

IMPACTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO DESCARTE DE REJEITO SALINO EM NEOSSOLO E CHERNOSSOLO DO OESTE POTIGUAR, BRASIL.

ANDRÉ MOREIRA OLIVEIRA¹; NILDO DA SILVA DIAS²; GABRIELA CEMIRAMES DE SOUSA GURGEL³; LYCIA NASCIMENTO RABELO⁴; MIKHAEL RANGEL DE SOUZA MELO⁵ E MIKAEL VARÃO DOS SANTOS⁶

¹ Doutor em Manejo de solo e água, Departamento de Ciência e Tecnologia, Ufersa, Avenida Universitária "Leto Fernandes", Sítio Esperança II, CEP: 59780-000, Caraúbas – RN, Brasil. E-mail: andremoreira@ufersa.edu.br.

² Doutor em Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Ufersa, Av. Francisco Mota, 572 - Bairro Costa e Silva, CEP: 59.625-900, Mossoró - RN, Brasil. E-mail: nildo@ufersa.edu.br.

³ Doutora Agronomia/Ciência do Solo, Centro de Ciências Agrárias, Ufersa, Av. Francisco Mota, 572 - Bairro Costa e Silva, CEP: 59.625-900, Mossoró – RN, Brasil. E-mail: gabrielacemirames@gmail.com

⁴ Mestre em Engenharia de produção, Departamento de Ensino, IFRN, Rua Raimundo Firmino de Oliveira, 400 - Conjunto Ulrick Graff, CEP: 59.628-330 Mossoró – RN, Brasil. E-mail: lycia_nascimento@hotmail.com.

⁵ Mestre em manejo de solo e água, Centro de Ciências Agrárias, Ufersa, Av. Francisco Mota, 572 - Bairro Costa e Silva, CEP: 59.625-900, Mossoró - RN, Brasil. E-mail: mikhael.rangel@yahoo.com.br.

⁶ Mestre em manejo de solo e água, Centro de Ciências Agrárias, Ufersa, Av. Francisco Mota, 572 - Bairro Costa e Silva, CEP: 59.625-900, Mossoró – RN, Brasil. E-mail: mikhaelsantos@hotmail.com

1 RESUMO

No nordeste Brasileiro, várias estações de tratamentos por osmose reversa têm sido instaladas a fim de produzir água potável à população rural a partir da perfuração de poços de água salina. Entretanto, o rejeito salino da osmose reversa, geralmente, é descartado diretamente na superfície do solo permeável. Neste estudo, foi avaliado o impacto do descarte no solo do rejeito salino oriundos de dessalinizadores instalados em duas comunidades rurais do Oeste Potiguar, Rio Grande do Norte. Deste modo, realizaram-se quatro campanhas de coletas em distintos períodos do ano para avaliação físico-química do rejeito salino e dos solos receptores no local de disposição (ponto 0) e, a uma distância de 1 e 2 m deste nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m. Além disso, coletaram-se uma amostra de solo da mata nativa (controle). Os dados foram submetidos a testes estatísticos de médias, por Scott Knott, verificando o comportamento dentro dos pontos e camadas de cada período e entre os 4 períodos. As análises dos resultados mostraram que todas as amostras de águas de rejeito se classificaram como C₃ ou C₄, ou seja, com riscos altos de salinização, necessitando de práticas especiais de controle de salinidade. As diferentes classes de solos receptoras do rejeito salino das comunidades apresentaram alterações significativas dos seus atributos e de sua qualidade ao longo dos períodos, sendo mais evidente nos períodos secos e camadas de solos com maior presença de argila, promovendo classificações distintas para um mesmo solo, influenciadas diretamente pela água de rejeito do processo de dessalinização.

Palavras-chave: salinização dos solos, osmose reversa; toxicidade de íons específicos.

OLIVEIRA, A. M.; DIAS, N. S.; GURGEL, G. C. S.; RABELO, L. N.; MELO, M. R. S.; SANTOS, M. V.

PHYSICOCHEMICAL IMPACTS OF BRINE WASTE DISPOSAL IN NEOSOL AND CHERNOZEM IN THE WEST OF RIO GRANDE DO NORTE, BRAZIL

2 ABSTRACT

In the Brazilian Northeast, several treatment plants by reverse osmosis were installed to produce drinking water for the rural population, from the drilling of saline water wells. However, the brine from reverse osmosis process is usually discharged directly to the permeable soil surface. In this study, the impact of the discharge of brine waste on the soil, from desalination plants installed in two rural communities in Rio Grande do Norte west region was evaluated. For this purpose, four collection campaigns were carried out at different times of the year, for physical-chemical evaluation of the brine waste and the receiving soils in the disposal site (point 0), at a distance of 1 and 2 m from it in the layers of 0 -0.2 and 0.2-0.4 m. Soil sample was also collected from the native forest (control). Data were subjected to statistical average tests by Scott Knott to verify the behavior within the points and layers of each period and across all four periods. The results show that all samples of waste water were classified as C₃ or C₄, that is, extremely high risks of salinization, needing special practices for salinity control. The different types of soils receiving brine waste from such communities showed significant changes in their attributes and qualities throughout the periods, being more noticeable during drought periods and in layers of soils with greater amount of clay, promoting different ratings for the same soil, and such ratings were directly influenced by the waste water from desalination process.

