



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

PAUL-ÉMILE HILAIRE

VARIAÇÃO SAZONAL DA SALINIDADE EM DOIS NEOSSOLOS FLÚVICOS DE
TEXTURAS DIFERENTES

Fortaleza

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

H542v Hilaire, Paul Émile.
VARIAÇÃO SAZONAL DA SALINIDADE EM DOIS NEOSSOLOS FLÚVICOS DE TEXTURAS
DIFERENTES / Paul Émile Hilaire. – 2018.
63 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2018.

Orientação: Profa. Dra. Maria Eugênia Ortiz Escobar.

1. Salinidade. 2. Sodicidade. 3. Degradação do solo. 4. Semiárido. I. Título.

CDD 631.4

PAUL-ÉMILE HILAIRE

**VARIAÇÃO SAZONAL DA SALINIDADE EM DOIS NEOSSOLOS FLÚVICOS DE
TEXTURAS DIFERENTES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências do Solo. Área de concentração: Química, Fertilidade e Poluição do Solo.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Eugênia Ortiz Escobar

Fortaleza

2018

PAUL-ÉMILE HILAIRE

VARIAÇÃO SAZONAL DA SALINIDADE EM DOIS NEOSSOLOS FLÚVICOS DE
TEXTURAS DIFERENTES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências do Solo. Área de concentração: Química, Fertilidade e Poluição do Solo.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Maria Eugênia Ortiz Escobar
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Raimundo Nonato Tavora Costa
Universidade Federal do Ceará

Fortaleza

2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força e paz que me tem dado.

Ao meu pai, Sébastien Hilaire, e à minha mãe, Rose-Marie Gousse, pelo amor, apoio, e por ter incentivado a dedicar-me aos estudos desde pequeno.

Agradeço à Prof^a. Dra. Maria Eugênia Ortiz Escobar pela motivação, acompanhamento, conselhos e orientações, que contribuíram muito para meu desenvolvimento profissional e pessoal.

Ao corpo de professores da banca examinadora, Prof. Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez, pelas valiosas colaborações e sugestões e ao Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa, que facilitou o contato com os gestores da Fazenda Experimental Vale do Curu da UFC, representada pelo diretor Francisco José de Mesquita Sales, pelo administrador José Airton Alves Rodrigues, e pelo engenheiro agrônomo Kleyton Chagas de Sousa, os quais também merecem gratidão pela permissão do presente estudo na área.

Agradeço também aos colaboradores da Fazenda: Yara, Gleiciane, Kleber e outros que prestaram grande auxílio e suporte nas coletas.

Aos funcionários do Laboratório de Solos da FUNCEME, pelos ensinamentos e conselhos prestados, além da gentileza e companheirismo.

Aos meus amigos do grupo de estudos em Química do solo e do Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, Laura, Igor, Crisanto e Fatima, por toda a amizade, grandes contribuições e ajuda nas atividades.

Aos amigos que conheci durante o mestrado, Saialy, Lucas, Tiago, Wilner, entre outros que colaboraram de alguma forma para a realização deste trabalho.

RESUMO

Em áreas sob clima árido e semiárido, a salinidade e a sodicidade são problemas frequentes, mas existem poucos estudos sobre a variação temporal dos atributos no perfil desses solos, principalmente na região semiárida do Brasil. Este trabalho teve como objetivo avaliar a evolução dos parâmetros ligados à salinidade em extrato 1:1 nos períodos seco e úmido em dois solos (Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico - NFET e Neossolo Flúvico Sódico Típico - NFST) localizados na Fazenda Experimental Vale do Curu, município de Pentecoste, Ceará. Após a caracterização físico-química dos horizontes do perfil dos solos, foram realizadas 6 coletas de amostras de solo nas profundidades de 0-5, 5-15, 15-25, 25-40 e 40-60 cm (3 no período seco e 3 no período chuvoso), para obtenção do extrato 1:1 e análises das variáveis CE, pH, cátions e ânions solúveis. Os resultados foram analisados por meio de estatística descritiva, calculando-se a média, mediana, valores máximos, mínimos, desvio padrão e coeficiente de variação. Nos dois solos, as variáveis foram comparadas dentro das camadas estudadas e no perfil nos dois períodos. Considerando o perfil, a maioria das variáveis apresentou distribuição assimétrica enquanto que nas camadas a distribuição foi normal. O pH apresentou valores que pouco variaram no perfil do solo e apresentaram baixo CV (entre 5,45 e 6,93%). A condutividade elétrica, cálcio, potássio, e cloreto apresentaram os maiores valores na primeira camada (0-5 cm) e também altos CV (>62%). O teor de sódio solúvel não variou de forma significativa nos períodos seco e úmido, fato atribuído à grande mobilidade do sódio que no NFET foi controlada pela irrigação. Em contrapartida, no NFST a manutenção da concentração de sódio e cloreto solúveis da camada superficial é devida à diluição da água da chuva e ao movimento superficial da água e, no período seco, é causada pela baixa contribuição do sódio das camadas inferiores devido à baixa condutividade hidráulica. Os valores do pH no NFST, relativamente baixos para um solo sódico, indicam que o mesmo é um solo em processo de degradação.

Palavras-chave: Salinidade. Sodicidade. Degradação do solo. Semiárido.

ABSTRACT

In arid and semi-arid areas, salinity and sodicity are common problems, and there are few studies about the temporal variation of attributes in the profile of these soils, mainly in the semi-arid region of Brazil. This work aims to evaluate the evolution of the parameters related to salinity in the 1:1 soil:water extract in different periods of humidity (dry and rainy) in two soils (Entisol Typic Torrifuvents - ETT and Entisol Sodic Torriarents - EST) located at the Vale do Curu Experimental Farm, Pentecoste, Ceará. After physical and chemical characterization of the horizons of both soils, 6 collections of soil samples were performed at 0-5, 5-15, 15-25, 25-40 and 40-60 cm depths (3 in the dry season and 3 in the rainy season) in order to obtain the 1:1 extract (soil:water) and analyze the variables $CE_{1:1}$, pH, soluble cations and anions. For all variables, descriptive statistical analysis was performed by determining mean, median, maximum, minimum, standard deviation and coefficient of variation. In both soils, the variables were compared inside the studied layers and in the profile for both periods. Considering the profile, it was observed that most of the variables showed asymmetric distribution, whereas in the layers the distribution was normal. The pH values varied little in the soil profile and had lower CV (between 5.45 and 6.93%). Electrical conductivity, calcium, potassium, and chloride showed the highest values in the first layer (0-5 cm) and also high CV (> 62%). The soluble sodium concentration did not change significantly in dry and humid periods due to the great sodium mobility which was controlled by irrigation in the NFET. On the other hand, in the NFST, sodium and chloride concentrations in the superficial layer were maintained low due to the dilution by rainwater and surface water movement, whereas in the dry period it was caused by the low sodium contribution from the lower layers due to their low hydraulic conductivity. The pH values in the NFST, relatively low for a sodic soil, indicate that it is a soil under degradation.

Keywords: Salinity. Sodicity. Soil degradation. Semi-arid region.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Curu e da Fazenda Experimental, no estado do Ceará **8**
- Figura 2 - Mapa da Fazenda Experimental da UFC no perímetro irrigado no Vale do Curu (FEVC) e delimitação das áreas cultivadas **9**
- Figura 3 - Precipitação pluviométrica mensal (PPM) e evaporação do tanque (EVT) **15**
- Figura 4 - Comportamento do pH no perfil do solo e no tempo (período seco e chuvoso) no Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (A) e Neossolo Flúvico Sódico Típico (B) **22**
- Figura 5 - Comportamento da condutividade elétrica no perfil do solo e no tempo (período seco e chuvoso) no Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (A) e Neossolo Flúvico Sódico Típico (B) **23**
- Figura 6 - Comportamento dos íons cálcio e magnésio solúveis no perfil do solo e no tempo (período seco e chuvoso) no Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (A,C) e Neossolo Flúvico Sódico Típico (B,D) **25**
- Figura 7 - Comportamento dos íons potássio e sódio solúveis no perfil do solo e no tempo (período seco e chuvoso) no Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (A,C) e Neossolo Flúvico Sódico Típico (B,D) **27**
- Figura 8 - Comportamento dos íons cloreto, bicarbonato e sulfato solúveis no perfil do solo e no tempo (período seco e chuvoso) no Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (A,C e E) e Neossolo Flúvico Sódico Típico (B,D e F) **30**
- Figura 9 - Comportamento da RAS no perfil do solo e no tempo (período seco e chuvoso) no Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (A) e Neossolo Flúvico Sódico Típico (B) **31**

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----------|
| Tabela 1 - Caracterização físico-química do perfil do Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (NFET) | 10 |
| Tabela 2 - Caracterização físico-química do perfil do Neossolo Flúvico Sódico Típico (NFST) | 11 |
| Tabela 3 - Média, Mediana, Coeficiente de variação (CV), Desvio padrão (DP), valores Mínimo e Máximo, das variáveis estudadas no extrato 1:1 - Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (área AT-1) - em período chuvoso e seco sem distinção de camadas | 16 |
| Tabela 4 - Média, Mediana, Coeficiente de variação (CV), Desvio padrão (DP), valores Mínimo e Máximo, das variáveis estudadas no extrato 1:1 - Neossolo Flúvico Sódico Típico (área DS-2) - em período chuvoso e seco sem distinção de camadas | 16 |
| Tabela 5 - Média, Mediana, Coeficiente de variação (CV), Desvio padrão (DP), valores Mínimo e Máximo das variáveis estudadas no extrato 1:1 - Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (Área AT-1) - em cinco profundidades | 19 |
| Tabela 6 - Média, Mediana, Coeficiente de variação (CV), Desvio padrão (DP), valores Mínimo e Máximo das variáveis estudadas no extrato 1:1 - Neossolo Flúvico Sódico Típico (área DS-2) - em cinco profundidades | 20 |
| Tabela 7 - Correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre os parâmetros químicos estudados ao longo do perfil do solo em período seco e chuvoso no extrato solo:água 1:1 no Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (NFET) | 33 |
| Tabela 8 - Correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre os parâmetros químicos estudados ao longo do perfil do solo em período seco e chuvoso no extrato solo:água 1:1 no Neossolo Flúvico Sódico Típico (NFST) | 33 |
| Tabela 9 - Resultados das análises da água coletada nos dispositivos/pontos de observação do lençol freático na área 2 (NFST) | 35 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo 1 - Precipitação pluviométrica mensal (PPM) e Evaporação do tanque (EVT) | 45 |
| Anexo 2 - Normalidade dos dados segundo o teste de Shapiro-Wilk ($p>0,05$), em diferentes períodos de coleta no Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico | 45 |
| Anexo 3 - Normalidade dos dados segundo o teste de Shapiro-Wilk ($p>0,05$), em diferentes períodos de coleta no Neossolo Flúvico Sódico Típico | 45 |
| Anexo 4 - Normalidade dos dados segundo o teste de Shapiro-Wilk ($p>0,05$), nas diferentes profundidades estudadas no Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico | 46 |
| Anexo 5 - Normalidade dos dados segundo o teste de Shapiro-Wilk ($p>0,05$), nas diferentes profundidades estudadas no Neossolo Flúvico Sódico Típico | 46 |
| Anexo 6 - Comparação do valor médio do pH entre os diferentes períodos e camadas e suas interações nas duas áreas | 46 |
| Anexo 7 - Comparação do valor médio do CE (dS/m) entre os diferentes períodos e camadas e suas interações nas duas áreas | 47 |
| Anexo 8 - Comparação da concentração média de cálcio solúvel (mmol _c /L) entre os diferentes períodos e camadas e suas interações nas duas áreas | 47 |
| Anexo 9 - Comparação da concentração média de magnésio solúvel (mmol _c /L) entre os diferentes períodos e camadas e suas interações nas duas áreas | 48 |
| Anexo 10 - Comparação da concentração média de potássio solúvel (mmol _c /L) entre os diferentes períodos e camadas e suas interações nas duas áreas | 48 |
| Anexo 11 - Comparação da concentração média de sódio solúvel (mmol _c /L) entre os diferentes períodos e camadas e suas interações nas duas áreas | 49 |
| Anexo 12 - Comparação da concentração média de cloreto solúvel (mmol _c /L) entre os diferentes períodos e camadas e suas interações nas duas áreas | 49 |
| Anexo 13 - Comparação da concentração média de sulfato solúvel (mmol _c /L) entre os diferentes períodos e camadas e suas interações nas duas áreas | 50 |
| Anexo 14 - Comparação da concentração média de bicarbonato solúvel (mmol _c /L) entre os diferentes períodos e camadas e suas interações nas duas áreas | 50 |
| Anexo 15 - Comparação do valor médio da relação adsorção de sódio (RAS) entre os diferentes períodos e camadas e suas interações nas duas áreas | 51 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------------------------|--|
| CCA | Centro de Ciências Agrárias |
| CE_{1:1} | Condutividade elétrica do extrato solo:água 1:1 |
| CE_{es} | Condutividade elétrica do extrato de saturação |
| CGEE | Centro de Gestão e Estudos Estratégicos |
| CTC | Capacidade troca catiônica |
| CV | Coefficiente de variação |
| DENA | Departamento de Engenharia Agrícola |
| DNOCS | Departamento Nacional de Obras Contra as Secas |
| DV | Desvio padrão |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| EVT | Evaporação do tanque |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| INESP | Instituto de Estudos e Pesquisas para o Desenvolvimento do Estado do Ceará |
| MOS | Matéria orgânica do solo |
| NFET | Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico |
| NFST | Neossolo Flúvico Sódico Típico |
| PPM | Precipitação pluviométrica mensal |
| PST | Porcentagem de sódio trocável |
| RAS | Relação adsorção de sódio |
| TFSA | Terra fina seca no ar |

SUMÁRIO

| | |
|--|--------------------------------------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2 REVISÃO DA LITERATURA..... | 2 |
| 2.1 Mineralogia dos solos salinos..... | 2 |
| 2.2 Efeito do clima sobre a dinâmica ou demanda de água no solo na região do Nordeste. ... | 3 |
| 2.3 Efeitos da textura do solo sobre a salinidade..... | 4 |
| 2.4 Efeitos da salinidade e da sodicidade em Neossolos Flúvicos..... | 5 |
| 2.5 Efeitos da salinidade e da sodicidade sobre a estrutura do solo..... | 6 |
| 2.6 Efeito da irrigação sobre a salinização do solo..... | 7 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 8 |
| 3.1 Localização dos solos estudados..... | 8 |
| 3.2 Descrição das áreas de estudo..... | 10 |
| 3.3 Amostragem de solo e preparo de extrato 1:1..... | 12 |
| 3.4 Análises químicas..... | 12 |
| 3.5 Análises físicas..... | 13 |
| 3.6 Análise estatística..... | 14 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 15 |
| 4.1 Comportamento das variáveis estudadas nos períodos úmido e seco..... | 15 |
| 4.2 Comportamento dos atributos do solo no perfil nas áreas estudadas..... | 21 |
| 4.2.1 <i>pH</i> | 21 |
| 4.2.2 <i>Condutividade elétrica</i> | 22 |
| 4.2.3 <i>Cálcio e magnésio</i> | 24 |
| 4.2.4 <i>Potássio e sódio</i> | 26 |
| 4.2.5 <i>Cloreto, bicarbonato e sulfato</i> | 28 |
| 4.2.6 <i>Relação adsorção de sódio</i> | 31 |
| 4.3 Correlações entre variáveis..... | Erro! Indicador não definido. |
| 4.4 Monitoramento da profundidade e da água do lençol freático..... | 34 |

| | |
|--------------------|----|
| 5 CONCLUSÕES | 36 |
| REFERÊNCIAS | 37 |
| ANEXOS | 44 |

1 INTRODUÇÃO

Os seres humanos, pelo seu comportamento instintivo de perpetuar sua existência e melhorar a qualidade de vida, planejam, cada dia, um conjunto de estratégias que possam favorecer o aumento da produtividade na agricultura, principalmente pela utilização de meios que contribuam para aumentar os rendimentos e promover o desenvolvimento.

