmetros analisados, como também este permitiu a geração de gráficos.

A análise de influência dos parâmetros físicos foi realizada por meio da estatística multivariada (HARDLE; SIMAR, 2007). Conforme utilizada por Costa (2013) primeiramente através de Análise de Componentes Principais (ACP), com base em uma matriz elaborada com todas as variáveis analisadas. A fim de se identificar a distribuição espacial desses parâmetros, foi efetuada a Análise de Agrupamento (*Cluster Analysis*), com o método de amalgamação de Ward e medida de distância Euclidiana quadrática.

O uso dos softwares Microsoft Excel 2010 e Statistica 8, demonstraram valores que nos permitiram relacionar o desenvolvimento dos cristais de cloreto de sódio aos fatores abióticos presentes na área de estudo. De posse dessas informações obtidas, com o auxílio do software ArcGIS 10 – ESRI© (Versão Acadêmica) foi possível realizar a modelagem espacial da produção de cristais, seguindo o método adotado por Costa et al. (2015).

Resultados e discussão

Foi constatada a persistência de níveis altos de evaporação, principalmente entre os meses de agosto a janeiro; os maiores índices da pressão atmosférica foram obtidos entre os meses de junho a setembro; a temperatura demonstrou uma tendência relativamente homogênea entre os valores máximos, mínimos e médios, entretanto, vale salientar que para essa variável foi encontrado um ligeiro aumento de suas taxas, entre os meses de agosto a novembro, que provavelmente decorreu da elevação dos coeficientes de insolação diária, nesse respectivo período. Foi notado que as maiores intensidades dos ventos predominaram entre os meses de julho a novembro. Contudo, durante o período de março a maio, incidem superiores indicadores de umidade relativa, nebulosidade e precipitação pluviométrica.

Após o tratamento estatístico por análise multivariada, foi observado que o sinergismo de alguns fatores abióticos (temperatura, evaporação, insolação e velocidade dos ventos) condicionam a atividade de formação e crescimento dos cristais, portanto, contribuem diretamente para as características do produto final. Entretanto, os parâmetros: nebulosidade, precipitação e umidade relativa do ar, inibem o acréscimo das taxas de evaporação, e em conjunto à direção dos ventos, refletem diretamente no processo de cristalização contínuo e uniforme nos tanques. (figura 7).

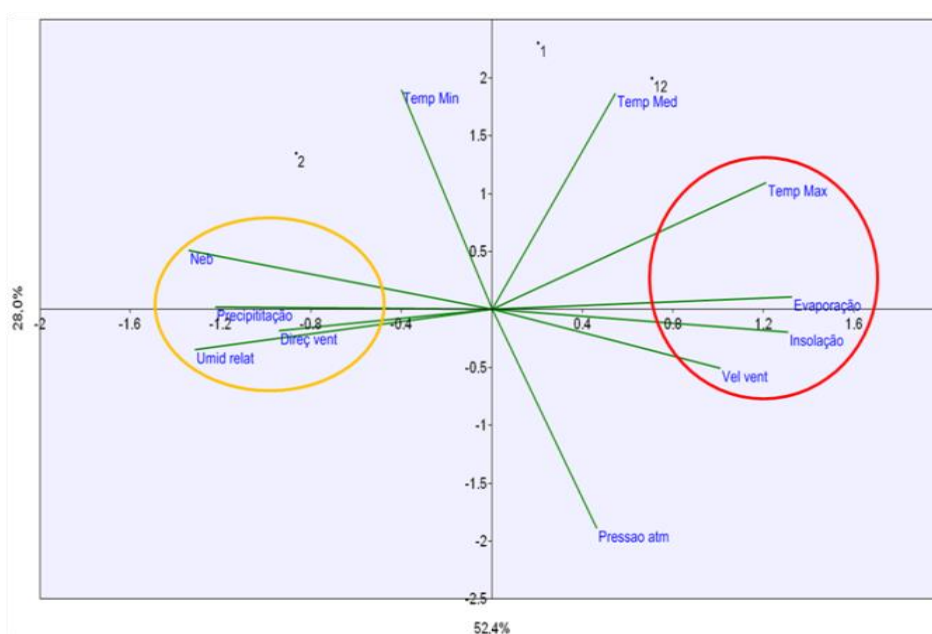


Figura 7: gráfico da Análise dos Componentes Principais (ACP) nos parâmetros físicos determinados.

O cruzamento das matrizes de dados dos parâmetros (evaporação, pressão atmosférica, temperatura, insolação, ventos, nebulosidade, umidade relativa e precipitação) com os valores de produção por cristalizador entre os anos de 2008 a 2011 (tabela 2), permitiu o tratamento estatístico através da *clusters analysis*.