Keywords: reverse osmosis. wastewater. saline soils.

3 INTRODUÇÃO

Devido à importância da água para a sobrevivência humana e do ecossistema terrestre, a quantidade e a qualidade da água são aspectos fundamentais do ponto de vista socioambiental e, estudos indicam que o planeta enfrenta grandes desafios para manter a qualidade da água e, ainda, atender a demanda crescente por recursos hídricos (MOHAMED; MARAQAA; AL HANDHALYB, 2005).

No semiárido, muitas comunidades rurais enfrentam dificuldades com o acesso à água doce superficial, sendo necessário recorrer às fontes alternativas para suprir as necessidades como, por exemplo, as águas subterrâneas. No Nordeste do Brasil, a maioria das águas subterrâneas é salina, limitando a sua utilização para o consumo doméstico e agrícola. A salinidade ocorre, principalmente, devido ao contato da água no subsolo com as rochas cristalinas que, ocupam cerca de 50% do território nordestino e, ao longo tempo, o terreno cristalino salinizou a água armazenada nos aquíferos (SOARES et al., 2006).

Existem várias tecnológicas para reduzir à salinidade das águas, entretanto, a dessalinização por osmose reversa tem sido amplamente utilizada, com experiências de êxito devido às taxas de recuperação dos sistemas relativamente alta (BLANCO-MARIGOTA; LOZANO-MEDINA; MARCOS, 2017; DARRE; TOOR, 2018), robustez e a simplicidade dos equipamentos. Por essa razão, o governo Federal Brasileiro, por meio de políticas públicas, têm instalado diversas estações de dessalinização por osmose reversa em comunidade rurais do Nordeste, aonde se perfuram poços com água salina, o qual se tornou uma política primordial para garantir o acesso das famílias rurais à água doce.

Deve-se ressaltar que, todo o método de dessalinização é sempre limitado pelos custos de eliminação da salmoura produzida (rejeito salino) e, principalmente, pelos impactos adversos deste resíduo, principalmente em estações de tratamento de grande escala (MOHAMED; MARAQAA; AL HANDHALYB, 2005). Nas regiões costeiras, o descarte do rejeito salino pode ser feito descarregando-se no corpo hídrico vizinho ao oceano (DARRE; TOOR, 2018). Em alguns casos, particularmente para estações de tratamento de pequena capacidade, o rejeito salino é descarregado sobre a superfície do solo e/ou nos corpos hídricos (SANCHEZ; NOGUEIRA; KALID, 2015).

Assim, faz-se necessário investigar os riscos potenciais do descarte do rejeito salino no solo sem o efetivo controle, uma vez que são empregados muitos recursos nesta tecnologia sem que haja a devida atenção aos impactos ambientais da disposição inadequada do resíduo gerado no processo de osmose reversa.

Levando-se em consideração estes aspectos, objetivou-se avaliar a qualidade físico-química das fontes hídricas do processo de dessalinização das águas salobras de poços e, quantificar a poluição dos solos receptores do rejeito salino em duas comunidades rurais do Oeste Potiguar beneficiadas com estação de tratamento por osmose reversa.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em duas estações de tratamento de água salina, por osmose reversa, localizadas nas Comunidades Boa Fé – Mossoró/RN (5°03'18.8"S e 37°20'12.8"O) e Lagoa Rasa – Apodi/RN (5°43'29.6"S e 37°44'53.8"O), ambas situadas no Oeste do estado do Rio Grande do Norte.

O clima predominante da Mesoregião Oeste Potiguar, segundo classificação de Köppen é do tipo BSw'h', caracterizado por ser muito quente e semiárido, com a estação chuvosa se atrasando para o outono, levando a dois períodos distintos: um chuvoso, com duração aproximada de 4 meses, e outro de estiagem, nos oito meses restantes (BRASIL, 2005). O período de precipitação pluvial se situa comumente entre os meses de fevereiro e maio, sendo os meses de março e abril os de maior precipitação pluvial e os demais secos. A temperatura média anual do ar dos municípios estudados é de 27 a 29 °C e precipitação pluvial anual média entre 550 a 750 mm (SOUZA NETO; BERTRAND, 2005).

As comunidades foram selecionadas mediante consulta ao cadastro da Secretária de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte (SEMARH) com registros das localidades aonde se instalaram estações de dessalinização no Rio Grande do Norte. Diante desse levantamento, considerando as características favoráveis ao monitoramento (manutenções adequadas; utilização diária do dessalinizador; disposição do rejeito diretamente sobre o solo etc.) selecionaram-se dois locais com solos de textura contrastante, sendo estes classificados como *Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico* - Comunidade Alagoinha e *Neossolo Flúvico* - Comunidade Juazeiro (EMBRAPA, 2006).

As coletas de amostras de solo e do rejeito salino foram realizadas em quatro períodos, regularmente a cada três meses nas duas Comunidades, abrangendo um ciclo hidrológico: P₁ = outubro/novembro (2013) – período seco, praticamente sem chuvas; P₂ = fevereiro/março (2014), início do período chuvoso; P₃ = junho/julho (2014), final do período chuvoso e P₄ = outubro/novembro (2014).