Dentre os fatores de produção mais associados à consciência ambiental, o solo passou a ser considerado como um recurso natural de essencial importância para garantir a perpetuidade da produtividade agrícola e a manutenção da vida e do meio ambiente, mas também, por outro lado, continua a ser o mais vulnerável à degradação se for manejado de forma incorreta.

Sendo considerado como um sistema aberto, o solo está em constante interação com vários fatores ambientais, como a atmosfera, biosfera, hidrosfera e litosfera, podendo modificar de maneira gradual o equilíbrio de seus atributos que são pré-requisitos para definir seu potencial em termos de agrícolas. Porém, ao longo do tempo estes são sujeitos aos efeitos do clima e ações antropogênicas acelerando seus riscos de degradação.

Na Bacia Hidrográfica do Rio Curu, no Ceará, a sucessão de irregularidade pluviométrica (falta ou má distribuição das chuvas) e a extensão da escassez criam um desbalanço hídrico devido à elevada taxa de evaporação, influenciando consideravelmente a movimentação dos sais no perfil do solo. Todas essas pressões hidroclimáticas contribuem para alterar os aspectos qualitativos do solo no tempo e no espaço, principalmente pela salinização das camadas mais superficiais, em relação à disponibilidade dos nutrientes, e conseqüentemente sobre a nutrição das plantas.

Assim, considerando a ocorrência de longos períodos anuais de seca na região do Vale do Curu, é possível que haja perturbação no equilíbrio dos íons salinos no perfil do solo, razão pela qual é importante conhecer o comportamento dos íons solúveis nos períodos seco e úmido em solos de diferentes texturas com a finalidade de aprimorar seus manejos. Para tanto objetivou-se: a) Avaliar o conteúdo e a qualidade dos íons solúveis em extrato solo:água 1:1 no perfil do solo nos períodos seco e úmido; b) Estudar a variabilidade dos íons solúveis dentro das camadas e entre camadas do perfil, assim como a correlação entre eles; e c) Monitorar o lençol freático e sua influência no teor de íons solúveis nas camadas superiores do perfil do solo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Mineralogia dos solos salinos

A região semiárida do Nordeste brasileiro, representando 12% do território Brasil (CGEE, 2016) e 27,5% da população do Brasil (IBGE, 2017), apresenta uma grande variedade de solos, como: Latossolos, Neossolos, Argissolos, Luvisolos, Cambissolos, Vertissolos (EMBRAPA, 2014), geralmente caracterizados por sua diversidade química e mineralógica, em razão de sua localização e da riqueza do material de origem, sendo fontes de diversos tipos de sais.

A baixa precipitação pluvial e o alto índice de evaporação são capazes de reduzir o grau de pedogênese do solo, limitando a conversão dos minerais primários em secundários (BARROS, 2001). Efetivamente, em regiões áridas e semiáridas, Sumner (1995) relatou que os solos liberam quantidades pequenas de cálcio e magnésio (entre 3 a 5 mmol/L) para a solução, provenientes da decomposição de minerais primários com ocorrência dos feldspatos, plagioclásios, hornblenda e biotita. Corroborando com este fato, Mota e Oliveira (1999) realizaram experimentos em um Planossolo Nátrico, avaliando a alteração destes minerais sob condições do semiárido, no estado do Ceará, e concluíram que os tipos de argila (vermiculita, caulinita e montmorillonita) que compõem este solo estão sujeitos à transformação progressiva em complexos argilominerais mais persistentes de esmectitas, ricos em bases e silício, indicando o pequeno grau de intemperismo desse solo.

Geralmente, para os solos aluviais com forte restrição de drenagem associado com um clima semi-árido, vários autores constataram a predominância de certos minerais que são capazes de favorecer a salinização e a sodificação dos solos. Magalhães e Magalhães (2013) afirmam que os elevados teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} encontrados em Neossolo Flúvico devem-se à predominância de alguns minerais primários como o quartzo, a albita e a anortita. Diversos estudos mostraram que, na mineralogia das frações areia e silte, o produto de decomposição de vários minerais primários como albita, plagioclásios sódicos, mica, feldspatos potássicos e magnésicos, são fontes de quantidade elevada de sais, podendo contribuir para promover a salinidade e a sodicidade dos solos (De OLIVEIRA et al., 2002).

Na bacia hidrográfica do Rio Curu, predominam 4 tipos de solos: Planossolos, Neossolos, Luvisolos e Argissolos (FROTA Jr. et al., 2007). Nos Neossolos, com sua textura geralmente arenosa, há maior infiltração de água, promovendo a ascensão da água por capilaridade e/ou sua concentração em profundidade. No caso dos Planossolos e Luvisolos, existe a presença de um horizonte B textural, horizonte que impermeabiliza o solo e reduz o

fluxo de água para as outras camadas, impedindo a infiltração em profundidade e facilitando o escoamento superficial das águas (De ARAÚJO, 2011). Por sua vez, Ferreyra & Silva (1991) estudaram a composição mineralógica da camada superficial (0-20 cm) de solos aluviais do perímetro irrigado de Morada Nova_Ceará, constatando que a fração areia era predominantemente composta por quartzo e apresentava, em menores proporções, micas e traços de outros minerais.

2.2 Efeito do clima sobre a dinâmica ou demanda de água no solo na região do Nordeste

A alta demanda atmosférica de água representa uma grande preocupação em relação ao equilíbrio hídrico do ambiente. Esta demanda é regulada pelos parâmetros climáticos como temperatura, velocidade do vento, chuva, evaporação, insolação e umidade relativa. Esses parâmetros exercem um papel relevante no processo de salinização ou dessalinização do solo. Efetivamente, considerando as condições evaporimétricas, os sais presentes no solo têm tendência de se acumular na superfície e, na ocorrência de um evento pluviométrico significativo, serem carregados por escoamento superficial e subsuperficial (BARROS, 1994; JOECKEL e CLEMENT, 2005), desempenhando então um papel preponderante na dinâmica e na demanda da água no solo, além de exercer efeito de migração dos sais solúveis no perfil do solo.

A região semi-árida do Nordeste brasileiro está sujeita aos efeitos das irregularidades pluviométricas e aos déficits de balanço hídrico durante quase todos os anos. Quando o potencial de evapotranspiração é maior do que as precipitações, o balanço hídrico será negativo, ocorrendo uma redução dos processos químicos que participam do intemperismo do solo, criando então solos pouco desenvolvidos (De ARAÚJO, 2011). Isso ocorre devido ao fato de que os minerais primários e secundários sofrem um processo de degradação química incipiente, onde as reações de hidrólise, hidratação, carbonatação e oxi-redução restringem-se a um curto período de tempo, liberando poucos eletrólitos para a solução do solo (Dos SANTOS et al., 2010).

As principais espécies iônicas presentes no solo são constituídas principalmente de cátions: cálcio, magnésio, sódio e potássio, e ânions: carbonatos, bicarbonatos, cloretos e sulfatos (FERREIRA et al., 2010). Em suas formas precipitadas, essas espécies iônicas formam os principais sais encontrados no solo: cloreto de sódio (NaCl), sulfato de magnésio ($MgSO_4$), sulfato de sódio (Na_2SO_4), cloreto de magnésio ($MgCl_2$) e carbonato de sódio (Na_2CO_3) (MUNNS e TESTER, 2008). Estes sais, uma vez incorporados ao solo, dependendo de suas concentrações e suas proporções, podem se tornar prejudiciais.

2.3 Efeitos da textura do solo sobre a salinidade

A textura do solo influencia fortemente as propriedades hidráulicas (condutividade hidráulica, capacidade de retenção da água), que regem a dinâmica dos sais e da solução do solo ao longo de seu perfil (RAMOS et al., 2011), bem como a recarga das reservas subterrâneas (SIMON et al., 2017).

Em solo com textura homogênea, o processo de evaporação, que provoca a ascensão capilar da água e dos sais nela dissolvidos, aumenta o risco da salinização da rizosfera das plantas (LI et al., 2014). De fato, a ascensão do fluxo capilar depende da textura, do tamanho e da distribuição dos poros do solo (CAMPBELL, 1985). Para uma textura tipo siltosa-arenosa, a velocidade do fluxo capilar será maior, enquanto para uma textura argilosa será menor, devido à presença de poros muito pequenos. Efetivamente, há estudos que mostram que, quando o lençol freático se afasta da superfície do solo, seja de 25 a 50 cm, a velocidade da ascensão capilar está reduzida de 10 a 2,5 mm dia⁻¹ e 10 a 3 mm dia⁻¹ para solo argiloso e solo de textura franca respectivamente. Enquanto que, para solo de textura franco-arenosa, a velocidade da ascensão capilar mantém-se superior a 10 mm dia⁻¹ e está reduzida de 10 a 1 mm dia⁻¹ para solo de textura areia média (KOVDA, 1961; GARDNER, 1959). Anteriormente, um estudo similar realizado por Veihmeyer e Brooks (1954), evidenciaram que quando a profundidade do lençol freático está entre 90 a 115 cm, a taxa de evaporação média anual é muito baixa (entre 100 a 200 mm). Esta informação é considerada muito importante, pois auxilia na avaliação do risco de salinização do horizonte arável do solo por capilaridade. De fato, Saleh e Troeh (1982) definiram o termo “profundidade crítica do lençol freático” como a profundidade limite da água subterrânea, a partir da qual essa água não causaria a salinização do horizonte arável do solo por capilaridade pela ação da evaporação. Rose et al. (2005) explicaram que o fenômeno da evaporação (demanda de água) é maior do que a taxa de fornecimento de água do interior do solo para a superfície, principalmente quando o nível do lençol freático está mais profundo do que a profundidade crítica. A consequência, neste caso, é que a grande maioria dos sais será retida na parte do perfil do solo que não está sofrendo da evaporação, e só uma pequena parte dos sais poderá migrar para as camadas mais superiores (MERRILL et al., 1983; BADV e MAHOOTI, 2005). Assim, vários dados de campo mostraram que um nível do lençol freático inferior a 150 cm, abaixo da superfície do solo, afeta a sua salinidade (SEEBOONRUANG, 2009). Para um solo argiloso, a profundidade do lençol freático de 200 a 250 cm é suficiente para limitar, ao mesmo tempo, a demanda da evaporação e a ascensão capilar da água, já para um solo franco-arenoso fino a

profundidade será de 150 a 200 cm (GARDNER e FIREMAN, 1958). Por outro lado, Rasheed et al. (1989) sugeriram que a profundidade mínima do lençol freático de 150 a 200 cm ou maior, para um solo franco-arenoso, é capaz de limitar a demanda da evaporação. Entretanto, segundo Staley (1957), uma profundidade mínima de 76 cm do lençol freático é suficiente para o solo arenoso fino limitar a demanda da evaporação e a ascensão capilar da água.

2.4 Efeitos da salinidade e da sodicidade em Neossolos Flúvicos

Neossolos Flúvicos, comumente encontrados nos vales aluviais semiáridos, desempenham um papel importante no uso da pequena agricultura (CUNHA et al., 2010), mas também são susceptíveis aos processos de acúmulo de sais, prejudicando o crescimento vegetal.

A textura do Neossolo Flúvico oscila nas diversas camadas, ocorrendo variação no teor de argila em profundidade (12% na superfície, seguido de 10%, 18% e 6% nas demais camadas), sendo consequência da deposição dos sedimentos (SANTOS et al., 2006). Fernandes et al., (2014), que trabalharam com a caracterização físico-química de Neossolos Flúvicos do perímetro irrigado de Cachoeira II - Pernambuco, mostraram que, para os cátions e ânions solúveis, os íons predominantes foram o sódio e o cloreto, seguidos de cálcio, magnésio, potássio, sulfato e bicarbonato. Entretanto, a condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}) das amostras desse tipo solo variou de 0,06 a 44,70 dS m^{-1} , e estas apresentaram percentagem de sódio trocável (PST) na faixa de 0 a 85,23%, com valores superiores ao parâmetro (PST > 15%) descrito por Richards (1954).

Quaisquer que sejam as variantes texturais dos Neossolos Flúvicos, de franco-argilosa-siltosa a franco-arenosa, elas apresentam um elevado risco de salinização e sodificação (PST). Quando estes solos são irrigados com águas de elevados valores de CE e RAS (Relação de Adsorção de Sódio), há comprometimento de seus atributos químicos e físicos, pelo fato desses solos serem naturalmente ricos em argilas expansivas, que facilitam a retenção de água e sais nos horizontes superficiais (WIEDENFELD, 2008; PESSOA, 2009). Associado a isso, valores de CE acima de 0,2 dS/m podem comprometer ainda mais o uso destes solos para fins agrícolas (PESSOA, 2009). Por outro lado, Coelho (1981) confirmam a necessidade de valores mínimos de RAS para águas de irrigação, observando efeitos desestabilizadores que modificam a estrutura de Neossolos Flúvicos quando a RAS é superior a 10.

2.5 Efeitos da salinidade e da sodicidade sobre a estrutura do solo

Existem várias propriedades físicas que são fundamentais nos solos, tais como: estrutura, estabilidade dos agregados, dispersão das partículas, permeabilidade e infiltração, que são influenciadas pelos tipos de cátions trocáveis presentes no solo (SHAINBERG e OSTER, 1978). Quando a concentração de íons salinos na solução do solo é elevada, a agregação das partículas finas torna-se importante, favorecendo a aeração do solo e facilitando a infiltração da água e penetração das raízes (HANSON et al., 1999). Graças ao poder de floculação dos elementos, como cálcio e magnésio, estes são capazes de aumentar a estabilidade dos agregados, melhorando a estrutura do solo e sua capacidade de infiltração (DIAS e BLANCO, 2010). Segundo Rengasamy e Olsson (1991), a valência e o grau da ligação iônica dos sais desempenham um papel vital nos fenômenos de dispersão e floculação das partículas do solo. De fato, Rengasamy e Sumner (1998) e Sposito (2008) trabalharam com os poderes de floculação e dispersão do cálcio, magnésio, potássio e sódio, e verificaram que existe uma relação inversa entre esses dois fenômenos, onde o cálcio tem um poder de floculação 45, 25 e 1,8 vezes maior que o sódio, o potássio e o magnésio, respectivamente.

A predominância de cátions monovalentes, especialmente o sódio, torna o solo adensado e compacto sob condições secas, e disperso e pegajoso em condições de umidade (DIAS e BLANCO, 2010). O excesso de íons sódio na solução do solo promove um aumento na espessura da dupla camada difusa, ampliando a expansão das partículas de argila (FASSBENDER e BORNEMISZA, 1987) e provocando uma ruptura da ligação destas, causando dispersão e migração das partículas finas, que interferem nos poros condutores do solo e dificultam o movimento de ar e de água (SHAINBERG e LETEY, 1984). Esse rompimento de agregados do solo é indesejável, visto que causa grande impacto ambiental por também liberar, de forma excessiva, nutrientes e biocidas utilizados na agricultura (MOURA FILHO e BUOL, 1976).

Geralmente, essas alterações na estrutura dos solos ocorrem quando a PST é superior a 15% (RICHARDS, 1954), e esse valor pode variar em função da qualidade da água de irrigação, do tipo de mineral de argila predominante, e do grau de salinidade do solo (RIBEIRO et al., 2009). Quanto maior a concentração de sódio em relação aos outros íons salinos no solo, maior será a dispersão das argilas e mais elevada será a viscosidade da água. Esses dois fatores contribuem infinitamente para a redução da condutividade hidráulica e permeabilidade do solo (PAES et al., 2013), e, conseqüentemente, da taxa de infiltração de água no solo.

A relação de adsorção do sódio com outros íons salinos do complexo sortivo é dada pela RAS, utilizada para determinar a quantidade relativa de sódio que pode estar adsorvida pelo solo e, conseqüentemente, reduzindo sua taxa de infiltração (PHOCAIDES e FAO, 2007). Segundo Ayers e Westcott (1985), a taxa de infiltração do solo é muito sensível à evolução do valor da RAS e à concentração da salinidade da água de irrigação aplicada, podendo modificar as propriedades físico-hídricas dos solos.