Dessa forma, foram encontrados a distinção de 3 (três) grupos (figura 8), de acordo com os resultados de produção de sal (ton.): cristalizadores 01, 03, 04 e 17 (Grupo I); cristalizadores 06, 07, 11 e 14 (Grupo II) cristalizadores 08, 13, 15, 16, 18, 19 e 20 (Grupo III). Notou-se que a análise das distâncias euclidianas demonstrou a influência direta dos fatores abióticos para a variação espacial dos coeficientes de produção entre os cristalizadores (figura 9).



Figura 8: gráficos de *clusters* da produção de sal nos cristalizadores.

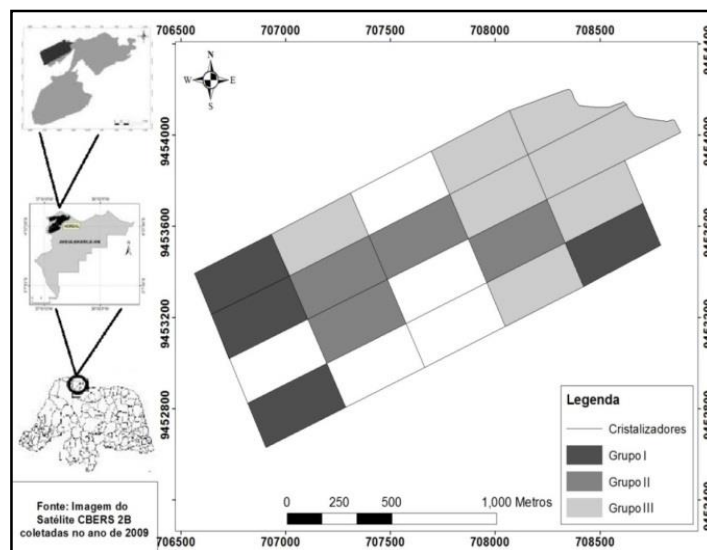


Figura 9: localização e distribuição dos grupos de cristalizadores.

Tabela 2: produção (ton.) por cristalizador entre os anos de 2008 a 2011. Med. = média, D.P. = desvio padrão e CV = coeficiente de variação.

CR	Safra 08/09	Safra 09/10	Safra 10/11	Med.	D. P.	C. V.
	Ton.	Ton.	Ton.			
1	13.629	10.665	11.662	11.985	1,508	12,6%
2	13.315	6.815	26.846	15.659	10,219	65,3%
3	12.293	7.976	13.629	11.299	2,955	26,1%
4	12.217	7.060	12.967	10.748	3,216	29,9%
5	17.368	6.864	16.565	13.599	5,846	43,0%
6	13.424	4.601	14.614	10.880	5,470	50,3%
7	14.871	2.932	16.325	11.376	7,349	64,6%
8	11.317	7.714	16.006	11.679	4,158	35,6%
9	9.392	5.499	17.505	10.799	6,125	56,7%
10	23.031	3.875	17.359	14.755	9,840	66,7%
11	14.085	4.855	17.252	12.064	6,441	53,4%
12	13.566	9.357	18.323	13.749	4,486	32,6%
13	13.488	7.167	17.266	12.640	5,103	40,4%
14	12.813	5.413	15.828	11.351	5,359	47,2%
15	14.584	7.331	16.771	12.895	4,941	38,3%
16	13.580	8.042	16.565	12.729	4,325	34,0%
17	13.264	8.245	13.182	11.564	2,874	24,9%
18	13.154	7.553	15.730	12.146	4,181	34,4%
19	13.947	7.396	15.628	12.324	4,349	35,3%
20	13.927	8.911	15.139	12.659	3,302	26,1%

Fonte: Gerência da Salina Miramar/NORSAL.

O processo de cristalização é uma dinâmica de relações de equilíbrio entre as fases líquidas e sólidas, estando totalmente relacionado às influências de fatores físicos e biológicos que agem sobre o ambiente. Todavia, foi notado que a ligeira tendência de ventos a Nordeste contribuiu diretamente no processo de precipitação e deposição dos cristais de cloreto de sódio.

A velocidade dos ventos potencializa o aumento das taxas de evaporação, que está estritamente relacionado ao processo de cristalização. Entretanto, os cristais são carregados na superfície como “pranchas”, e se acumulam próximo às bordas dos tanques, estabelecendo, assim, uma relação proporcional à direção seguida pelos ventos. Portanto, o fluxo direcional dos ventos influenciou a distribuição uniforme dos cristais precipitados, provocando o acúmulo de sal (ton.) em espaços restritos no interior dos cristalizadores (figura 10).