Com auxílio de trado holandês, as amostras dos solos receptores do rejeito salino foram coletadas no local de disposição (ponto 0) e, a uma distância de 1 e 2 m deste. Além disso, realizou-se amostragem do solo de mata nativa, isto é, uma área sem a influência do descarte

do rejeito salino (testemunha). Em cada ponto, foram coletadas amostras de solos nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m, considerando a predominância da profundidade efetiva dos sistemas radiculares da vegetação da região e, também, os solos rasos.

As amostras de solo coletadas foram conduzidas ao Laboratório para análises dos atributos potencial de hidrogênio (pH); Condutividade Elétrica do Extrato de Saturação (CE_{es}) estimada pela CE da relação solo-água 1:2,5 (DIAS et al., 2005) e; os teores de K^+ ; Na^+ ; Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; Al^{3+} ; acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) e, a Percentagem de Sódio Trocável (PST). Para classificar os solos afetados por sais, foi utilizada a tabela de classificação proposta por (BOHN; McNELL; O'CONNOR, 1985).

Adicionalmente, coletaram-se com enxadão e pá-reta em mini-trincheiras, amostras de solos deformadas nas áreas estudadas, nas camadas 0-20 e 20-40 cm, para análise granulométrica a classe textural (Tabela 1).

Tabela 2. Caracterização da granulometria e classe textural dos solos das comunidades rurais.

Comunidade	Camada (cm)	Granulometria ($g\ kg^{-1}$)			Classe Textural*
		Areia	Silte	Argila	
Boa Fé (Mossoró)	0-20	940,3	10,3	49,5	Argilo-arenosa
	20-40	890,0	14,7	95,2	Franco-argilo-arenosa
Lagoa Rasa (Apodi)	0-20	726,0	123,8	150,2	Franco-argilo-arenosa
	20-40	445,3	264,0	290,7	Franco-argilo-arenosa

*Donagema et al. (2011).

As amostras do rejeito salino foram coletadas e acondicionadas em garrafas plásticas, opacas, de 500 mL, hermeticamente fechadas, armazenadas em caixa térmica com gelo, a fim de evitar ao máximo as atividades microbiológicas (OLIVEIRA et al., 2017) e, em seguida conduzidas ao Laboratório para caracterização dos seguintes parâmetros físico-químicos: Condutividade Elétrica - CE em $dS\ m^{-1}$, potencial hidrogeniônico (pH), Relação de Adsorção de Sódio - RAS em $(mmol\ L^{-1})^{0,5}$, teores de Sódio (Na^+), Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}), Potássio (K^+), Cloreto (Cl^-), Carbonato (CO_3^{2-}) e Bicarbonato (HCO_3^-), de acordo com as metodologias propostas pela Embrapa (1999). O rejeito salino foi avaliado quanto aos riscos de salinidade, toxicidade dos íons Na^+ e Cl^- e problemas de infiltração, sendo este classificado quanto aos riscos de salinização conforme Ayers e Westcot (1999).

Para interpretar as principais variáveis do solo dentro dos períodos nas diferentes distâncias e profundidades, bem como, entre os quatro períodos, foi realizado análise de variância, teste F, também com o auxílio do software estatístico R[®]. Os valores médios dos tratamentos foram comparados pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação da qualidade dos rejeitos salinos

Com relação à classificação do rejeito salino para irrigação, as amostras da Comunidade Lagoa se classificaram como alto (C_3) quanto aos riscos de salinidade, baixo (S_1) e moderado (S_2) quanto aos riscos de problemas de infiltração de água e alto e moderado risco de toxicidade (T_3 e T_2) (Tabela 2).

Tabela 2. Análise físico-química do rejeito salino das comunidades Boa Fé e Lagoa Rasa em diferentes períodos.

Localidade	Período	pH	CE	Na ⁺	Cl ⁻	RAS*	Classificação		
			dS m ⁻¹	mmol _c L ⁻¹		(mmol L ⁻¹) ^{0,5}	C ¹	S ²	T ³
Lagoa Rasa	P ₁	7,63	1,48	10,24	5,00	6,00	C ₃	S ₁	T ₃
	P ₂	8,00	1,80	13,01	7,40	6,90	C ₃	S ₁	T ₃
	P ₃	7,70	1,15	8,93	6,20	5,20	C ₃	S ₁	T ₂
	P ₄	7,60	1,31	19,25	6,00	10,93	C ₃	S ₂	T ₃
Boa Fé	P ₁	7,49	8,41	33,70	92,00	6,50	C ₄	S ₁	T ₃
	P ₂	7,02	9,30	38,90	100,00	7,10	C ₄	S ₁	T ₃
	P ₃	7,20	7,30	40,09	87,00	7,12	C ₄	S ₁	T ₃
	P ₄	7,35	7,56	72,63	82,00	12,11	C ₄	S ₁	T ₃

* Relação de Adsorção de Sódio. $RAS = Na^+ / (Ca^{++} + Mg^{++})^{0,5}$.