2.6 Efeito da irrigação sobre a salinização do solo

A irrigação apresenta-se como um importante fator que contribui para melhorar a produtividade, permitindo uma produção programada, reduzindo as incertezas climáticas e diversificando a produção. No entanto, quando se excede o limite de suporte do meio ambiente, isto leva à degradação dos solos, em decorrência da adoção de técnicas inadequadas de exploração dos recursos naturais (PEDROTTI et al., 2015).

Nas regiões de climas áridos e/ou semiáridos, mais especificamente na região Nordeste do Brasil, a salinização tem sido apontada como a principal causa da degradação dos solos. Segundo Silva et al. (2011), nesta região há grandes áreas com solos salinizados, devido à natureza física e química dos solos, ao déficit hídrico e à elevada taxa de evaporação, com maior incidência do problema nas terras mais intensamente cultivadas com o uso da irrigação. Atualmente, estima-se que 20 a 25 % das áreas irrigadas no Nordeste já são atingidas pela salinização (OLIVEIRA e GOMES-FILHO, 2010).

A salinização induzida pela irrigação é causada por sais dissolvidos trazidos pela água proveniente de diversas fontes hídricas. Os sais introduzidos por irrigação são armazenados na zona radicular, devido à lixiviação insuficiente (RENGASAMY, 2016), que além de contribuir diretamente para o aumento da concentração salina no solo, pode provocar, em virtude do manejo inadequado da irrigação (ausência de drenagem ou super-irrigação), a elevação dos sais à superfície por ascensão do lençol freático, envolvendo em ambos, o excesso de água e, geralmente, evapotranspiração elevada (RIBEIRO, 2016).

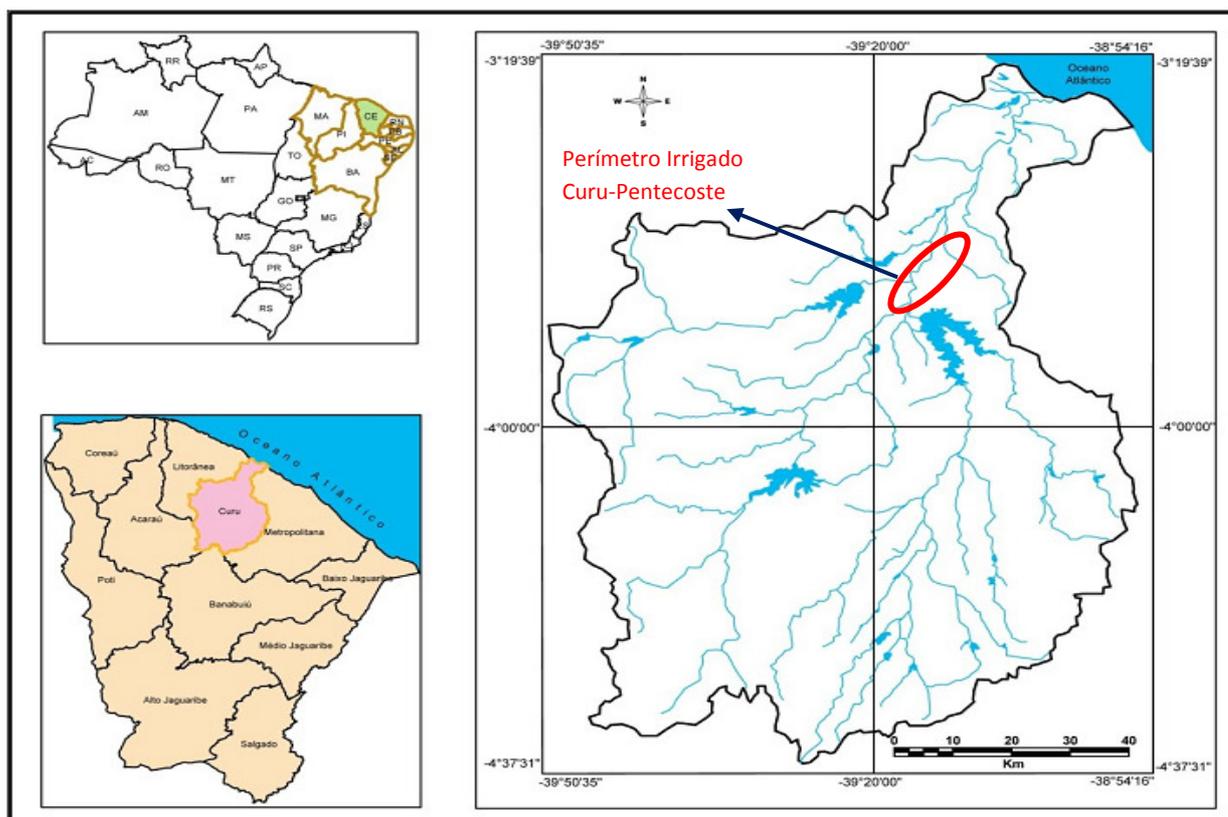
No Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste, apesar de se utilizar o sistema de irrigação por sulcos com água oriunda de fonte superficial, há a alternativa de fonte de água subterrânea proveniente de poços rasos (SILVEIRA, 2014). O autor também observou que a composição iônica dos diferentes poços é a seguinte: $Cl^- > HCO_3^- > Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização dos solos estudados

Os solos estudados pertencem a Fazenda Experimental da Universidade Federal do Ceará, localizado na bacia do Rio Curu (Figura 1). A região onde se localiza a fazenda apresenta clima semiárido, segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 26,8 °C. De acordo com dados históricos pluviométricos (2008-2017) da Estação Agrometeorológica da Fazenda Experimental, a precipitação média anual é de 720 mm, concentrada entre fevereiro e maio, e com uma evaporação média anual de 2288 mm (Anexo 1).

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Curu e da Fazenda Experimental, no estado do Ceará

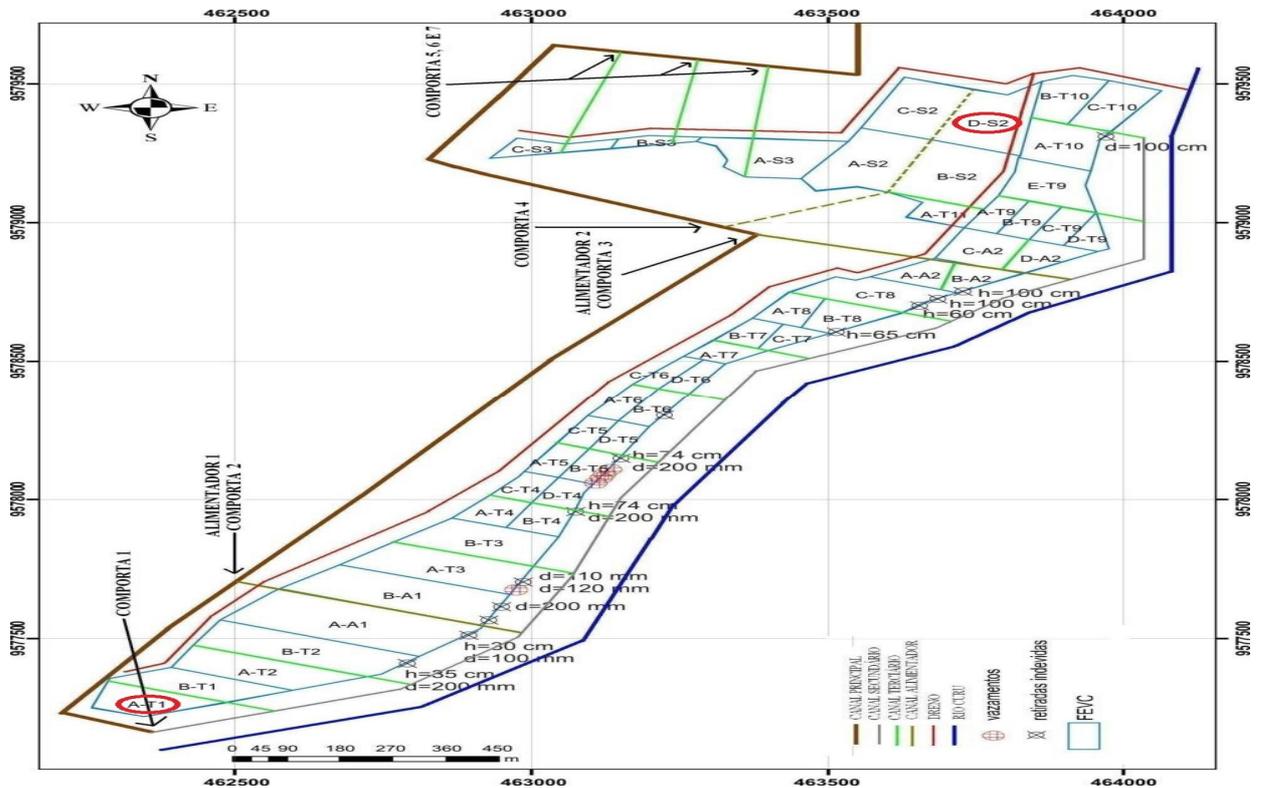


Fonte: Souza, 2012

O Rio Curu, o principal da Bacia do Vale do Curu, nasce nas regiões montanhosas localizadas no centro-norte do estado do Ceará, percorrendo 195 km de extensão, desde a nascente até a sua foz. Possui 8.605 km² de área (GORAYEB et al., 2005), representando aproximadamente 6% do território cearense (INESP, 2009) e abastece 15 municípios: Itaitira, Canindé, Caridade, Paramoti, General Sampaio, Tejuçuoca, Apuiarés, Pentecoste, Itapajé, Irauçuba, Umirim, São Luís do Curu, São Gonçalo do Amarante, Paraipaba e Paracuru (GORAYEB et al., 2005).

A Fazenda Experimental Vale do Curu (FEVC) foi adquirida em 1961 com recursos da Universidade Federal do Ceará (UFC) e está situada no município de Pentecoste, a 120 km de Fortaleza (CCA, 2017). Apresenta uma altitude média de 47 m acima do nível do mar entre os paralelos 3°45' e 3°50' de latitude Sul, e os meridianos 39°15' e 39°30' de longitude Oeste (PEREIRA et al., 2012). Sua área é de 823 ha, dos quais cerca de 100 ha são irrigados (CCA, 2017). O sistema de irrigação utilizado é 100% por superfície em sulcos (gravidade) (DNOCS, 2011). O plano sistematizado da fazenda é dividido em 46 áreas irrigadas (Figura 2), das quais duas foram selecionadas para a realização deste estudo, as áreas A-T1 e D-S2, por apresentarem contrastes em relação à textura, à profundidade do lençol freático e ao grau de salinidade.

Figura 2 - Mapa do plano sistematizado da Fazenda Experimental da UFC, Pentecoste-CE



Fonte: UFC/DENA

3.2 Descrição das áreas de estudo

A área A-T1 possui uma superfície de 3.840 m² apresentando relevo tipicamente plano. Segundo a classificação brasileira, o solo foi classificado como Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (NFET), apresentando em seus horizontes uma densidade média de 1,59 g/cm³; a sua composição granulométrica varia de 53 a 78% de areia; 8,7 a 17,66% de silte e 13 a 30% de argila; o pH varia entre 7 e 7,43; os valores da CTC variaram entre 5,7 e 10,07 cmol_c/kg de solo e o teor de matéria orgânica de 4,3 a 11,75 g/kg de solo (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização físico-química do perfil do Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (NFET)

| Atributos do solo | Horizontes | | | | |
|---|-----------------|------------------|------------------|-------------------|-----------------|
| | AP (0-15 cm) | C1 (15-50 cm) | C2 (50-85 cm) | C3 (85-115 cm) | C4 (115+ cm) |
| pH em água (1:2,5) | 7,04 | 7,58 | 8,28 | 7,82 | 7,43 |
| MO (g/kg) | 11,75 | 6,80 | 3,87 | 4,30 | 6,05 |
| P assimilável (mg/kg) | 16,05 | 16,90 | 17,70 | 11,36 | 12,56 |
| Ca ²⁺ (cmol _c /kg) | 3,00 | 2,63 | 3,33 | 4,63 | 4,50 |
| Mg ²⁺ (cmol _c /kg) | 2,17 | 1,87 | 2,80 | 4,67 | 4,90 |
| Na ⁺ (cmol _c /kg) | 0,11 | 0,11 | 0,39 | 0,57 | 0,50 |
| K ⁺ (cmol _c /kg) | 0,35 | 0,11 | 0,11 | 0,13 | 0,13 |
| H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c /kg) | 0,06 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 |
| SB (cmol _c /kg) | 5,63 | 4,72 | 6,64 | 10,00 | 10,02 |
| CTC (cmol _c /kg) | 5,69 | 4,75 | 6,67 | 10,04 | 10,07 |
| PST (%) | 1,89 | 2,37 | 5,88 | 5,68 | 4,78 |
| CE _{es} (dS/m) | 0,59 | 0,48 | 0,63 | 0,94 | 1,11 |
| U _s (%) | 41,92 | 37,36 | 26,77 | 40,66 | 49,43 |
| Argila (%) | 10,50 | 8,76 | 13,40 | 17,40 | 17,66 |
| Silte (%) | 13,30 | 13,40 | 17,00 | 27,50 | 29,30 |
| Areia (%) | 76,20 | 77,90 | 69,70 | 55,10 | 53,05 |
| Classe textural | Franco-arenosa | | | | |
| Cond. Hidr. (cm/dia) | 78,91 | 17,56 | 11,24 | 6,60 | 2,47 |
| Densidade do solo (g/cm ³) | 1,37 | 1,61 | 1,72 | 1,64 | 1,59 |

M.O: Matéria orgânica; H⁺ + Al³⁺: Acidez potencial; CTC: Capacidade de Troca Catiônica; PST: Percentagem de Sódio Trocável; CE_{es}: Condutividade elétrica extrato de saturação; U_s: Umidade de saturação; Cond. Hidr.: Condutividade hidráulica; SB: Soma de bases (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺).

A área DS-2 apresenta uma superfície de 15.600 m² com relevo plano. Segundo a classificação brasileira, o solo é classificado como Neossolo Flúvico Sódico Típico (NFST), com textura argilo-siltosa em seus horizontes, com teores que variaram de 29 a 36,6%, 46 a 47,7% e 17 a 25 % para argila, silte e areia, respectivamente. Os valores de pH variaram entre 7,8 e 8,6, aumentando com a profundidade. A CTC do perfil do solo variou de 19,95 a 22,07 cmol_c/kg, aumentando com a profundidade, enquanto que o teor da matéria orgânica variou entre 5,50 e 26 g/kg de solo, diminuindo com a profundidade (Tabela 2).

Tabela 2 - Caracterização físico-química do perfil do Neossolo Flúvico Sódico Típico (NFST)

| Atributos do solo | Horizontes | | | |
|---|-----------------|------------------|-----------------|----------------|
| | AP (0-18 cm) | C1 (18-45 cm) | C2 (45-85cm) | C3 (85+ cm) |
| pH em água (1:2,5) | 7,84 | 8,35 | 8,53 | 8,57 |
| MO (g/kg) | 26,00 | 11,19 | 8,27 | 5,52 |
| P assimilável (mg/kg) | 9,80 | 5,70 | 14,50 | 30,34 |
| Ca ²⁺ (cmol _c /kg) | 11,10 | 9,27 | 8,37 | 8,47 |
| Mg ²⁺ (cmol _c /kg) | 7,15 | 7,30 | 7,37 | 8,33 |
| Na ⁺ (cmol _c /kg) | 1,41 | 2,74 | 5,04 | 5,08 |
| K ⁺ (cmol _c /kg) | 0,26 | 0,11 | 0,11 | 0,12 |
| H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c /kg) | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,00 |
| SB (cmol _c /kg) | 19,92 | 19,41 | 20,89 | 22,01 |
| CTC (cmol _c /kg) | 19,95 | 19,42 | 20,90 | 22,01 |
| PST (%) | 7,07 | 14,10 | 24,12 | 23,10 |
| CE _{es} (dS/m) | 1,44 | 2,68 | 4,06 | 3,94 |
| U _s (%) | 61,67 | 55,63 | 55,43 | 65,40 |
| Argila (%) | 29,07 | 30,96 | 35,27 | 36,60 |
| Silte (%) | 46,04 | 46,89 | 47,75 | 46,40 |
| Areia (%) | 24,89 | 22,15 | 16,98 | 17,00 |
| Classe textural | Argilo-siltosa | | | |
| Cond. Hidr. (cm/dia) | 47,51 | 19,51 | 4,06 | 3,62 |
| Densidade do solo (g/cm ³) | 1,34 | 1,59 | 1,63 | 1,59 |

M.O: Matéria orgânica; H⁺ + Al³⁺: Acidez potencial; CTC: Capacidade de Troca Catiônica; PST: Percentagem de Sódio Trocável; CE_{es}: Condutividade elétrica extrato de saturação; U_s: Umidade de saturação; Cond. Hidr.: Condutividade hidráulica; SB: Soma de bases (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺).