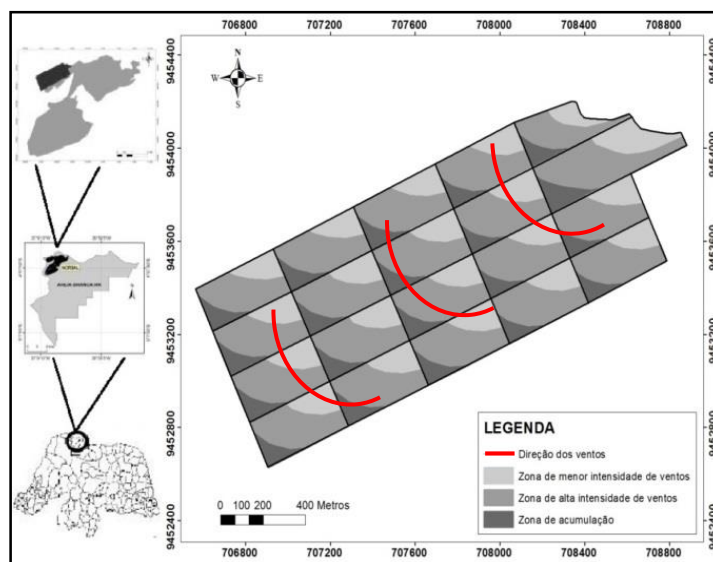


Figura 10: modelagem numérica da influência dos ventos na produção de sal.

As variações da produção do sal, foram perceptíveis, principalmente, a partir de que as zonas de acumulação, apresentaram uma média superior (5cm) de laje de sal, em relação as zonas de menor intensidade dos ventos.

Considerações finais

Conforme já observado por Nimer (1989), as características meteorológicas e climatológicas da região demonstram que principalmente no período de julho a fevereiro, ocorre o aumento gradual das taxas de evaporação, que esse fato

está relacionado à estabilidade moderada da temperatura do ar, fortes ventos, altas taxas de insolação diárias, baixos índices de umidade relativa, médias anuais de nebulosidade e precipitação pluviométrica relativamente baixa.

As taxas de insolação, intensidade dos ventos e temperatura do ar e da água, mostraram-se com relação estritamente proporcional aos coeficientes de evaporação, enquanto que as taxas de umidade relativa, nebulosidade e precipitação pluviométrica apresentam relação proporcional inversa a tal variável. Entretanto, o aumento dos coeficientes de precipitação pluviométrica, nebulosidade e umidade relativa, decorreram na redução das taxas de insolação e velocidade dos ventos, provocando o decréscimo dos índices de evaporação, e assim diminuindo as atividades produção/precipitação natural dos cristais de cloreto de sódio.

Dessa forma, o meio físico é fator decisivo para o processo de cristalização, no que infere-se sobre o caso dos maiores níveis de produção e cristalização do cloreto de sódio ocorrer entre o período de julho a fevereiro de cada ano.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Ecologia do Semiárido (UFRN – Campus de Caicó), pelo apoio nos trabalhos de campo e de gabinete. A CAPES e ao CNPq (MCTI/CNPQ/Universal Proc.447227/2014-9). A gerência e diretoria da Salina Miramar/NORSAL, pelo incondicional apoio para a execução desse trabalho.

Referências

AMDOUNI, R. The salt deposit that can be precipitated from free brines of Sfax Saline (S. E. of Tunisia). In: **1st International Conference on the Ecological Importance of Solar Saltworks (CEISSA 06)**. Santorini Island, Greece, 2006.

AMDOUNI, R. Incidence of fluid inclusions on the chemical quality of salt produced in Sfax salina (E.S of Tunísia). **Global Nest Journal**, v. 12, p. 409-416, 2010.

AMINI, J.; DEHGHAN, A. A. Two dimensional numerical modeling of a salt gradient solar pond. In: **International Conference Numerical Analysis and Applied Mathematics**, 2008.

BAHA AL-DEEN, B.K. Factores que debe reunir una región para la construcción de una salina por evaporación solar del agua de mar y aspectos técnicos generales de este tipo de salinas. **Lagena**, v. 34, p. 9-11, 1974.

BORGES, F. S. Introdução. In: **Elementos de cristalografia**. 2 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996. cap. 1, p. 1-14.