^{1, 2 e 3} Classificação de águas para irrigação quanto aos riscos potenciais de salinidade (C), problemas de infiltração - Sodicidade (S) e toxicidade de íons (T), respectivamente (AYERS; WESTCOT, 1999)

Pode-se inferir que, o rejeito apresenta alto risco de acúmulo de sais na zona radicular e, se utilizado na irrigação, requer o uso de plantas tolerantes os efeitos da salinidade e, ainda, práticas de lixiviação moderada (fração de lixiviação entre 10-15%) para impedir o acúmulo de sais (DIAS et al., 2016). Entretanto, considerando, respectivamente, a classe textural do solo como Argilo-arenosa e Franco-argilo-arenosa nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, (Tabela 1), o rejeito da dessalinização não apresenta restrições de uso quanto aos riscos de problemas de infiltração, inclusive no período P₄, pois apesar do valor médio encontrado para a RAS (10,93 – (mmol L⁻¹)^{0,5}), a alta CE do rejeito (1,31 dS m⁻¹) mantém as argilas floculadas, evitando o processo de sodificação do solo. Por outro lado, o rejeito salino tem restrições severas quanto à toxidez de íons Na⁺ e Cl⁻, sendo recomendado seu uso apenas em sistemas de irrigação por gotejamento e, ainda, requer frações de lixiviação alta associada à plantas tolerantes (Tabela 2).

Com relação aos riscos potenciais do rejeito salino na Comunidade Boa Fé, observou-se que, em todos os períodos, as amostras apresentaram alto risco de salinidade (Classe C₄) com CE variando de 7,3 a 9,3 dS m⁻¹, nenhum risco de problemas com infiltração (Classe S₁) (Tabela 2), mesmo considerando a textura Franco-argilo-arenosa do solo na área de estudo (Tabela 1). Além disso, as amostras de rejeito salino têm severas restrições de uso quanto à toxidez de íons Cl⁻ e Na⁺. A utilização deste resíduo na irrigação prejudica, significativamente, o desenvolvimento e a produção da maioria das plantas cultivadas por consequência da seca fisiológica (redução da absorção de água pelas plantas) e da toxicidade causada, consequentemente, pelos efeitos osmóticos da alta CE e do excesso de Na⁺ e Cl⁻.

Moura et al. (2016) recomendam a utilização de rejeitos salinos com CE acima 7,0 dS m⁻¹ apenas para a irrigação de halófitas como, por exemplo, a espécie forrageira erva sal (*Atriplex nummularia*). Os autores encontraram valores médios de massa de matéria seca acima de 5000,00 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e teor de proteína bruta maior do que 14% em plantas de erva sal irrigada com rejeito salino com CE de 9,35 dS m⁻¹.

Considerando apenas o período P₂ (fevereiro/março), em ambas as comunidades, estima-se que são descartados no solo cerca de 4 g de sais por L⁻¹ de rejeito. O descarte de rejeito sem qualquer controle ou manejo para mitigar seus efeitos da alta salinidade, pode causar

a desertificação dos solos receptores destas comunidades pelo processo evolutivo da salinização.

Anders et al. (2017) classificaram amostras de rejeito salino de 10 dessalinizadores instalados em Comunidade e Assentamentos rurais do Oeste Potiguar e, também, encontraram riscos alto (C₃) e muito alto (C₄) de salinidade em 40 e 60% das amostras analisadas, respectivamente. Considerando a alta taxa de recuperação do sistema de osmose reversa no tratamento das águas salinas e salobras, a alta salinidade do rejeito salino deve-se a elevada CE da água de alimentação do sistema de dessalinização que, no presente estudo são oriundas de poços tubulares que, geralmente, apresentam alta concentração de sais. Este fato é comprovado no estudo realizado por Cosme et al. (2018), os quais encontraram classes de água de irrigação entre C₃ e C₄ para mais de 90% das amostras de águas de poços de comunidades rurais do município de Mossoró, RN.

O rejeito salino das comunidades apresentou alterações significativas dos parâmetros físico-químicos ao longo dos períodos de coletas, sendo esta variação devido a ocorrência de precipitações e, conseqüentemente, a diluição dos sais. Ainda que no intervalo de outubro de 2013, início da campanha de coletas, a outubro de 2014, tenham ocorrido precipitações abaixo das médias anuais dos municípios da região, interveio nos parâmetros de qualidade das águas.

Ao avaliar o pH do rejeito salino de ambas as comunidades nos 4 períodos de coletas, verificou-se que todas as amostras apresentam valores acima de 7,00, registrando a mais baixa em Boa Fé a mais alta em Lagoa Rasa, com pH 7,02 e 8,00, respectivamente. Isto é, o rejeito comumente apresenta maiores valores de pH quando comparada com as outras águas do processo de dessalinização, a água de alimentação do sistema (poço) e a dessalinizada. Devendo este fato ao aumento de carbonatos (CO₃²⁻) e bicarbonatos (HCO₃⁻) encontrados facilmente nas águas do aquífero Jandaíra, de origem calcária, onde boa parte dos poços das comunidades rurais que são reabastecidos por essas águas captam esses íons, sendo que quando removidos da água de alimentação se concentram na água de rejeito.