3.3 Amostragem de solo e preparo de extrato 1:1

No início do experimento nos dois solos selecionados, foi aberta uma trincheira para identificar os horizontes do perfil e coletar amostras deformadas para caracterização físico-química e, indeformadas para avaliar a condutividade hidráulica. As amostras foram colocadas em sacos plásticos, identificadas e transportadas ao Laboratório de Química do Solo do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, para posteriores análises.

Em cada um dos solos foram selecionadas cinco subzonas de 12,5 m² para as coletas de amostras e no centro foi instalado um tubo de PVC de 2,5 m de comprimento (2 m dentro do solo e 0,5 m acima da superfície) e 10 cm de diâmetro para monitoramento do lençol freático. Cada ponto foi georreferenciado pelo sistema GPS. Dentro de cada área circular foram coletadas amostras compostas constituídas de quatro subamostras em cada uma das profundidades: 0 - 5 cm; 5 - 15 cm; 15 - 25 cm; 25 - 40 cm e 40 - 60 cm, com ajuda de um trado holandês de aço inox. Também foram realizadas seis coletas, três no período úmido (janeiro, março e maio) e três no período seco (julho, setembro, novembro), com cinco repetições (áreas circulares).

A coleta de água nos pontos de observação do lençol freático foi realizada utilizando um recipiente tipo *pet*, acoplado a uma corda. Igualmente, foi coletada água da chuva para fins de comparação. As garrafas foram identificadas e armazenadas em isopor, e transportadas para o Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, para posteriores análises nos Laboratórios de Química e Física do Solo.

3.4 Análises químicas

Foram preparados extratos solo:água 1:1 nas amostras, que após homogeneização e repouso por 4 horas, foram separados por centrifugação a 10000 rpm/min durante 15 minutos, seguido de filtração. Nos extratos, assim obtidos, seguindo a metodologia da EMBRAPA (2011), foram determinados:

O pH, a condutividade elétrica: (CE_{1:1} e CE_{es}), os cátions (Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺) e os ânions solúveis (Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃³⁻, CO₃²⁻) e calculada a relação de adsorção de sódio (RAS).

A relação adsorção de sódio foi determinada segundo a fórmula 1:

$$RAS = \frac{Na^+}{\left(\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}\right)^{0,5}} \quad (1)$$

O pH foi determinado em água destilada, 1:2,5 com potenciômetro de bancada.

Uma análise completa foi realizada para determinar a capacidade de troca catiônica (CTC) e a porcentagem de sódio trocável (PST).

A capacidade de troca catiônica (CTC) foi determinada de maneira indireta pela soma de bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), extraídas a partir de uma solução extratora de acetato de amônio de 1 mol L^{-1} e $pH=7,0$.

Os teores em Ca^{2+} e Mg^{2+} foram determinados por titulação, enquanto potássio e sódio foram determinados por fotometria de chama.

O H^+ e Al^{3+} trocáveis foram extraídos com uma solução de acetato de cálcio (1 mol L^{-1} , $pH=7,0$) e determinados por titulometria em solução de $NaOH$ $0,0606 \text{ mol L}^{-1}$, em presença de fenolftaleína 3% como indicador.

A porcentagem de sódio trocável (PST) foi determinada a partir da fórmula 2:

$$PST (\%) = \frac{Na^+ \text{ trocável}}{CTC} \times 100 \quad (2)$$

O P disponível foi determinado por fotocolorimetria após extração utilizando solução Mehlich-1 (HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ + H_2SO_4 $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$).

O carbono orgânico foi determinado por oxidação com dicromato de potássio em meio sulfúrico, sendo a matéria orgânica estimada pelo fator 1,724.

3.5 Análises físicas

A umidade de saturação foi determinada pelo método gravimétrico (GARDNER, 1986), dividindo o peso da água na amostra do solo pelo seu peso seco.

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (BLAKE e HARTGE, 1986), onde a coleta foi realizada em todas as camadas a serem caracterizadas, usando uma amostradora cilíndrica, pressionando-a no solo. Depois, foi cuidadosamente removida para preservar o volume da amostra. Depois de trazidas para o laboratório, as amostras foram secas em estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 48 horas. Posteriormente, foram pesadas e a densidade foi determinada, dividindo o peso seco das amostras pelo seu volume.

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (GEE e BAUDER, 1986), com dispersão de 20 g de TFSA por NaOH (1 mol L⁻¹). As areias foram separadas em peneira de 0,053 mm diâmetro de malha, com ajuda de um jato de água. As frações silte e argila foram separadas por sedimentação, conforme a Lei de Stokes.

A condutividade hidráulica do solo sob condição saturada foi determinada em amostras indeformadas de acordo com Amaro Filho et al. (2008).

3.6 Análise estatística

Os resultados das variáveis estudadas (com cinco repetições por amostra) foram analisados por estatística descritiva (média, mediana, valores máximos e mínimos, desvio padrão, coeficiente de variação), e foi usada para avaliar a normalidade dos dados originais. Valores superiores de p a 0,05, segundo o teste de Shapiro-Wilk, foram usados para admitir que o conjunto de dados apresentam uma distribuição normal.

Diferenças estatísticas significativas entre as variáveis químicas do solo, referentes aos diferentes períodos do ano, foram analisadas utilizando análise de variância univariável (ANOVA). As variáveis estudadas foram submetidas à análise da variância pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para comparação das médias a fim de determinar as diferenças significativas entre os períodos e entre as camadas.

Adicionalmente, o coeficiente de correlação de Pearson, em nível de 5% de probabilidade, foi determinado entre as variáveis independentes (camadas e período de coleta) e as variáveis dependentes (atributos químicos) ligadas ao solo, além da inter-relação das variáveis, tanto para o período seco quanto para o chuvoso.

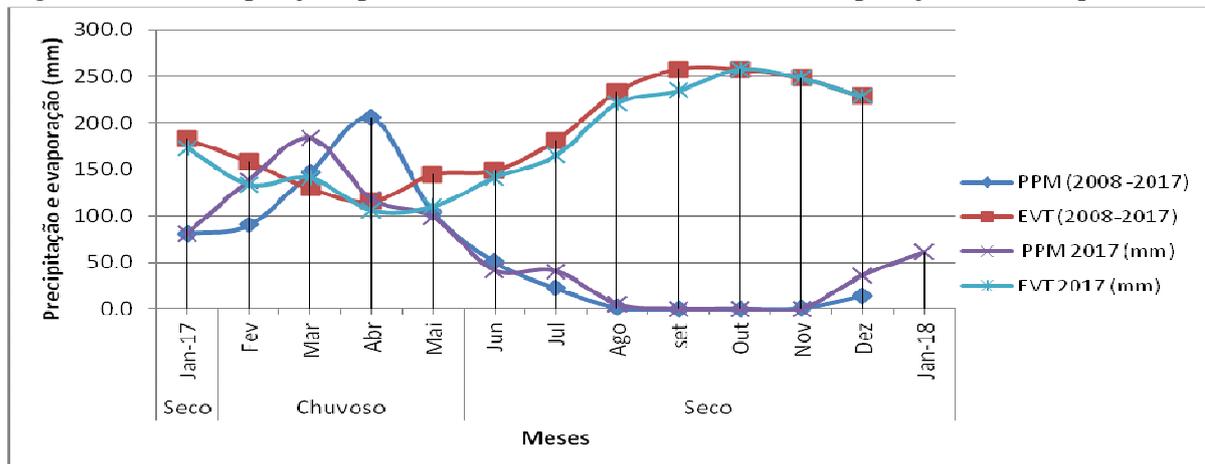
Para a construção do banco de dados foram utilizados o *software* Microsoft Office Excel® (2010), as análises estatísticas pelo *software* R 2.15.1 e a elaboração dos gráficos pelo *software* Sigmaplot 12.5.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Comportamento das variáveis estudadas nos períodos úmido e seco

Na figura 3 podem ser observadas as variações pluviométricas da região onde se encontram os solos estudados. Dois períodos característicos da região foram observados; um úmido de quatro meses (fevereiro, março, abril e maio) e um seco de oito meses (de junho a janeiro), onde a evaporação é superior à precipitação. A precipitação anual de 2017 foi de 745,1 mm, ligeiramente superior à média de precipitação de 2008 a 2017 (719,3 mm) (Anexo 1); entretanto, este é considerado como ano de seca, porque a média dos últimos 10 anos está grandemente influenciada pela baixa precipitação anual verificada durante 6 anos, considerados como “ano de seca”.

Figura 3 - Precipitação pluviométrica mensal (PPM) e evaporação do tanque (EVT)



Fonte: DENA/ Meteorologia e Climatologia Agrícola, 2018.

A estatística descritiva das variáveis no extrato 1:1, sem distinção das camadas, para período seco e úmido são apresentadas nas tabelas 3 e 4 para o Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (NFET) e Neossolo Flúvico Sódico Típico (NFST), respectivamente. Analisando de forma geral esses resultados, observa-se que todas as variáveis do NFST (Tabela 4) foram superiores às do NFET (Tabela 3), com exceção do potássio. Observa-se também que nos dois solos o pH foi o que apresentou o menor CV (entre 5,52 e 9,52%) e todos os outros atributos avaliados apresentam valores considerados altos (entre 32 e 184%), seja qual for o período. O teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) evidenciou que os dados coletados dentro um mesmo período (seco ou chuvoso) não apresentaram distribuição normal a 5% de probabilidade (Anexo 2 e 3) para a maioria das variáveis. Essas dispersões assimétricas são explicadas pelo fato de que mais de 50% dos valores observados das variáveis estudadas estão abaixo da média pela influência de suas altas concentrações na camada superficial (0-5 cm).

Tabela 3 - Média, Mediana, Coeficiente de variação (CV), Desvio padrão (DP), valores Mínimo (Min.) e Máximo (Max.), das variáveis estudadas no extrato 1:1 - Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (área AT-1) - em período chuvoso e seco sem distinção de camadas

| Período | (n= 15) | Variáveis | | | | | | | | | |
|---------|---------|-------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| | | CE _{1:1} | pH | (mmol/L) | | | | | | | RAS |
| | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Cl ⁻ | S- SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | | | |
| Chuvoso | Min. | 0,15 | 5,92 | 0,13 | 0,31 | 0,18 | 0,09 | 0,50 | 0,10 | 0,50 | 0,15 |
| | Max. | 0,83 | 8,09 | 1,96 | 2,94 | 1,60 | 2,34 | 3,27 | 1,17 | 1,94 | 2,60 |
| | Média | 0,26 | 6,90 | 0,44 | 0,90 | 0,66 | 0,31 | 0,89 | 0,56 | 0,85 | 1,05 |
| | Mediana | 0,19 | 6,87 | 0,29 | 0,53 | 0,58 | 0,12 | 0,70 | 0,55 | 0,70 | 0,93 |
| | DP | 0,18 | 0,67 | 0,47 | 0,83 | 0,35 | 0,57 | 0,68 | 0,29 | 0,41 | 0,70 |
| | CV (%) | 68,34 | 9,65 | 106,78 | 92,70 | 53,90 | 184,39 | 76,60 | 52,17 | 48,15 | 66,28 |
| Seco | Min. | 0,12 | 6,26 | 0,12 | 0,23 | 0,25 | 0,07 | 0,35 | 0,09 | 0,42 | 0,20 |
| | Max. | 0,89 | 7,80 | 2,50 | 3,30 | 1,15 | 2,00 | 4,27 | 1,81 | 2,56 | 2,02 |
| | Média | 0,27 | 7,04 | 0,55 | 1,09 | 0,59 | 0,39 | 1,00 | 0,53 | 1,03 | 0,90 |
| | Mediana | 0,16 | 7,04 | 0,21 | 0,61 | 0,56 | 0,13 | 0,54 | 0,34 | 0,67 | 0,78 |
| | DP | 0,24 | 0,47 | 0,74 | 1,03 | 0,22 | 0,61 | 1,18 | 0,47 | 0,67 | 0,56 |
| | CV (%) | 90,70 | 6,64 | 134,23 | 94,57 | 37,50 | 157,64 | 117,90 | 88,73 | 65,12 | 62,41 |

Tabela 4 - Média, Mediana, Coeficiente de variação (CV), Desvio padrão (DP), valores Mínimo (Min.) e Máximo (Max.), das variáveis estudadas no extrato 1:1 - Neossolo Flúvico Sódico Típico (área DS-2) - em período chuvoso e seco sem distinção de camadas

| Período | (n= 15) | Variáveis | | | | | | | | | |
|---------|---------|-------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| | | CE _{1:1} | pH | (mmol/L) | | | | | | | RAS |
| | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Cl ⁻ | S- SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | | | |
| Chuvoso | Min. | 0,51 | 6,86 | 0,46 | 0,65 | 2,58 | 0,05 | 1,30 | 0,50 | 0,87 | 1,53 |
| | Max. | 1,33 | 8,59 | 4,31 | 4,77 | 8,78 | 0,50 | 6,42 | 3,60 | 2,99 | 8,26 |
| | Média | 0,79 | 7,69 | 1,08 | 1,59 | 4,20 | 0,13 | 3,48 | 1,99 | 1,57 | 4,04 |
| | Mediana | 0,67 | 7,64 | 0,88 | 1,22 | 3,53 | 0,08 | 2,74 | 2,48 | 1,47 | 3,83 |
| | DP | 0,26 | 0,56 | 0,94 | 1,03 | 1,70 | 0,13 | 1,56 | 1,02 | 0,70 | 1,86 |
| | CV (%) | 32,80 | 7,29 | 87,02 | 64,35 | 40,52 | 95,13 | 44,86 | 51,19 | 44,65 | 46,11 |
| Seco | Min. | 0,45 | 6,64 | 0,31 | 0,55 | 2,82 | 0,05 | 1,52 | 0,12 | 0,94 | 1,93 |
| | Max. | 1,43 | 8,16 | 4,63 | 5,47 | 7,18 | 0,65 | 7,28 | 3,45 | 4,26 | 8,99 |
| | Média | 0,84 | 7,43 | 1,16 | 1,69 | 4,38 | 0,17 | 3,92 | 1,77 | 1,81 | 4,45 |
| | Mediana | 0,82 | 7,35 | 0,78 | 1,33 | 4,14 | 0,13 | 3,93 | 1,64 | 1,59 | 3,69 |
| | DP | 0,26 | 0,41 | 1,14 | 1,29 | 1,41 | 0,16 | 1,66 | 1,09 | 1,00 | 2,30 |
| | CV (%) | 30,85 | 5,52 | 98,50 | 76,40 | 32,28 | 92,32 | 42,37 | 61,41 | 55,11 | 51,75 |

No entanto, foram observadas exceções para o sulfato, o sódio, a RAS e o pH no NFET e para o sódio, o sulfato, o cloreto, a RAS e o pH no NFST, que apresentaram uma distribuição normal nos dois períodos de coleta, conforme indicado pelos valores críticos acima do limite do teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) (Anexo 2 e 3).