BREMER J.L. Solar salt production at Exportadora de Sal. In: **Proceedings of the 6th International Symposium on Salt**, Toronto, Ontario, Canadá, 1983.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS U. M.; GARRIDO, J. C. P. Spring: Integrating Remote Sensing and GIS with Object-Oriented Data Modelling. **Computers and Graphics**, v.15, n.6, p.13-22, 1996.

CÂMARA, A. L. **Produção de Sal por Evaporação Solar**: operação e dimensionamento de salinas. 1 ed.: Rio de Janeiro: Antenna Edições Técnicas, 1999.

COSTA, D.F.S.; MEDEIROS, D.H.M.; DE MEDEIROS ROCHA, R. Breve revisão sobre a evolução histórica da atividade salineira no Estado do Rio Grande do Norte (Brasil). **Rev. Sociedade & Natureza**, v. 25, p. 21 – 34, 2013.

COSTA, D.F.S. Caracterização ecológica e serviços ambientais prestados por salinas tropicais. 2013. **Tese** (Doutorado em Ecologia, Biodiversidade e Gestão de Ecossistemas). Universidade de Aveiro.

COSTA, D.F.S.; BARBOSA, J. E. L.; SOARES, A. M. V. M.; LILLEBO, A. I.; DE MEDEIROS ROCHA, R. Spatial modeling of limnological parameters in a solar saltwork of northeastern Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia (Online)**, v. 27, p. 105-117, 2015.

DAVIS, J. S. Structure, function, and management of the biological system for seasonal solar saltworks, **Global Nest Journal**, v. 2, n. 3, p. 217-226, 2000.

DAVIS, J, S. Solar Saltworks: salt manufacture from an environmentally friendly industry. In: **Proceedings of the 2nd International Conference on the Ecological Importance of Solar Saltworks**, Merida, Yucatan, Mexico, 2009.

DE FLERS P. **Solar Salt Production**. (UnPub). Compagnie des Salins uu Midi et des Salines de Djibouti, 51 Rue d'Anjou, Paris, 1967.

DE FLERS, P., CAILLAUD, A., CHARUIT, P. Solar salt production. Study of Evaporation-Increase of Salt Deposit. In: Salt Institute (ed.), **Proceedings of the 3rd Symposium on Salt**, April 21-24, p. 51-62, 1969.

DE MEDEIROS ROCHA, R.; CAMARA, M. R. 1993. Prediction, monitoring and management of detrimental algal blooms on solar saltworks. In: 7rd International Symposium on Salt, **anais...** Salt Institute v. 1, p. 657-660.

DE MEDEIROS ROCHA, R.; BARBOSA, J. E. L.; WATANABE, T.; SOUTO, F. J. B. Distribuição espaço-temporal da comunidade fitoplanctônica e variáveis hidrológicas em uma salina artesanal do Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Nordestina de Biologia**, v. 15, n. 2, p. 7-26, 2000.

DE MEDEIROS ROCHA, R.; COSTA, D.F.S.; LUCENA FILHO, M.A.; MEDEIROS, D.H.M. 2009. Tropical solar salt works - influence and challenges in the coexistence with traditional populations in the brazilian northeast region. In: 9th International Symposium on Salt, **anais...**, Beijing, China, vol. A, pp. 877-881.

DE MEDEIROS ROCHA, R.; COSTA, D.F.S., Xavier-Filho, L.; Lucena-Filho, M.A.; BEZERRA, R.M.; MEDEIROS, D.H.M.; Azevedo Silva, A.M; ARAÚJO C.N. Brazilian

solar saltworks – ancient uses and future possibilities. In: **12th International Conference on Environmental Science and Technology**, 8 - 10 September 2011, Rhodes Island, Greece.

DE MEDEIROS ROCHA, R.; XAVIER-FILHO L, AMAT F, HONTORIA F, VIEIRA N AND COSTA D. Brief characterization and ecological importance of the solar saltwork ponds: a analysis in Brazil. In: **11th International Conference on Salt Lake Research**, Miramar, Córdoba, Argentina, 2011.

DE MEDEIROS ROCHA, R.; COSTA, D. F. S.;MEDEIROS D. H. M. Brazilian solar saltworks – ancient uses and future possibilities. **Aquatic Biosystems**, v. 8, p. 1 – 8, 2012.

FONTANA, P.; SCHEFER, J.; PETTIT, D. Characterization of sodium chloride crystals grown in microgravity. **Journal of Crystal Growth**. v. 324, p. 207-211, 2011.

GUO, G.; ZHANG, H.; ARAYA, K.; JIA, H.; OHOMIYA, K.; MATSUDA, J. Improvement of Salt-affected Soils. Part 3: Specific Heat of Salt-affected Soils. **Biosystems Engineering**, v. 96, n. 3, p. 413–418, 2007.