Para Dias et al. (2016), a avaliação dos riscos de salinização de uma área mediante a água de irrigação não poderá ser realizada apenas pela qualidade da água, pois seus efeitos dependem das características do solo, tolerância das culturas exploradas, condições climáticas locais e manejo da irrigação e drenagem, além das características físico-químicas do solo. Dessa forma, deve-se ressaltar que, mesmo com toda importância do estudo das qualidades da água, não se pode generalizar um único sistema de classificação de água que possa ser usado em todas as situações.

5.2 Atributos físico-químicos dos solos sob a influência do descarte do rejeito salino

O descarte do rejeito salino nos solos das comunidades estudadas resultou em alterações dos atributos pH, CE_{es} e PST nos diferentes pontos de coletas e camadas do perfil dos solos, quando comparada as respectivas testemunhas (solo de mata nativa). As classificações dos solos receptores quanto à salinidade e sodicidade, em função das distâncias do ponto de descarte e das camadas do perfil do solo e, em comparação com os solos da mata nativa durante períodos amostrados estão dispostos nas Tabelas 3 e 4, respectivamente para as Comunidades Boa Fé e Lagoa Rasa.

Na Comunidade de Boa Fé, em todos os períodos de coleta, as amostras de solos no local de despejo salino e a 1 m deste acumularam sais no perfil do solo em relação à testemunha; sendo registrado o maior acúmulo de sais no início do período seco (P₂). Já nas amostras coletadas à 2 m do local de despejo, ocorreu incremento de sais no solo, mas não foi evidenciado o processo de salinização e/ou sodificação, exceto nos períodos de coletas P₂ e P₄. Verificou-se

que, em ambas as camadas, a CE_{es} aumentou até o período P_3 e, em seguida houve redução nos valores de CE_{es} , mas sem alterar a classificação salino ou salino-sódico do solo (Tabela 3).

Tabela 3. Variação do pH, CE_{es} e PST e, classificação dos solos quando aos problemas de salinidade e sodicidade da comunidade de Boa Fé, Mossoró, RN.

Período*	Ponto	Camada (cm)	pH	CE_{es} dS m ⁻¹	PST (%)	Classificação do solo ¹
P ₁	0	0 – 20	7,04	3,75	6	Salino
	0	20 – 40	7,19	3,45	13	Salino
	1	0 – 20	5,33	3,62	7	Salino
	1	20 – 40	5,14	4,04	8	Salino
	2	0 – 20	4,50	0,13	0	Normal
	2	20 – 40	4,39	0,12	0	Normal
	Testemunha	0 – 20	4,12	0,87	1	Normal
	Testemunha	20 – 40	4,06	0,12	0	Normal
P ₂	0	0 – 20	7,60	6,25	12	Salino
	0	20 – 40	7,76	5,71	18	Salino-Sódico
	1	0 – 20	7,84	5,25	16	Salino-Sódico
	1	20 – 40	7,85	5,71	15	Salino-Sódico
	2	0 – 20	8,15	5,37	13	Salino
	2	20 – 40	8,25	5,00	17	Salino-Sódico
	Testemunha	0 – 20	6,90	1,12	2	Normal
	Testemunha	20 – 40	5,75	0,59	4	Normal
P ₃	0	0 – 20	7,53	6,75	13	Salino
	0	20 – 40	7,50	7,02	21	Salino-Sódico
	1	0 – 20	7,70	3,62	10	Salino
	1	20 – 40	7,75	3,57	14	Salino
	2	0 – 20	6,21	0,63	1	Normal
	2	20 – 40	6,17	0,71	2	Normal
	Testemunha	0 – 20	5,21	0,63	1	Normal
	Testemunha	20 – 40	4,74	0,59	1	Normal
P ₄	0	0 – 20	7,43	4,25	10	Salino
	0	20 – 40	7,62	4,16	11	Salino
	1	0 – 20	7,73	3,50	11	Salino
	1	20 – 40	8,31	4,16	17	Salino-Sódico
	2	0 – 20	8,05	5,87	16	Salino-Sódico
	2	20 – 40	8,23	3,92	16	Salino-Sódico
	Testemunha	0 – 20	6,30	0,63	1	Normal
	Testemunha	20 – 40	4,95	0,35	1	Normal

¹P₁ = outubro/novembro (2013) – período seco, praticamente sem chuvas; P₂ = fevereiro/março (2014), início do período chuvoso; P₃ = junho/julho (2014), final do período chuvoso e P₄ = outubro/novembro (2014).

²Classificação de solos afetados por sais (BOHN et al., 1985).

De acordo com a classificação de solos afetados por sais, das 24 amostras que ocorreram no decorrer dos períodos em Boa Fé, ou seja, considerando apenas os pontos da área que são afetados pela deposição do rejeito, sem incluir as testemunhas, 34% das amostras foram classificadas como solo salino-sódico. No entanto, considerando o limite desta classificação de

PST>15, as amostras que passaram por esse limite, ficaram muito próximas, o que com pouca alteração dos sais no solo durante os intervalos dos períodos de coleta, que algumas amostras ora classificadas como sódicas voltasse a ser classificadas como normal. O período que se apresentou mais danoso do ponto de vista da qualidade do solo foi o período P₂, em que das 6 amostras 4 classificaram-se como sódicas, o que compromete seriamente a estrutura do solo.