Comparando as variáveis dentro cada camada, sem distinguir os períodos seco e úmido, verificou-se que as mesmas seguiram uma distribuição normal, apresentando valores próximos nas médias e nas medianas, indicando uma distribuição simétrica, mas o coeficiente de variação apresenta valores muito dispersos (entre 5,45 e 81,19%) (Tabelas 5 e 6). De forma similar, no perfil dos dois solos o menor CV foi apresentado pelo pH (entre 5,45 e 6,96%) considerado como baixo (<12%), enquanto que a maioria das variáveis apresentaram valores médios de CV (entre 12 e 62%) e apenas para o potássio, sulfato e cloreto em algumas camadas nos dois solos o CV foi alto (>62%) segundo a classificação de Warrick e Nielsen (1980).

Com exceção do potássio, o NFST apresentou maiores valores nas variáveis estudadas em relação ao solo NFET com teores de cálcio, magnésio, cloreto, sulfato e bicarbonato 2 a 3 vezes superiores, enquanto que o sódio é 6 a 10 vezes superior, o que pode ser atribuído à maior CTC e salinidade do NFST. Contrariamente, o potássio solúvel no NFET foi superior ao do NFST, provavelmente por causa da competição entre íons de sódio e potássio pelo sítio de troca no complexo coloidal, no qual pode ter ocorrido o princípio de ação de massa, devido à maior quantidade de sódio do que de potássio na solução do solo. Por outro lado, os valores de pH abaixo de 8,5 no solo NFST sugerem que o mesmo é um solo sódico em processo de degradação (RIBEIRO, 2016).

O sódio apresentou valores de coeficiente de variação entre 15 e 30% para as duas áreas (Tabelas 5 e 6), atribuindo caráter homogêneo aos dois solos, o que representa uma boa distribuição da concentração deste elemento no perfil do solo. Porém, na primeira camada do NFET, o CV apresenta-se maior que 46% (Tabela 5), o que demonstra sua melhor mobilidade em área de textura mais arenosa, sendo facilitada pelos fatores climáticos (chuvas e evaporação). Observando-se valores médios do sódio no perfil nas duas áreas, há um aumento gradual da concentração com a profundidade, variando de 0,38 a 1,05 mmol/L no NFET (Tabela 5), e de 3,22 a 6,44 mmol/L no NFST (Tabela 6) devido a sua textura mais argilosa.

Os valores da condutividade elétrica para as duas áreas apresentam um coeficiente de variação maior nas suas primeiras camadas (0-5 cm), com valores acima de 35% e um desvio padrão superior às outras camadas, sendo 0,34 a 0,89 dS/m para no NFET (Tabela 5) e 0,62 a 1,43 dS/m para no NFST (Tabela 6). Essas diferenças de valores mostram que a parte

superficial do solo sofre os efeitos dos fatores climáticos, principalmente pela evaporação ao longo do tempo de coleta. Esse fenômeno favorece a acumulação de sais solúveis, contribuindo assim para o aumento da condutividade elétrica. A partir da segunda camada no NFST, se observa uma elevação gradual da $CE_{1:1}$ com a profundidade. Por outro lado, no NFET, observa-se uma redução da $CE_{1:1}$ à medida que se entra nas camadas mais profundas até a 40 cm, de 0,60 a 0,14 dS/m (Tabela 5). No entanto, além de 40 cm de profundidade, observa-se um ligeiro aumento da $CE_{1:1}$ até 0,19 dS/m. A diminuição progressiva da $CE_{1:1}$ ocorre devido à uma textura mais arenosa dos 40 primeiros centímetros do perfil desse solo, oferecendo uma maior condutividade hidráulica e facilitando o movimento dos cátions e ânions.

Assim, pode-se afirmar que, para um mesmo valor do CV encontrado nas duas áreas para qualquer elemento considerado, a consequência sobre a variação da concentração em sais solúveis na solução do solo vai ser mais importante no NFST do que no NFET, devido ao seu caráter mais sódico.

Considerando cada camada, o teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) evidenciou que os dados apresentaram distribuição normal (Anexos 4 e 5) a 5% de probabilidade durante os diferentes períodos de coleta. Isso é decorrente do comportamento uniforme de cada variável analisada dentro de sua camada ao longo do período da coleta.

No entanto, algumas exceções foram observadas, principalmente no NFET, onde o cálcio na camada 2 e o bicarbonato na camada 5 não seguiram uma distribuição normal, em que a maioria dos valores observados ficaram abaixo da média (Tabela 5). Do mesmo modo, no NFST (Tabela 6), o cálcio na camada 5-15 cm apresentou uma distribuição assimétrica porque a maioria de seus valores observados também ficou abaixo da média. O potássio nas camadas 5-15 e 15-25 cm mostrou um valor crítico abaixo do limite do teste ($p > 0,05$) (anexo 4), devido a esse elemento apresentar concentração constante nestas camadas e não haver nenhuma mudança importante ao longo do período da coleta.

Assim, considerando cada camada separadamente, a normalidade da distribuição de cada sal foi dentro do limite do teste. Porém, quando a normalidade da distribuição foi analisada no perfil do solo sem considerar as camadas, observa-se uma heterogeneidade para a maioria dos elementos estudados. Essas características heterogêneas desses solos são devidas principalmente ao processo de formação, que ocorre pela acumulação e distribuição desuniformes de sucessivos depósitos de materiais provenientes de outros locais.

Tabela 5 - Média, Mediana (Med.), Coeficiente de variação (CV), Desvio padrão (DP), valores Mínimo (Min.) e Máximo (Max.) das variáveis estudadas no extrato 1:1 - Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (área AT-1) - em cinco profundidades

| Camadas (cm) | (n=6) | Variáveis | | | | | | | | | |
|-----------------|---------|-------------------|------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------------|-------|
| | | CE _{1:1} | pH | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Cl ⁻ | S-SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | RAS |
| 0-5 | Média | 0,60 | 6,38 | 1,44 | 2,71 | 0,38 | 1,17 | 2,29 | 0,56 | 1,89 | 0,25 |
| | Med. | 0,59 | 6,33 | 1,40 | 2,65 | 0,37 | 1,05 | 2,27 | 0,58 | 1,89 | 0,26 |
| | C.V (%) | 41,39 | 6,32 | 57,78 | 19,41 | 46,19 | 81,59 | 67,00 | 52,22 | 24,61 | 31,67 |
| | DP | 0,25 | 0,40 | 0,83 | 0,52 | 0,18 | 0,96 | 1,53 | 0,29 | 0,46 | 0,08 |
| | Min. | 0,34 | 5,92 | 0,63 | 2,08 | 0,18 | 0,27 | 0,73 | 0,10 | 1,35 | 0,15 |
| | Max. | 0,89 | 7,02 | 2,50 | 3,30 | 0,58 | 2,34 | 4,27 | 1,02 | 2,56 | 0,34 |
| 5-15 | Média | 0,21 | 6,70 | 0,44 | 0,77 | 0,45 | 0,25 | 0,69 | 0,41 | 0,85 | 0,61 |
| | Med. | 0,18 | 6,72 | 0,37 | 0,74 | 0,42 | 0,23 | 0,70 | 0,32 | 0,75 | 0,56 |
| | C.V (%) | 29,46 | 6,92 | 45,86 | 36,42 | 17,66 | 30,85 | 25,64 | 60,67 | 29,80 | 31,54 |
| | D.P | 0,06 | 0,46 | 0,20 | 0,28 | 0,08 | 0,08 | 0,18 | 0,25 | 0,25 | 0,19 |
| | Min. | 0,16 | 6,17 | 0,31 | 0,48 | 0,38 | 0,16 | 0,48 | 0,17 | 0,66 | 0,40 |
| | Max | 0,32 | 7,32 | 0,84 | 1,13 | 0,58 | 0,38 | 1,00 | 0,86 | 1,31 | 0,90 |
| 15-25 | Média | 0,15 | 7,05 | 0,22 | 0,60 | 0,52 | 0,12 | 0,53 | 0,39 | 0,64 | 0,84 |
| | Med. | 0,15 | 6,94 | 0,21 | 0,52 | 0,54 | 0,12 | 0,54 | 0,38 | 0,61 | 0,91 |
| | C.V (%) | 7,90 | 6,47 | 26,27 | 36,31 | 15,41 | 14,20 | 7,82 | 70,28 | 25,65 | 26,67 |
| | D.P | 0,01 | 0,45 | 0,06 | 0,22 | 0,08 | 0,02 | 0,04 | 0,27 | 0,16 | 0,22 |
| | Min. | 0,14 | 6,54 | 0,17 | 0,41 | 0,41 | 0,10 | 0,48 | 0,10 | 0,50 | 0,56 |
| | Max. | 0,17 | 7,77 | 0,34 | 0,90 | 0,60 | 0,15 | 0,60 | 0,77 | 0,95 | 1,12 |
| 25-40 | Média | 0,15 | 7,28 | 0,18 | 0,46 | 0,70 | 0,09 | 0,53 | 0,46 | 0,62 | 1,26 |
| | Med. | 0,15 | 7,22 | 0,17 | 0,46 | 0,72 | 0,09 | 0,46 | 0,46 | 0,58 | 1,27 |
| | C.V (%) | 13,08 | 6,06 | 34,78 | 27,50 | 20,38 | 5,53 | 37,37 | 75,49 | 28,50 | 25,12 |
| | D.P | 0,02 | 0,44 | 0,06 | 0,12 | 0,14 | 0,01 | 0,20 | 0,35 | 0,18 | 0,32 |
| | Min. | 0,12 | 6,79 | 0,12 | 0,31 | 0,49 | 0,09 | 0,35 | 0,09 | 0,42 | 0,78 |
| | Max. | 0,17 | 7,91 | 0,29 | 0,61 | 0,88 | 0,10 | 0,87 | 1,00 | 0,93 | 1,61 |
| 40-60 | Média | 0,19 | 7,42 | 0,19 | 0,41 | 1,04 | 0,09 | 0,66 | 0,88 | 0,66 | 1,89 |
| | Med. | 0,19 | 7,34 | 0,19 | 0,42 | 0,96 | 0,09 | 0,62 | 0,82 | 0,61 | 1,84 |
| | C.V (%) | 24,62 | 6,53 | 24,46 | 25,11 | 29,08 | 18,53 | 33,12 | 63,90 | 22,94 | 21,95 |
| | D.P | 0,04 | 0,48 | 0,04 | 0,10 | 0,30 | 0,17 | 0,22 | 0,56 | 0,15 | 0,41 |
| | Min. | 0,15 | 6,87 | 0,14 | 0,23 | 0,79 | 0,07 | 0,40 | 0,32 | 0,57 | 1,35 |
| | Max. | 0,28 | 8,09 | 0,27 | 0,53 | 1,60 | 0,12 | 0,93 | 1,81 | 0,97 | 2,60 |

CE_{1:1}: condutividade elétrica em dS/m; RAS: Relação Adsorção de Sódio; Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, S-SO₄²⁻ em mmol/L

Tabela 6 - Média, Mediana (Med.), Coeficiente de variação (CV), Desvio padrão (DP), valores Mínimo (Min.) e Máximo (Max.) das variáveis estudadas no extrato 1:1 - Neossolo Flúvico Sódico Típico (área DS-2) - em cinco profundidades

| Camadas (cm) | (n=6) | Variáveis | | | | | | | | | |
|-----------------|---------|-------------------|------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------------|-------|
| | | CE _{1:1} | pH | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Cl ⁻ | S-SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | RAS |
| 0-5 | Média | 0,94 | 7,17 | 2,63 | 3,34 | 3,22 | 0,38 | 3,64 | 0,93 | 3,19 | 1,94 |
| | Med. | 0,82 | 7,24 | 2,17 | 2,83 | 3,08 | 0,35 | 3,09 | 0,97 | 2,96 | 1,95 |
| | C.V (%) | 38,22 | 5,45 | 58,62 | 43,20 | 20,36 | 43,48 | 66,00 | 51,71 | 19,66 | 12,96 |
| | DP | 0,36 | 0,39 | 1,54 | 1,44 | 0,65 | 0,16 | 2,40 | 0,48 | 0,62 | 0,25 |
| | Min. | 0,62 | 6,64 | 1,14 | 2,00 | 2,58 | 0,22 | 1,30 | 0,29 | 2,48 | 1,53 |
| | Max. | 1,43 | 7,77 | 4,63 | 5,47 | 4,43 | 0,65 | 7,28 | 1,60 | 4,26 | 2,32 |
| 5-15 | Média | 0,62 | 7,43 | 0,95 | 1,42 | 3,31 | 0,07 | 2,52 | 1,34 | 1,67 | 3,06 |
| | Med. | 0,61 | 7,42 | 0,93 | 1,44 | 3,10 | 0,08 | 2,24 | 1,29 | 1,64 | 3,08 |
| | C.V (%) | 23,51 | 6,55 | 12,91 | 31,29 | 18,13 | 11,15 | 40,87 | 70,39 | 10,20 | 14,30 |
| | D.P | 0,14 | 0,49 | 0,12 | 0,44 | 0,60 | 0,01 | 1,03 | 0,94 | 0,17 | 0,44 |
| | Min. | 0,45 | 6,87 | 0,86 | 0,78 | 2,82 | 0,06 | 1,56 | 0,12 | 1,47 | 2,33 |
| | Max. | 0,86 | 8,25 | 1,20 | 2,00 | 4,43 | 0,08 | 4,48 | 2,94 | 1,98 | 3,69 |
| 15-25 | Média | 0,68 | 7,60 | 0,71 | 1,15 | 3,78 | 0,07 | 3,06 | 1,55 | 1,35 | 3,98 |
| | Med. | 0,65 | 7,58 | 0,73 | 1,27 | 3,63 | 0,06 | 2,92 | 1,52 | 1,40 | 3,95 |
| | C.V (%) | 18,71 | 6,93 | 14,77 | 34,87 | 16,98 | 34,65 | 22,74 | 58,75 | 22,40 | 19,12 |
| | D.P | 0,13 | 0,53 | 0,10 | 0,40 | 0,64 | 0,02 | 0,69 | 0,91 | 0,30 | 0,76 |
| | Min. | 0,55 | 6,89 | 0,57 | 0,55 | 3,14 | 0,05 | 2,30 | 0,56 | 0,91 | 2,87 |
| | Max. | 0,84 | 8,47 | 0,84 | 1,62 | 4,81 | 0,10 | 4,04 | 2,56 | 1,75 | 4,93 |
| 25-40 | Média | 0,82 | 7,73 | 0,62 | 1,40 | 4,67 | 0,12 | 3,98 | 2,44 | 1,12 | 4,87 |
| | Med. | 0,79 | 7,70 | 0,58 | 1,37 | 4,40 | 0,10 | 4,32 | 2,37 | 0,99 | 4,80 |
| | C.V (%) | 20,92 | 6,25 | 36,41 | 54,15 | 23,44 | 45,16 | 23,61 | 24,68 | 22,38 | 25,90 |
| | D.P | 0,17 | 0,48 | 0,22 | 0,75 | 1,09 | 0,05 | 0,94 | 0,60 | 0,25 | 0,60 |
| | Min. | 0,60 | 7,23 | 0,35 | 0,62 | 3,35 | 0,06 | 2,74 | 1,58 | 0,90 | 3,36 |
| | Max. | 1,09 | 8,53 | 0,92 | 2,34 | 6,37 | 0,19 | 5,10 | 3,28 | 1,53 | 6,94 |
| 40-60 | Média | 1,02 | 7,84 | 0,65 | 0,89 | 6,44 | 0,11 | 5,29 | 3,11 | 1,12 | 7,34 |
| | Med. | 0,99 | 7,77 | 0,63 | 0,85 | 6,67 | 0,10 | 5,68 | 3,19 | 1,00 | 7,75 |
| | C.V (%) | 21,50 | 5,93 | 43,81 | 13,51 | 25,62 | 47,52 | 21,73 | 13,88 | 25,67 | 20,28 |
| | D.P | 0,22 | 0,46 | 0,28 | 0,12 | 1,65 | 0,05 | 1,15 | 0,43 | 0,28 | 0,43 |
| | Min. | 0,67 | 7,35 | 0,31 | 0,78 | 3,95 | 0,06 | 3,73 | 2,50 | 0,87 | 4,89 |
| | Max. | 1,27 | 8,59 | 1,18 | 1,08 | 8,78 | 0,19 | 6,42 | 3,60 | 1,63 | 8,99 |

CE_{1:1}: condutividade elétrica em dS/m; RAS: Relação Adsorção de Sódio; Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, S-SO₄²⁻ em mmol/L.