JAVOR, B.J. Industrial microbiology of solar salt production. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 28, p. 42–47. 2002.

KENDALL, A.C. e HARWOOD, G.M. Marine evaporites: arid shorelines and basins, H.G. Reading, Editor, **Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy**, Blackwell, Oxford (1996), pp. 281–324.

KILIC, O.; KILIC, A. M. Salt crust mineralogy and geochemical evolution of the Salt Lake (Tuz Gölü), Turkey. **Scientific Research and Essays**, v. 5, n. 1, p. 1317-1324, 2010.

KOROVESSIS, N. A.; LEKKAS, T. D. Solar saltworks production process evolution - wetland function. In: **Proceedings of the 1st International Conference on the Ecological Importance of Solar Saltworks** (CEISSA 06), Santorini Island, Greece, 20-22 October 2006.

KUBOTA, N.; OTOSAKA, H.; DOKI, N.; YOKOTA, M.; SATO, A. Effect of lead impurity on the growth of sodium chloride crystals. **Journal of Crystal Growth**. v. 220, p. 135-139, 2000.

LIU, Z; LI, P.; LIU, X. Culturing artificial algal mats to improve the salt yield and quality in saltworks. **Ecological Engineering**, v. 18, p. 379-383, 2002.

LÓPEZ E., AGUILERA P.A., SCHMITZ, M.F., CASTRO H., PINEDA F.D. Selection of ecological indicators for the conservation, management and monitoring of Mediterranean coastal salinas. **Environmental Monitoring and Assessment**. 166 (3): p. 241-256, 2010.

MARGALEF, R. **Limnologia**. Ed. Omega, AS: Barcelona. 1983.

MEDEIROS, D. H. M. Influência de fatores abióticos no processo de cristalização do cloreto de sódio em uma salina solar do Rio Grande do Norte/Brasil.2012. **Monografia** (Graduação em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

MEDEIROS, D. H. M. Ambientes hipersalinos no litoral semiárido brasileiro: zona estuarina do Rio Apodi-Mossoró (RN). 2016. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.

MENDES, A. M. S.; FONTES, R. L. F.; OLIVEIRA, M. Variabilidade espacial da textura de dois solos do Campo Salino, no Estado do Rio Grande do Norte. **Rev. Ciên. Agron.**, Fortaleza, v. 39, n. 01, p. 19-27, Jan.- Mar., 2008.

MOOSVI, S.J. 2006. Ecological importance of solar saltworks. In: **Proceedings of the 1st International Conference on the Ecological Importance of Solar Saltworks** (CEISSA 06), Santorini Island, Greece, 20-22 October.

MOREIRA, E.G.S.; DEMATTÊ, J.L.I.; MARCONI, A. 1989. Caracterização e gênese de Solonetz solodizado do sertão central e do médio Jaguaribe – Estado do Ceará. **An. ESALQ**, Piracicaba, 46(2), 319-341.

OREN, A. **Halophilic microorganisms and their environments**. Springer-Verlag, p. 575. 2003.

OREN. A. Saltern evaporation ponds as model systems for the study of primary production processes under hypersaline conditions. **Aquatic Microbial Ecology**, v. 56, p. 193-204, 2009.

RADAMBRASIL. **Levantamento de Recursos Naturais** - Geologia/Geomorfologia/Pedologia/Vegetação/Usos Potenciais da Terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia. v. 23 – Folhas SB. 24/25 – Jaguaribe /Natal, 1981.

RAHMAN, A.A; JEYALAKSHMI, R. Integration of artemia in Indian saltwork economic opportunities. In: **2nd International Conference on the Ecological Importance of Solar Saltworks**, Merida, Yucatan, Mexico, 2009.

ROCHA, A. P. B. **Expansão urbana de Mossoró/RN (período de 1980 a 2004)**: geografia, dinâmica e reestruturação do território. (Dissertação de mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2005.

SOUTO, F. J. B. Ambientes Hipersalinos: uma revisão. 1988. **Monografia** (Graduação em Ciências Biológicas). Centro de Biociências, Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

VLASÁK, G. Evaporation of doped NaCl crystals. **Crystal Research and Technology**. v. 11, p. 739-743, 2006.

ZHILING, J.; GUANGYU, Y. The promotion of salt quality through optimizing brine concentration a new technique “bidirectional brine concentration”. **Global Nest Journal**, v. 11, p. 58-63, 2009.

Recebido em: 11/01/2015

Aprovado para publicação em: 30/06/2015