Ainda em relação à Tabela 3, apesar da influência do rejeito nas alterações dos atributos físico-químicos dos solos, todos os valores de CE_{es} encontrados são menores do que a CE do rejeito salino. É importante ressaltar que o acúmulo de sais no solo não depende apenas da CE da salmoura descartada, mas da textura do solo, CE_{es} original do solo inicial e, principalmente, do volume de rejeito salino despejado diariamente; porém, para qualquer fator de variação estudado, a CE_{es} foi sempre significativamente maior do que a CE_{es} no solo sem a influência do despejo salino.

Na Lagoa Rasa, exceto no solo sem a influência do descarte do rejeito, todas as amostras coletadas foram classificadas como salino-sódicas. Como a salinidade natural do solo desta comunidade é alta, inclusive classificado como salino (CE_{es} entre 2,75 a 5,2 dSm⁻¹) em alguns períodos de coleta, a salinidade avançou rapidamente entre as camadas e distâncias do ponto de despejo de rejeito (Tabela 4). Além disso, verificou-se que, todas as amostras que não aquelas sobre a influência do descarte do rejeito salino foram classificadas como salino-sódico, indicando, também, um rápido o processo de sodificação em relação à comunidade Boa Fé, isto por que, na maioria das vezes, a sodificação é um processo posterior à salinidade (DIAS et al., 2016).

Tabela 4. Variação do pH, CE_{es} e PST e, classificação dos solos quanto aos problemas de salinidade e sodicidade da comunidade de Lagoa Rasa, Apodi - RN.

Período	Ponto	Camada (cm)	pH	CE $dS\ m^{-1}$	PST %	Classificação do solo ¹
P ₁	0	0 – 20	8,54	7,10	49	Salino-Sódico
	0	20 – 40	8,50	2,56	19	Salino-Sódico
	1	0 – 20	8,90	13,90	70	Salino-Sódico
	1	20 – 40	8,60	13,20	56	Salino-Sódico
	2	0 – 20	8,53	5,86	33	Salino-Sódico
	2	20 – 40	8,51	6,25	39	Salino-Sódico
	Testemunha	0 – 20	5,90	1,17	9	Normal
	Testemunha	20 – 40	6,50	1,94	3	Normal
P ₂	0	0 – 20	8,60	2,57	26	Salino-Sódico
	0	20 – 40	8,70	2,70	28	Salino-Sódico
	1	0 – 20	9,00	11,56	61	Salino-Sódico
	1	20 – 40	8,88	8,95	49	Salino-Sódico
	2	0 – 20	8,93	7,65	46	Salino-Sódico
	2	20 – 40	8,70	7,77	39	Salino-Sódico
	Testemunha	0 – 20	6,45	0,70	4	Normal
	Testemunha	20 – 40	6,30	1,38	5	Normal
P ₃	0	0 – 20	8,83	3,51	18	Salino-Sódico
	0	20 – 40	8,72	3,61	25	Salino-Sódico
	1	0 – 20	8,86	5,93	34	Salino-Sódico
	1	20 – 40	8,67	7,15	32	Salino-Sódico
	2	0 – 20	9,11	7,42	49	Salino-Sódico
	2	20 – 40	8,65	7,08	37	Salino-Sódico
	Testemunha	0 – 20	6,11	2,73	3	Salino
	Testemunha	20 – 40	6,21	5,20	6	Salino
P ₄	0	0 – 20	9,11	2,81	20	Salino-Sódico
	0	20 – 40	9,17	3,47	28	Salino-Sódico
	1	0 – 20	9,49	3,43	32	Salino-Sódico
	1	20 – 40	9,00	3,81	31	Salino-Sódico
	2	0 – 20	9,53	4,53	49	Salino-Sódico
	2	20 – 40	8,81	6,52	40	Salino-Sódico
	Testemunha	0 – 20	6,11	2,73	3	Salino
	Testemunha	20 – 40	6,21	5,20	6	Salino

¹P₁ = outubro/novembro (2013) – período seco, praticamente sem chuvas; P₂ = fevereiro/março (2014), início do período chuvoso; P₃ = junho/julho (2014), final do período chuvoso e P₄ = outubro/novembro (2014).

²Classificação de solos afetados por sais (Bohn et al, 1985).

Comparando as duas comunidades, constatou-se relação direta da CE do rejeito salino e a CE_{es} no perfil do solo, ou seja, a salinidade do solo é diretamente proporcional à concentração de sais rejeito, independentemente do período de coletas. Além disso, devido ao alto volume de rejeito descartado na superfície do solo, percebe-se um avanço da salinidade abaixo da camada superficial solo e, também, à medida que se afasta do ponto de despejo. É importante ressaltar que, fatores como tipo de solo e a condição climática (índice de

precipitação pluvial) contribuem para aumentar ou reduzir a CE_{es} do solo, considerando constante o volume e a concentrações de sais do rejeito salino descartado no solo.

Utilizando a irrigação localizada Dias et al. (2005), verificaram que acúmulo de sais no solo é diretamente proporcional à salinidade da água utilizada, com maior concentração de sais na camada superficial e decrescente com a profundidade, resultado este, semelhante ao verificado nesta comunidade.