4.2 Comportamento dos atributos do solo no perfil nas áreas estudadas.

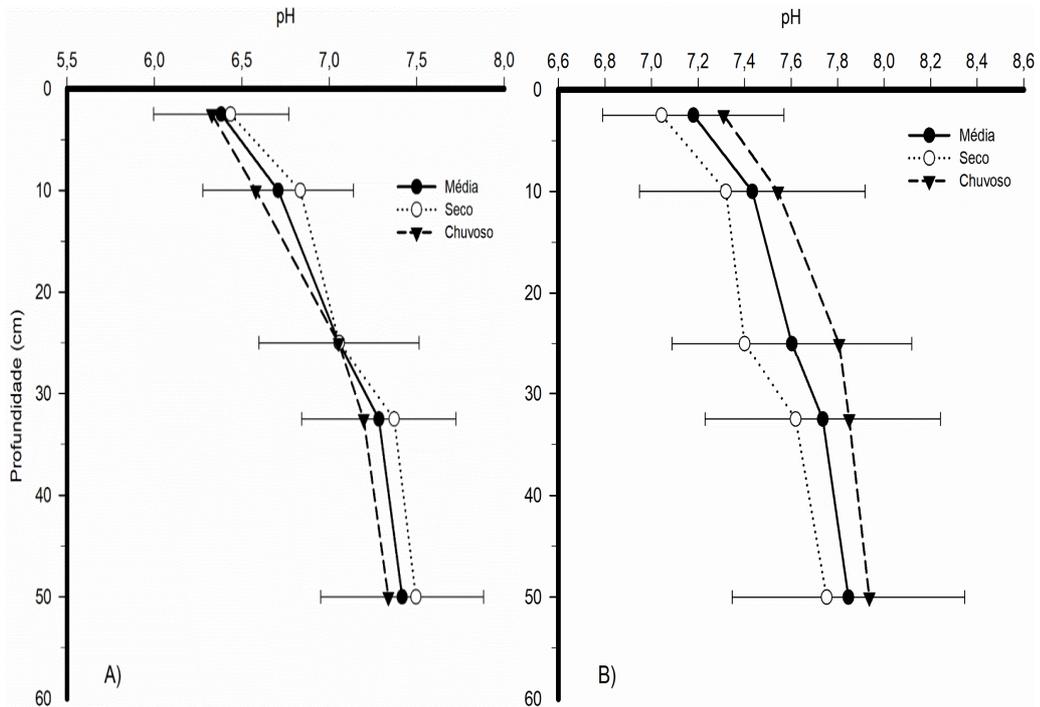
Os valores médios da distribuição do pH, da $CE_{1:1}$, dos cátions e ânions solúveis e da RAS nas camadas do solo nos dois períodos de coleta são apresentados nas figuras 6 a 15, respectivamente. As referidas figuras apresentam os valores médios para os períodos úmido e seco e a média geral com seu desvio padrão a 5% de probabilidade de cada variável no NFET e NFST.

4.2.1 pH

Nos dois solos estudados, os valores do pH se elevaram com o aumento da profundidade, com resultados médios variando de 6,38 a 7,42 no NFET e de 7,17 a 7,84 no NFST. Esses resultados estão de acordo com Kiehl (1979), pois este autor afirma que o valor do pH aumenta nas camadas mais profundas em comparação às camadas mais superficiais, devido à dominância do sódio solúvel em relação a outros cátions em profundidade. Essa tendência foi observada nos dois períodos de coleta (seco e chuvoso), independentemente do solo.

No NFET, mais arenoso, os valores do pH no período seco foram maiores que os registrados no período chuvoso, sendo que apenas na camada superficial a diferença foi estatisticamente significativa a 5% de probabilidade. No NFST, mais argiloso e sódico, o comportamento foi inverso, ou seja, no período chuvoso os valores do pH foram maiores que os do período seco (Figura 4), embora sem diferença estatística. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que, em período chuvoso, a solução do solo argiloso está diluída, favorecendo a hidrólise do sódio trocável e conseqüentemente o valor do pH aumentou, enquanto no período seco o pH tendeu a cair à medida que a umidade do solo diminuiu. O comportamento inverso observado no NFET é explicado pelo menor conteúdo de sódio trocável e pela sua maior permeabilidade principalmente nas camadas superiores (condutividade hidráulica de 78,9 a 11,24 cm/dia) (Tabela 1) em relação ao NFST (47,5 a 4,06 cm/dia) (Tabela 2).

Figura 4 - Comportamento do pH no perfil do solo e no tempo (período seco e chuvoso) no Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (A) e Neossolo Flúvico Sódico Típico (B)

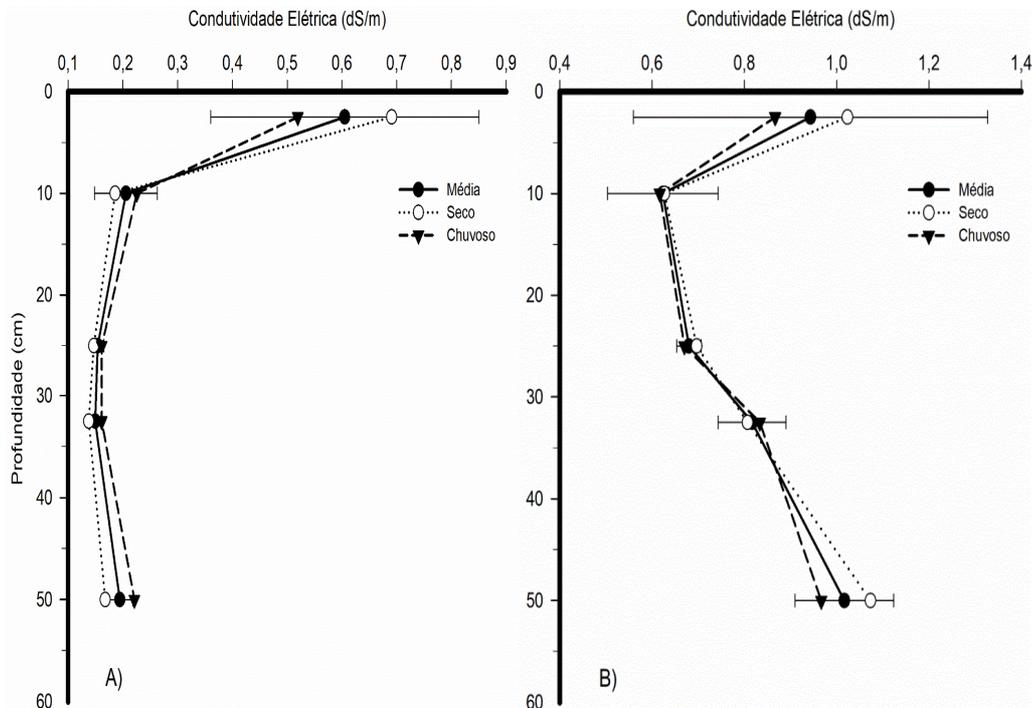


4.2.2 Condutividade elétrica

A CE_{es} , usada na caracterização do perfil, foi superior à do extrato solo:água 1:1 ($CE_{1:1}$) devido a quantidade de água usada na preparação do extrato de saturação foi menor e, como os íons sódio são muito mais solúveis, eles foram preferencialmente extraídos, influenciando muito mais o valor da CE_{es} . Nesta discussão será considerada a $CE_{1:1}$.

A CE do extrato solo:água 1:1 apresentou tendência similar na sua evolução nos perfis dos dois solos estudados (Figura 5), diferenciando-se pelo fato de que o NFET apresentou menores valores (0,12 a 0,89 dS/m) do que o NFST (0,45 a 1,43 dS/m) (Tabelas 3 e 4). Nos dois solos o maior valor da $CE_{1:1}$ foi observado na camada superficial, diferenciando-se estatisticamente das camadas inferiores somente no NFET. Esse comportamento pode ser justificado pela presença de um fluxo ascendente, por efeito da capilaridade, que acumula sais na primeira camada devido à ação da evaporação da água e migração dos sais solúveis durante a época de estiagem. Esse fluxo de sais das camadas subjacentes (entre 5 e 40 cm) é favorecido pelas suas texturas mais arenosas, acima de 76%. A falta de significância estatística entre camadas no NFST foi causada pelo alto CV (entre 18,7 e 38,2%) apresentado pela $CE_{1:1}$ neste solo, comum em solos afetados por sais. Silva et al. (2014), trabalhando com

Figura 5 - Comportamento da condutividade elétrica no perfil do solo e no tempo (período seco e chuvoso) no Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (A) e Neossolo Flúvico Sódico Típico (B)



a distribuição de sais em área degradada do Perímetro Irrigado do Moxotó, Ibimirim – PE, observaram que os valores de condutividade elétrica são maiores nas camadas superiores ou mais próximas à área de ação radicular devido a ascensão capilar dos sais solúveis das camadas mais profundas, o que dificultaria a sobrevivência de espécies sensíveis a salinidade no local.

No NFST, mais argiloso, a segunda camada (5-15 cm) apresentou o menor valor de $CE_{1:1}$, a partir do qual aumentou progressivamente com a profundidade, atingindo seu valor mais elevado (1,02 dS/m) na camada 40-60 cm, sem diferenças estatisticamente significativas entre camadas nos períodos seco e chuvoso. Por outro lado, no NFET, na segunda camada (5-15 cm), a $CE_{1:1}$ foi inferior à da primeira camada (0-5 cm) e praticamente não variou em profundidade (em média 0,20 a 0,15 dS/m). Isto nos leva a concluir que o NFET, mais arenoso, possui uma maior condutividade hidráulica, aumentando sua capacidade para conduzir e lixiviar os sais dentro do perfil, comparado ao NFST, mais argiloso.

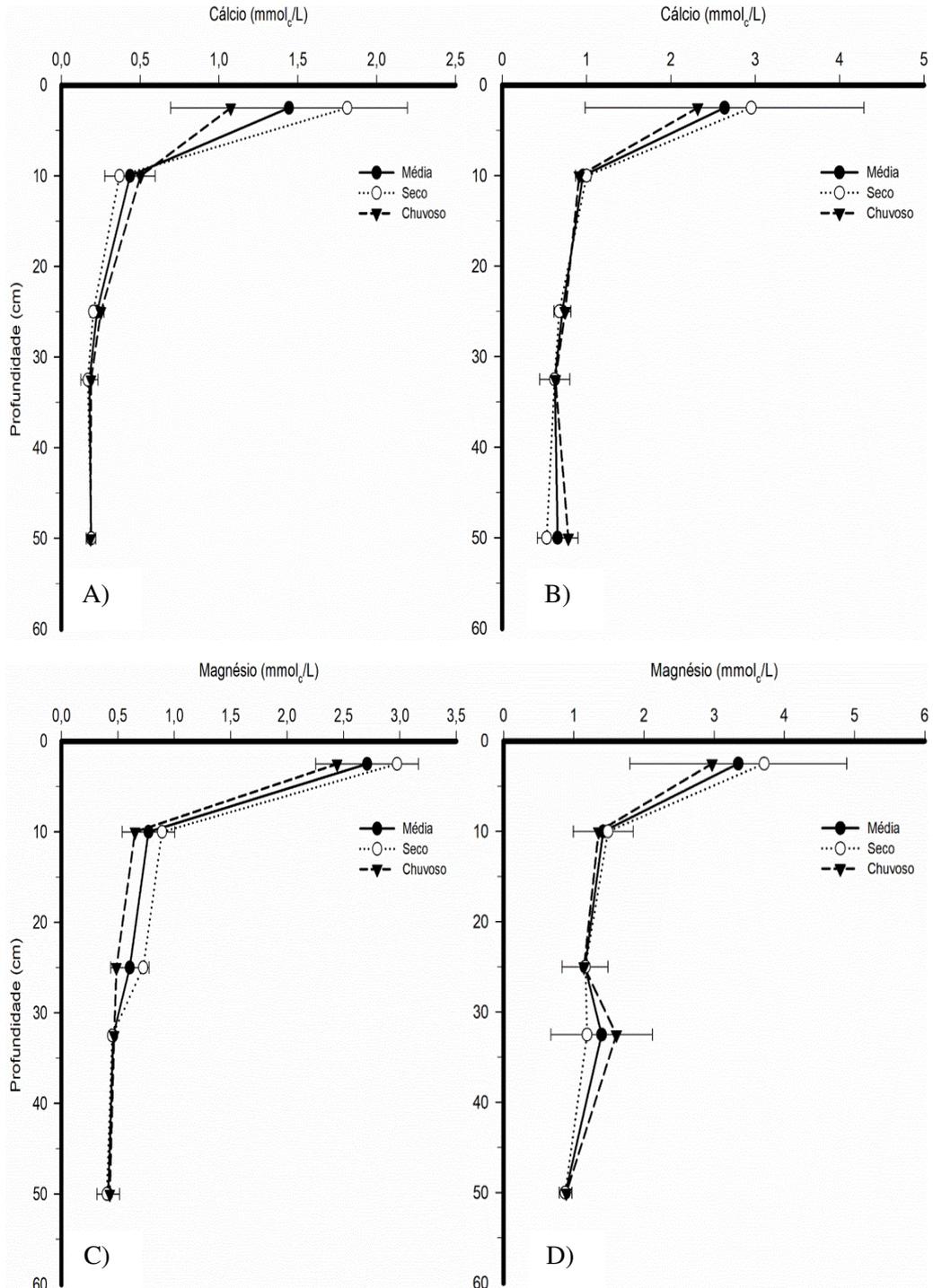
4.2.3 Cálcio e magnésio

O comportamento do cálcio e do magnésio no perfil dos solos foi similar, diferenciando-se pelo fato de que o NFST, com maior teor de argila, apresentou maiores teores desses elementos do que o NFET (Figura 6). As maiores concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} solúveis foram verificadas na camada superficial e as menores nas camadas mais profundas. Nos dois solos, a concentração de Ca^{2+} da primeira camada apresentou diferenças significativas ($P < 5\%$) em relação às das camadas inferiores apenas no período seco, não havendo diferenças estatísticas dentro da mesma camada nos períodos de amostragem (seco e úmido). Em ambos os solos, a concentração de Mg^{2+} solúvel foi superior à do Ca^{2+} solúvel. No NFET, a concentração de Mg^{2+} na primeira camada foi diferente estatisticamente em relação às das camadas inferiores nos dois períodos, enquanto que no NFST a diferença estatística ocorreu somente no período seco.

A falta de significância nas variáveis estudadas está relacionada à grande dispersão dos valores (CV entre 12 e 58%) comumente observada em regiões semiáridas, principalmente em solos afetados por sais. As maiores concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} observadas na camada superior certamente foram causadas pelo acúmulo de sais por evaporação da água. Silva et al. (2014) e Fernandes et al. (2014), que trabalharam em Neossolos Flúvicos no estado de Pernambuco, encontraram que as maiores concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} solúveis foram registradas nas camadas superiores, devido à ascensão por capilaridade pela evaporação.

Do mesmo modo, os maiores teores de Mg^{2+} em relação ao Ca^{2+} ocorreram porque os sais de Mg^{2+} são mais solúveis do que os de Ca^{2+} . De fato, Rengasamy e Sumner (1998) e Sposito (2008) observaram que o cálcio tem um poder de floculação 1,8 vezes maior que o magnésio, então o Ca^{2+} dilui-se mais dificilmente do que o Mg^{2+} na solução do solo. Outra razão do maior teor de Mg^{2+} em relação ao Ca^{2+} é a maior força de atração do complexo sortivo para o Ca^{2+} , aproximando-o mais da superfície do complexo de troca em detrimento do Mg^{2+} para formar ligações com coloides, destacando a ordem decrescente de afinidade de adsorção do Ca^{2+} e Mg^{2+} (RYTWO et al., 1996).

Figura 6 - Comportamento dos íons cálcio e magnésio solúveis no perfil do solo e no tempo (período seco e chuvoso) no Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (A,C) e Neossolo Flúvico Sódico Típico (B,D)



4.2.4 Potássio e sódio

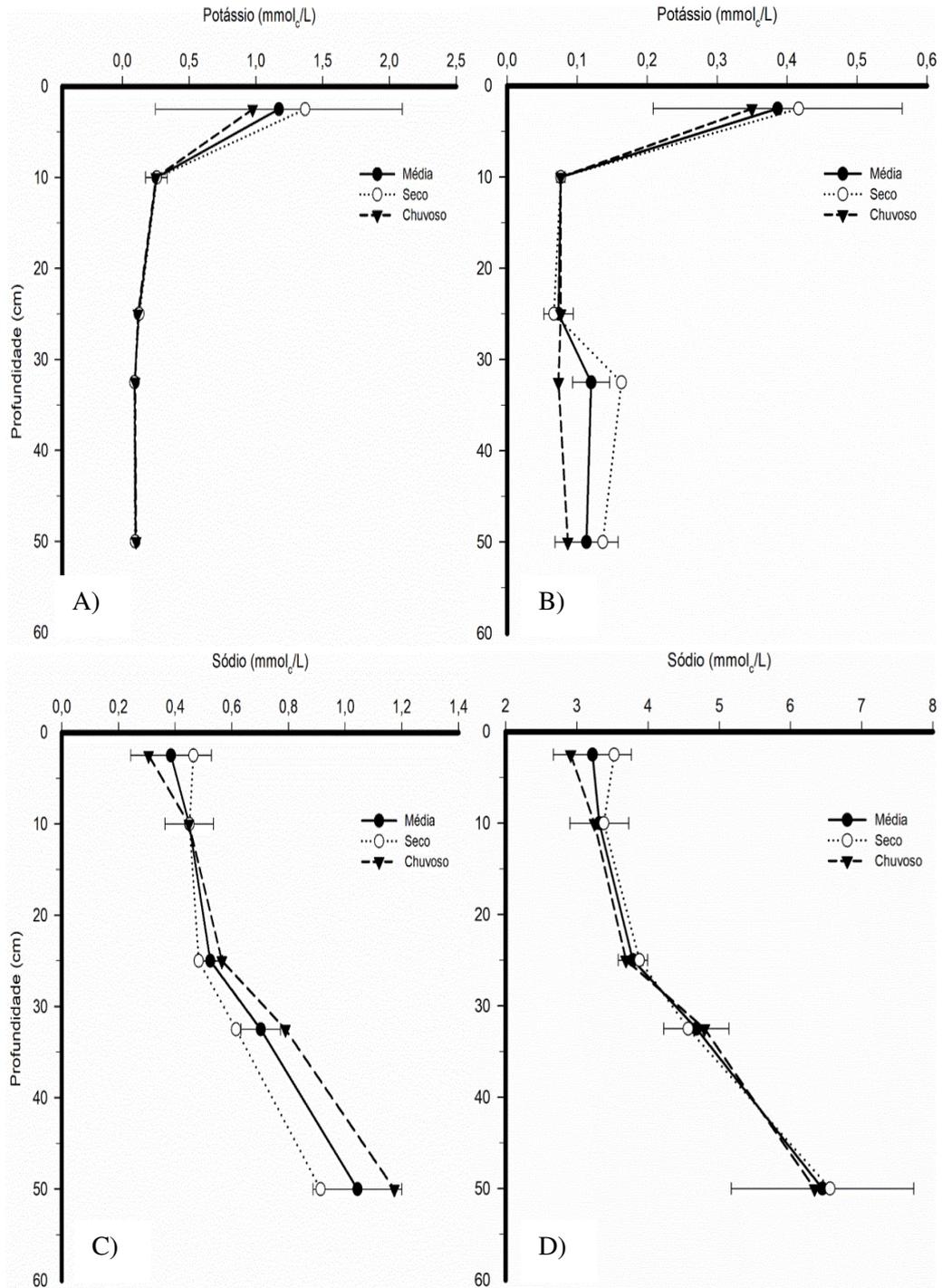
O teor de potássio seguiu o mesmo comportamento no perfil do solo dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , ou seja, maior concentração na camada superficial e menor concentração na subsuperficial (Figura 7), diferenciando-se por apresentar teores em torno de duas vezes menores do que os de Ca^{2+} e 2 a 3 vezes menores do que os de Mg^{2+} no NFET, e em torno a 6 a 9 vezes menores do que os de Ca^{2+} e de 8 a 20 vezes menores do que os de magnésio no NFST. Dos Santos (2009), que estudou as propriedades físicas e químicas de um Neossolo, na região de Pernambuco, mostrou que a concentração do íon potássio foi a mais reduzida em relação à do cálcio e do magnésio nas camadas superiores. Ele explicou esse fenômeno pelo fato de que o potássio é monovalente e possui raio iônico hidratado maior que o do cálcio e do magnésio, sendo então menos retido que os outros íons, e assim, passível de lixiviação. Melo et al. (2008) encontraram resultados similares em amostras de Neossolos Flúvicos do perímetro irrigado de Custódia (PE).

O NFET, embora com menor CTC (5,7 cmol_c/kg), apresentou um teor médio de 1,17 mmol/L de K^+ na camada superficial, comparado ao NFST (CTC = 19,9 cmol_c/kg), que teve 0,38 mmol/L de K^+ solúvel. Esse comportamento se justifica pela maior quantidade de sódio solúvel e trocável no NFST, sendo que o sódio por ação de massa desloca o potássio do complexo de troca, facilitando sua lixiviação, embora seu raio hidratado seja maior do que o do potássio.

O comportamento do sódio solúvel foi similar no NFET e NFST, diferenciando-se dos outros cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) por não se acumular na camada superficial (0-5 cm) e apresentar um aumento progressivo de concentração com a profundidade no perfil do solo (Figura 7 C, D). Esse comportamento é contrário aos resultados encontrados em campos irrigados na Chapada do Apodi-CE por Andrade et al. (2004) e no Perímetro Irrigado Cachoeira II-PE por Dos Santos et al. (2013) e Fernandes et al. (2014), onde a maior concentração de sódio foi registrada na primeira camada. Para o aumento do Na^+ , em profundidade, deve ter contribuído o maior teor de argila e percentagem de sódio trocável dessas camadas (Tabelas 1 e 2).

No NFET, mais arenoso, a presença de íon sódio solúvel em menor concentração em comparação ao NFST, pode ser explicada pela menor salinidade (entre 0,6 e 0,2 dS/m e entre 1 e 0,62 dS/m , respectivamente), dada à melhor drenagem desse solo, que facilita sua lixiviação no perfil, pela elevada solubilidade do sódio. Para a relativamente baixa diferença entre o teor de sódio da camada superficial, sem diferenças estatísticas significativas, entre os

Figura 7 - Comportamento dos íons potássio e sódio solúveis no perfil do solo e no tempo (período seco e chuvoso) no Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (A,C) e Neossolo Flúvico Sódico Típico (B,D)



períodos seco e úmido, no NFET deve ter contribuído além da sua boa drenagem a lavagem pela água de irrigação, já que a mesma é cultivada com irrigação no período seco. No NFST, esse comportamento pode ter sido causado pelo fato de que a área estava sem cultivo e pela baixa evaporação no período seco, sem contribuição de água por ascensão capilar (profundidade do lençol freático abaixo de 2 m no período seco e condutividade hidráulica menor do que 3,62 cm/dia nas camadas mais profundas).

4.2.5 Cloreto, bicarbonato e sulfato

Dentre os ânions avaliados (Cl^- , HCO_3^- e SO_4^{2-}) os cloretos e bicarbonatos seguiram um padrão de distribuição nos períodos seco e úmido similares aos dos cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+), apresentando maiores teores na camada superficial (0-5 cm) e menores e constantes nas camadas mais profundas, exceto no NFST, onde os cloretos aumentaram com a profundidade nos dois períodos (Figura 8 A, B). Os sulfatos seguiram um comportamento similar ao do sódio (Na^+) nos dois solos, pois não apresentaram aumento de concentração na camada superficial (Figura 8 E, F).

Os teores de cloreto e bicarbonato solúveis na camada de 0-5 cm do NFST foram em torno de 2 e 1,5 vezes maiores, respectivamente, do que aqueles encontrados no NFET e não mostram diferenças significativas entre períodos, devido ao alto CV observado (67% e em torno de 22%, respectivamente).

No NFET, os teores de cloretos da camada superficial se diferenciam estatisticamente daqueles das camadas mais profundas (2,5 e 0,49 mmol/L respectivamente) somente no período seco e entre períodos dentro das camadas mais profundas. No NFST não houve diferenças entre períodos e nem entre camadas (Cl^- entre 2,1 e 5,44 mmol/L). Luna et al. (2013) explicaram que durante a estação chuvosa o íon cloreto se lixivia para se acumular nas camadas mais profundas, enquanto na estação seca, onde a evapotranspiração é mais intensa, ocorre um fluxo inverso na dinâmica do cloreto na solução do solo. Segundo Silva et al. (2008), esses movimentos ascendente e descendente ocorrem pelo fato desse íon se manter livre na solução do solo e ser facilmente lixiviado pela precipitação pluviométrica ou levado para as camadas superficiais pela evapotranspiração.

Os teores de bicarbonatos solúveis, nas duas áreas, apresentaram diferença estatística entre a camada superficial e as camadas inferiores, com valores médios de HCO_3^- entre 1,9 e 0,63 mmol/L e entre 3,19 e 1,12 mmol/L para NFET e NFST, respectivamente. Fernandes et al. (2014), que trabalharam com as características físico-químicas, em função do tempo, no

Neossolo Flúvico do Perímetro Irrigado Cachoeira II - PE, mostraram que o teor de bicarbonato na solução do solo é baixo e segue a tendência de baixar ainda mais em profundidade.

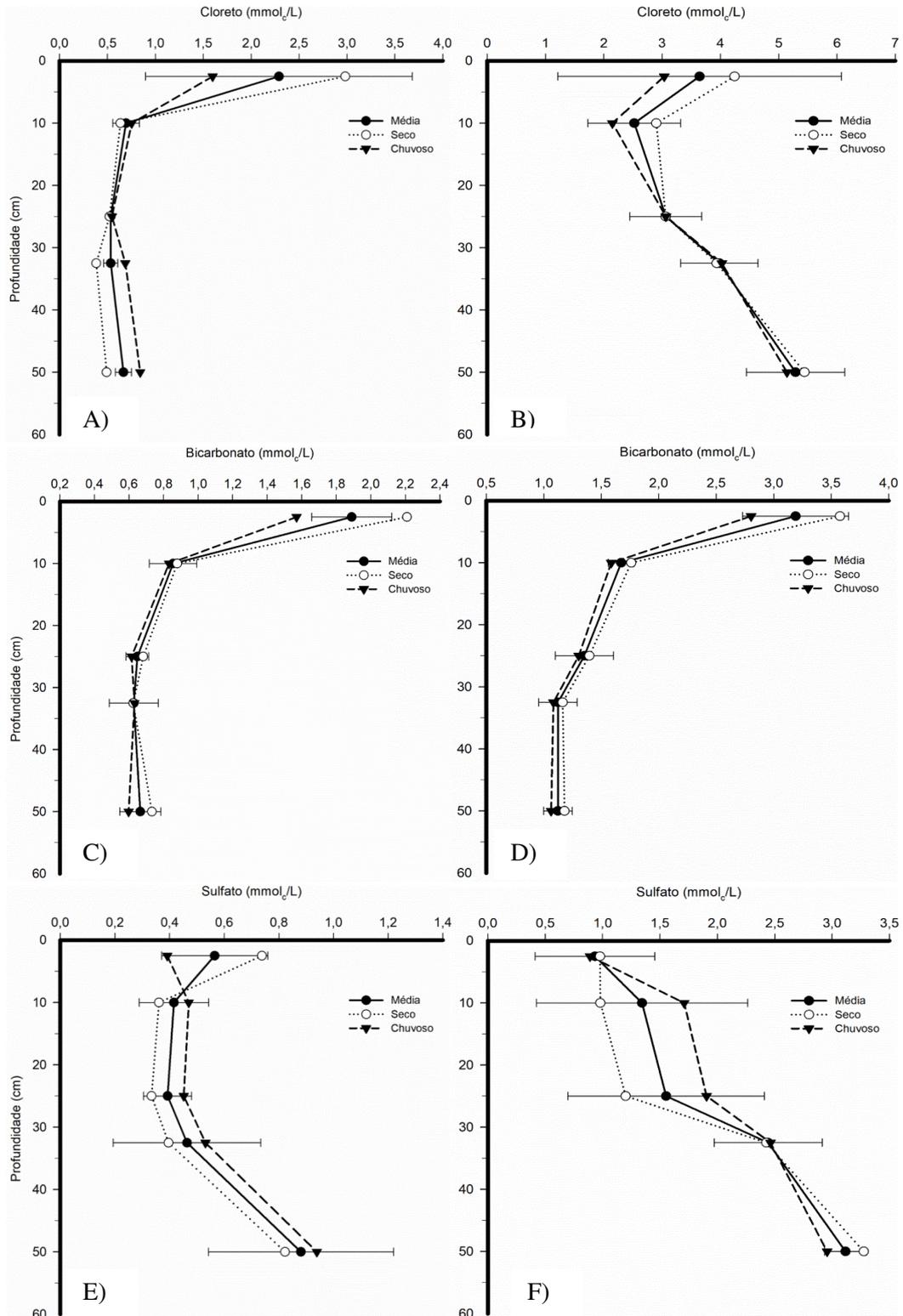
O comportamento do cloreto e bicarbonato no perfil se explica pela alta mobilidade destes íons, pela evaporação, condição de drenagem do solo e teor de argila, conforme indicado para os cátions Ca^+ e Mg^{2+} . Por outro lado, a origem do bicarbonato pode ser relacionada com conteúdo e mineralização da matéria orgânica do solo (MOS), que ocorre em maior quantidade na camada superficial. Assim, o NFST possui o dobro de MOS que o NFET (Tabelas 1 e 2), e também de HCO_3^- , e valores constantes nas camadas mais profundas pela menor mineralização da MOS devido à baixa oxigenação.

No solo com textura mais arenosa (NFET), a concentração de sulfato entre as camadas nos dois períodos de coleta, ao mesmo tempo, seguiu uma tendência de aumento progressivo com a profundidade, com teores ligeiramente superiores no período chuvoso, nas camadas subsuperficiais. Na camada de 0-5 cm, a concentração de sulfato foi maior no período seco, com valores médios que variaram entre 0,39 e 0,88 mmol/L (Figura 8 E), sem diferenças estatísticas entre camadas e entre períodos.

Os teores de sulfatos no NFST foram em torno de 3 vezes maiores do que no NFET (0,97 e 3,2 mmol/L respectivamente), mantendo uma proporção semelhante à do conteúdo de MOS, evidenciando a importância da MOS como fonte de S-SO_4^{2-} . No NFST também se observou aumento progressivo de sulfato com a profundidade, com diferenças significativas das três camadas superficiais em relação a mais profunda somente no período seco (Figura 8 F).

A redução do teor de sulfato observada nos dois solos na primeira camada no período úmido pode estar relacionada à lixiviação pela água das chuvas do enxofre resultante da mineralização da MOS (Tabelas 1 e 2), considerando que a mesma é uma fonte de enxofre, elevando os teores nas camadas mais profundas. O teor de enxofre total no solo está ligado diretamente à decomposição da matéria orgânica do solo pelos microrganismos, que liberam o enxofre para a solução do solo em sua forma mineral (S-SO_4^{2-}) (SCHERER, 2009). Esse sulfato se encontra, geralmente, em menor concentração na camada superficial do solo devido ao processo de lixiviação, resultando em sua acumulação nas camadas subsuperficiais (TABATABAI e BREMNER, 1972). No caso do NFST, considerado como altamente sódico, seu manejo influencia a lixiviação de S-SO_4^{2-} , onde a aplicação de gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) acarreta a movimentação do sódio para as camadas subsuperficiais.