De acordo com o teste médias Scott Knott, observaram-se na comunidade Boa Fé que, os maiores valores CE_{es} do solo foram encontrados no período P_2 , correlacionando com os altos valores de CE do rejeito salino do período (Tabela 5). Mesmo com as distâncias e profundidades do ponto de despejo, a concentração salina foi superior aos demais períodos em quase todas as coletas. O solo desta comunidade foi classificado como *Neossolo Quartzarênico*, predominando a fração areia (94 e 89% de areia nas camadas 0-20 e 20-40 cm, respectivamente (Tabela 2), o que favoreceu a lixiviação dos sais do perfil e, praticamente, as CE_{es} é igual aos valores da CE do rejeito nos respectivos períodos.

Tabela 5. Resumo do teste de médias para a interação da CE_{es} dentro dos períodos de coleta do solo pelo teste de Scott Knott¹.

Ponto de coleta	Camada (cm)	Boa Fé-----				
		Período de coleta ²				CV
		P_1	P_2	P_3	P_4	
0	0-20	3,75 c	6,25 a	6,75 a	4,25 b	33,92
0	20-40	3,45 d	5,71 b	7,02 a	4,16 c	36,74
1	0-20	3,62 b	5,25 a	3,62 b	3,50 b	33,55
1	20-40	4,04 b	5,71 a	3,57 c	4,16 b	31,01
2	0-20	0,13 c	5,37 a	0,63 b	5,87 a	40,11
2	20-40	0,12 d	5,00 a	0,71 c	3,92 b	39,54
Média		2,51 d	5,54 a	3,71 c	4,31 b	35,81
----- Lagoa Rasa -----						
0	0-20	7,10 a	2,57 c	3,51 b	2,81 c	17,84
0	20-40	2,56 b	2,70 b	3,61 a	3,47 a	20,84
1	0-20	13,90 a	11,56 b	5,93 c	3,43 d	8,62
1	20-40	13,20 a	8,95 b	7,15 c	3,81 d	8,29
2	0-20	5,86 b	7,65 a	7,42 a	4,53 c	12,23
2	20-40	6,25 c	7,77 a	7,08 b	6,52 c	8,41
Média		8,14 a	6,86 b	5,78 c	4,09 d	12,70

¹Médias seguidas de letras distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$). ² P_1 = outubro/novembro (2013) – período seco, praticamente sem chuvas; P_2 = fevereiro/março (2014), início do período chuvoso; P_3 = junho/julho (2014), final do período chuvoso e P_4 = outubro/novembro (2014).

De acordo Dias et al. (2016), o teor e o tipo de argila predominante no solo podem atuar como interferentes na concentração de íons na solução e, consequentemente, no valor da CE_{es} . A fração argila age como um acumulador de íons por meio da sistemática de adsorção e posterior dessorção iônica, sendo influenciada principalmente pela temperatura e concentração iônica na solução do solo. Assim, quanto maior a concentração de um íon específico maior a adsorção deste no complexo coloidal.

Ainda para a comunidade Boa Fé, a CE_{es} foi estatisticamente diferente entre os períodos P_1 e P_4 , ou seja, houve acúmulo de sais com o tempo de descarte do rejeito no solo. Estudos realizados Porto Filho et al. (2011) relataram que, a salinidade aumenta com a profundidade e,

ainda, acumula-se nas regiões onde termina a frente de molhamento. De um modo geral, isso é percebido nas distâncias do solo em relação ao ponto 0, considerando o solo da área muito arenoso, afetando mais as camadas subsuperficiais (vertical) quando comparado aos pontos 1 e 2 (horizontal) (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo do teste de médias para a interação da CE_{es} dentro das comunidades pelo teste de Scott Knott¹.

Camada (cm) / Ponto	-----Comunidades-----	
	Boa Fé	Lagoa Rasa
Interação das camadas dentro da distância 0		
0 – 20	5,25 a	3,99 a
20 – 40	5,08 a	3,08 b
Interação das camadas dentro da distância 1		
0 – 20	3,99 b	8,70 a
20 – 40	4,37 a	8,27 b
Interação das camadas dentro da distância 2		
0 – 20	3,00 a	6,36 b
20 – 40	2,43 b	6,90 a
Interação das camadas dentro da testemunha		
0 – 20	0,81 a	1,83 b
20 – 40	0,41 b	3,43 a
Interação das distâncias dentro da camada 0 – 20		
0	5,25 a	3,99 c
1	3,99 b	8,70 a
2	3,00 c	6,36 b
Testemunha	0,81 d	1,83 d
Interação das distâncias dentro da camada 20 – 40		
0	5,08 a	3,08 d
1	4,37 b	8,27 a
2	2,43 c	6,90 b
Testemunha	0,41 d	3,43 c

¹Médias seguidas de letras distintas na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Scott Knott (P<0,05).

Em Lagoa Rasa, aparentemente não se constatou um comportamento padrão deste solo diante da deposição do rejeito salino. O solo desta comunidade tem drenagem deficiente devido à presença de horizonte subsuperficial adensado, em decorrência do teor de argila dispersa, o que promovia alagamento da área com muita facilidade.

Contudo, quando se analisa isoladamente as distâncias e profundidades, percebe-se que a tendência de salinização no solo da comunidade Lagoa Rasa é maior nos pontos 1 e 2: no ponto 1 nos períodos P₁ e P₂; e no ponto 2 nos períodos P₃ e P₄ (Tabela 6). Provavelmente, intensidade e o volume de rejeito produzido no dessalinizador e aplicados no solo, associando às características do *Chernossolo Argilúvico* com restrições de drenagem no horizonte subsuperficial, promoveram severas e intensas alterações no solo. Pode-se afirmar que, o rejeito produzido pelo dessalinizador desta comunidade e o seu descarte causaram maior impacto nos solos receptores, reduzindo notavelmente a vegetação nas áreas úmidas.

Dias et al. (2016) afirmam que o excesso de sais pode prejudicar as plantas por consequência da seca fisiológica e toxidez de íons Cl⁻ e Na⁺ e, ainda, destruir a estrutura do solo quando o teor de Na for relativamente alto, uma vez que provoca a expansão da argila e,

consequentemente, os problemas de infiltração e compactação, dificultando o desenvolvimento das raízes e o transporte de oxigênio.

6 CONCLUSÕES

Os rejeitos salinos produzidos nas estações de tratamentos de ambas as comunidades têm restrições para uso na irrigação, variando de média a severa em todos os períodos de avaliação, sendo necessária a adoção de técnicas de manejo adequada para evitar a salinização dos solos, principalmente na comunidade Boa Fé.

A evolução do processo de salinização e sodificação dos solos estudados dependem da concentração de sais do rejeito salino descartado, da salinidade inicial dos solos receptores, das condições climáticas e, principalmente, das propriedades físicas dos solos.

Em ambas as comunidades, a salinização evoluiu ao longo dos períodos de coleta entre as camadas dos perfis do solo e o ponto de descarte do rejeito salino, sendo mais evidente nos períodos de seca.

7 REFERÊNCIAS

- ANDERS, C. R.; MELO, M. R. S.; DIAS, N. S.; SOUZA, A. C. M.; PORTELA, J. C.; SOUSA JUNIOR, F. S. Caracterização das águas estações de tratamento na Mesorregião do Oeste Potiguar, Brasil. **Revista brasileira de agricultura irrigada**, Fortaleza, v. 11, p. 1430-1437, 2017.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 29).
- BLANCO-MARIGOTA, A. M.; LOZANO-MEDINA, A.; MARCOS, J. D. The exergetic efficiency as a performance evaluation tool in reverse osmosis desalination plants in operation. **Desalination**, Wales, v. 413, p. 19–28, 2017.
- BOHN, H. L.; McNELL, B. L.; O'CONNOR, G. A. **Soil chemistry**. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1985. 341 p.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Diagnóstico do município de Florânia**. Rio Grande do Norte: CPRM/PRODEEM, 2005. 12 p.
- COSME, C. R.; DIAS, N. S.; MELO, M. R. S.; OLIVEIRA, A. M. P.; SILVA, G. F.; MOURA, E. S. R. Avaliação da qualidade da água de poços em comunidades da zona rural de Mossoró-RN. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 7, p. 97-108, 2018.
- DARRE, N. C.; TOOR, G. S. Desalination of water: a review. **Current Pollution Reports**, Philadelphia, v. 4, p. 104-111, 2018.
- DIAS, N. S.; DUARTE, S. N.; CHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; SOARES, T. M. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se extratores de solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**,

Campina Grande, v. 9, p. 496-504, 2005.

DIAS, N. D.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; SOUSA NETO, O. N.; QUEIROZ, I. S. R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (Org.). **Manejo da salinidade na agricultura**: estudos básicos e aplicados. 2. ed. Fortaleza: INCTsal, 2016. v.1, p. 151-161.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA. **Manual de análises de solos, plantas e fertilizantes**. 1. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa em Solos, 1999. 370 p.

MOHAMED, A. M. O.; MARAQAA, M.; AL HANDHALYB, J. Impact of land disposal of reject brine from desalination plants on soil and groundwater. **Desalination**, Wales, v. 182, p. 411–433, 2005.

MOURA, E. S. R.; COSME, C. R.; DIAS, N. S.; PORTELA, J. C.; SOUZA, A. C. M. de S. Yield and forage quality of saltbush irrigated with reject brine from desalination plant by reverse osmosis. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, p. 1-10, 2016.

PORTO FILHO, F. Q.; MEDEIROS, J. F.; CHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; SOUSA, P. S.; DANTAS, D. C. Evolução da salinidade e do pH de um solo sob cultivo de melão irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, p. 1130-1137, 2011.

SANCHEZ, A. S.; NOGUEIRA A. B. R.; KALID, R. A. Uses of the reject brine from inland desalination for fish farming, Spirulina cultivation, and irrigation of forage shrub and crops. **Desalination**, Wales, v. 364, p. 96–107, 2015.

SOARES, T. M.; SILVA, I. J. O.; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. F. Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 730-737, 2006.

SOUZA NETO, L. D; BERTRAND, D. Mapeamento dos sítios arqueológicos do município de Flôrania/RN. Rio Grande do Norte: UFRN, v. 07, n. 15, p. 49-87, 2005.