Figura 8 - Comportamento dos íons cloreto, bicarbonato e sulfato solúveis no perfil do solo e no tempo (período seco e chuvoso) no Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (A, C e E) e Neossolo Flúvico Sódico Típico (B, D e F)

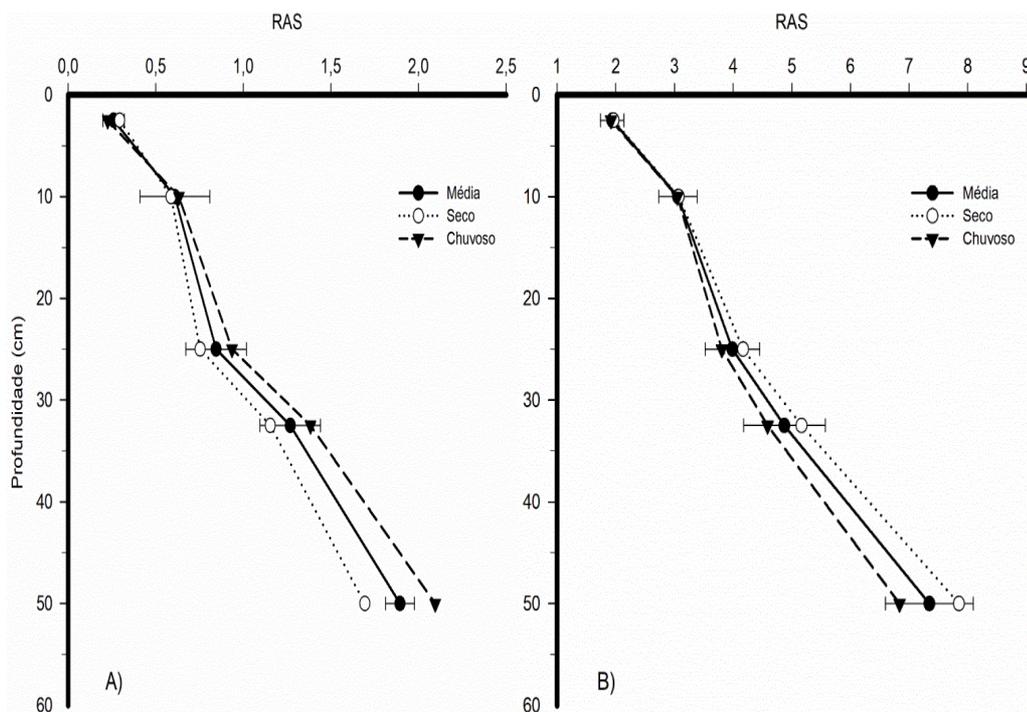


4.2.6 Relação adsorção de sódio.

A RAS no perfil do solo seguiu o mesmo comportamento do sódio, uma vez que seus valores são diretamente proporcionais ao conteúdo de sódio e inversamente proporcionais à raiz quadrada de $(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2$. Assim, a RAS observada, nas duas áreas, mostrou um aumento progressivo com a profundidade do solo (Figura 9), causado pelos baixos valores das concentrações de cálcio e magnésio solúveis nas camadas inferiores e pela maior proporção de sódio solúvel dessas camadas.

Na camada superficial, o NFST apresentou RAS média 8 vezes maior do que aquela encontrada no NFET, com valores de 1,94 e 0,25, respectivamente, aumentando seus valores para 7,34 e 1,89, respectivamente, na camada mais profunda.

Figura 9 - Comportamento da RAS no perfil do solo e no tempo (período seco e chuvoso) no Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (A) e Neossolo Flúvico Sódico Típico (B)



4.3 Correlações entre variáveis

As tabelas 7 e 8 apresentam as matrizes de correlação de Pearson das variáveis nos dois locais estudados. O fator período apresentou as menores correlações com as outras variáveis, tanto no NFET como no NFST, causadas em grande parte por seus valores serem muito dispersos (desvio padrão e/ou coeficiente de variação elevado).

No NFET, sem problema de salinidade, o Ca^{2+} , K^+ , Cl^- , Mg^{2+} e HCO_3^- mostraram um comportamento altamente linear com a $\text{CE}_{1:1}$ (coeficientes de correlação 0,98, 0,96, 0,96, 0,92 e 0,83, respectivamente). Por outro lado, a correlação não foi significativa para o Na^+ , SO_4^{2-} e o fator período (Tabela 7). O Ca^{2+} está correlacionado com o Cl^- ($r = 0,97$), K^+ ($r = 0,96$), Mg^{2+} ($r = 0,91$) e HCO_3^- ($r = 0,83$). A RAS foi altamente correlacionada positivamente com o Na^+ ($r = 0,90$) e o fator camada ($r = 0,90$), e teve correlação negativa com os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ .

O comportamento do NFET é explicado por ser um solo relativamente bem drenado, sem problema de salinidade, onde os cátions trocáveis predominantes são o Ca^{2+} e Mg^{2+} , que certamente influenciam no teor desses íons no extrato 1:1.

Dentre as fontes de variação, o fator camada mostrou influência negativa sobre todos os ânions e cátions solúveis presentes no solo com exceção do sódio ($r = 0,77$). Isso mostra a variabilidade espacial do sódio solúvel, que aumentou com a profundidade. Fato explicado pela competição entre o sódio e os outros cátions no complexo sortivo, apesar da concentração maior do Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ no complexo sortivo comparada àquela do Na^+ no perfil do solo poder ser devida à sua maior solubilidade, enquanto que as solubilidades do Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ são diminuídas à medida que o pH atinge valores mais elevados (SPARKS, 1995). Isto explica por que ânions e cátions reagiram negativamente com o aumento do pH no solo, exceto o íon Na^+ ($r = 0,38$), sulfato ($r = 0,14$) e o fator camada ($r = 0,67$), destacando a correlação positiva destas variáveis com a RAS, o que é indicativo do início de um processo de sodificação do solo, que pode agravar-se se a irrigação não for bem conduzida.

No NFST, com problema de sodicidade, o fator camada (espacial) apresenta coeficiente de correlação negativo para o bicarbonato ($r = -0,79$), magnésio ($r = -0,62$), cálcio ($r = -0,60$) e potássio ($r = -0,51$), devido ao fato de que as concentrações desses íons solúveis

Tabela 7 - Correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre os parâmetros químicos estudados ao longo do perfil do solo em período seco e chuvoso no extrato solo:água 1:1 no Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (NFET)

| | pH | CE _{1:1} | Camadas | Período | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Cl ⁻ | HCO ₃ ⁻ | S-SO ₄ ²⁻ | RAS |
|--------------------------------------|-------|-------------------|---------|---------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------------|------|
| pH | 1,00 | | | | | | | | | | | |
| CE_{1:1} | -0,52 | 1,00 | | | | | | | | | | |
| Camadas | 0,67 | -0,61 | 1,00 | | | | | | | | | |
| Período | 0,12 | 0,02 | 0,00 | 1,00 | | | | | | | | |
| Ca²⁺ | -0,54 | 0,98 | -0,65 | 0,09 | 1,00 | | | | | | | |
| Mg²⁺ | -0,55 | 0,92 | -0,76 | 0,11 | 0,91 | 1,00 | | | | | | |
| K⁺ | -0,48 | 0,96 | -0,57 | 0,07 | 0,96 | 0,85 | 1,00 | | | | | |
| Na⁺ | 0,38 | -0,17 | 0,77 | -0,13 | -0,25 | -0,43 | -0,19 | 1,00 | | | | |
| Cl⁻ | -0,43 | 0,96 | -0,52 | 0,06 | 0,97 | 0,85 | 0,96 | -0,09 | 1,00 | | | |
| HCO₃⁻ | -0,43 | 0,83 | -0,70 | 0,16 | 0,83 | 0,91 | 0,71 | -0,40 | 0,76 | 1,00 | | |
| S-SO₄²⁻ | 0,14 | 0,11 | 0,25 | -0,03 | 0,05 | 0,02 | 0,02 | 0,57 | 0,09 | 0,03 | 1,00 | |
| RAS | 0,54 | -0,44 | 0,90 | -0,13 | -0,51 | -0,66 | -0,44 | 0,94 | -0,37 | -0,59 | 0,49 | 1,00 |

seguem a mesma tendência a longo do perfil do solo, diminuindo com o aumento da profundidade. Por outro lado, o SO₄²⁻ ($r = 0,76$), o Na⁺ ($r = 0,73$) e o Cl⁻ ($r = 0,43$) foram positivamente correlacionados (Tabela 8) porque aumentam com a profundidade.

Esses resultados concordam com os de Bastida et al. (2004), que trabalhando com a relação entre a CE e os íons salinos no solo, indicam que as maiores concentrações de Na⁺, Cl⁻ e SO₄²⁻ são encontradas nas camadas mais profundas, devido à facilidade de lixiviação no perfil do solo. Os resultados mostraram também que, entre os íons, cloreto ($r = 0,90$) e sódio ($r = 0,68$) foram os que tiveram maior influência sobre a CE_{1:1}. Esses íons são seguidos por potássio ($r = 0,53$), cálcio ($r = 0,52$) e magnésio ($r = 0,48$). Estes pesquisadores também mostra-

Tabela 8 - Correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre os parâmetros químicos estudados ao longo do perfil do solo em período seco e chuvoso no extrato solo:água 1:1 no Neossolo Flúvico Sódico Típico (NFST)

| | pH | CE _{1:1} | Camadas | Período | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Cl ⁻ | HCO ₃ ⁻ | S-SO ₄ ²⁻ | RAS |
|--------------------------------------|-------|-------------------|---------|---------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------------|------|
| pH | 1,00 | | | | | | | | | | | |
| CE_{1:1} | -0,21 | 1,00 | | | | | | | | | | |
| Camadas | 0,47 | 0,20 | 1,00 | | | | | | | | | |
| Período | -0,27 | 0,11 | 0,00 | 1,00 | | | | | | | | |
| Ca²⁺ | -0,44 | 0,52 | -0,60 | 0,04 | 1,00 | | | | | | | |
| Mg²⁺ | -0,47 | 0,48 | -0,62 | 0,04 | 0,92 | 1,00 | | | | | | |
| K⁺ | -0,42 | 0,53 | -0,51 | 0,14 | 0,90 | 0,87 | 1,00 | | | | | |
| Na⁺ | 0,23 | 0,68 | 0,73 | 0,06 | -0,21 | -0,21 | -0,18 | 1,00 | | | | |
| Cl⁻ | -0,12 | 0,90 | 0,43 | 0,14 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,77 | 1,00 | | | |
| HCO₃⁻ | -0,40 | 0,27 | -0,73 | 0,15 | 0,84 | 0,79 | 0,84 | -0,38 | -0,02 | 1,00 | | |
| S-SO₄²⁻ | 0,60 | 0,18 | 0,76 | -0,10 | -0,50 | -0,42 | -0,36 | 0,64 | 0,30 | -0,52 | 1,00 | |
| RAS | 0,32 | 0,40 | 0,88 | 0,10 | -0,52 | -0,57 | -0,43 | 0,89 | 0,53 | -0,63 | 0,68 | 1,00 |

ram que, para um mesmo aumento do valor de CE, as concentrações de íons Na^+ e Cl^- aumentaram mais do que as de SO_4^{2-} , Ca^{2+} e Mg^{2+} . O bicarbonato foi o único ânion negativamente correlacionado com a RAS ($r = -0,63$).

Isso pode ser explicado pelo fato de que esse elemento está sempre acompanhado com o Ca^{2+} e o Mg^{2+} durante a aplicação da água de irrigação (NUNES et al., 2008), e neste caso o bicarbonato segue a mesma tendência que estes íons na influência do RAS. Em contrapartida, o sódio foi o único cátion positivamente correlacionado com a RAS ($r = 0,89$), e os outros cátions (Mg^{2+} , Ca^{2+} e K^+) mostraram correlação negativa, evidenciando a correlação positiva entre a RAS e o fator camada ($r = 0,88$).

Os ânions SO_4^{2-} e Cl^- apresentaram correlações similares, $r = 0,68$ e $r = 0,53$, respectivamente, com a RAS. Isto sugere que estes ânions formam sais neutros com íon sódio (NaCl , Na_2SO_4), os quais mantêm o pH próximo da neutralidade (FASSBENDER e BORNEMISZA, 1987), conforme sugerido pelas correlações positivas e significativas que existem entre o sódio e o cloreto ($r = 0,77$) e o sódio e o sulfato ($r = 0,64$) no extrato de solo. Apesar do caráter sódico no NFST, o mesmo exibe valor de pH abaixo de 8,5, indicando que este está em processo de degradação ou solodização (RIBEIRO, 2016).

O ponto comum entre o NFET e o NFST é que os ânions e cátions estudados foram negativamente correlacionados com o pH, exceto o sulfato ($r = 0,60$) e o sódio ($r = 0,23$). Isso pode se explicar pelo fato de que esses elementos seguem a mesma tendência no perfil do solo (aumenta com a profundidade).

4.4 Monitoramento da profundidade e da água do lençol freático

No NFET a profundidade do lençol freático durante todo o período (seco e úmido) esteve abaixo de 2 m, pois não foi possível coletar água já que os poços de observação (2 m de profundidade) estavam sem água, indicando que não houve influência da água do lençol freático sobre a salinidade nas cinco camadas superficiais do solo estudadas (0-60 cm).

No NFST, os poços de observação do lençol freático apresentaram água em três coletas; duas no período chuvoso (março e maio) e uma no início do período seco (julho) (Tabela 9). A profundidade do lençol freático dentro uma mesma coleta mostrou-se irregular apresentando na primeira coleta, no início do período chuvoso, uma profundidade de 1,70 m (entre 20 - 40 cm de água) e a salinidade média da água foi 0,57 dS/m. Na segunda coleta, logo após o período máximo de precipitação, o nível da água do poço de observação apresentou-se próximo da superfície do solo e a salinidade medida pela CE variou de 0,36 a

0,50 dS/m e com média de 0,4 dS/m. Na terceira coleta, no início do período seco (julho), o nível da água dos poços de observação baixou a 1,90 m de profundidade (altura da água em torno de 10 cm) e a salinidade aumentou, apresentando uma média de 0,62 dS/m.

A irregularidade no nível do lençol freático no NFST pode estar atribuída à grande variabilidade na condutividade hidráulica, típica dos solos afetados por sais, também influenciada pelo carácter expansivo de suas argilas, que quando secas criam fendas que se prolongam em profundidade e quando úmidas (expandidas) podem reduzir a condutividade hidráulica a praticamente zero. A menor salinidade observada na segunda coleta pode ser atribuída aos efeitos de diluição pela água da chuva, cuja salinidade é muito baixa (Tabela 9).

Segundo Ferreyra e Coelho, (1984) a concentração de sais na solução do solo em Neossolo Flúvico Sódico Típico (NFST) da área DS-2 sob cultivo de arroz por inundação, mostraram que, mesmo com uma permeabilidade praticamente nula deste solo, uma lâmina de água de 10 cm reduz a salinidade da camada superficial do solo. Isto explica por que água da chuva de baixa salinidade reduz os íons solúveis da camada superficial, principalmente o cloreto e o sódio. No caso do NFST, a redução da salinidade é causada principalmente por diluição e movimento superficial da água, e não por drenagem, devido à sua baixa condutividade hidráulica. Já no NFET, a redução da salinidade da camada superficial é causada por lixiviação principalmente do sódio e do potássio.

Tabela 9 - Resultados das análises da água coletada nos dispositivos/pontos de observação do lençol freático na área 2 (NFST)

| Pontos | Cátions (mmol/L) | | | | Soma Cátions | Ânions (mmol/L) | | | | Soma Ânions | CE (dS/m) | RAS | pH |
|-------------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------|------------------|-----------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | | CO ₃ | HCO ₃ | Cl ⁻ | S-SO ₄ | | | | |
| Coleta 1 (março) | | | | | | | | | | | | | |
| P1 | 0,90 | 1,30 | 3,17 | 0,05 | 5,42 | 0,00 | 2,16 | 1,60 | 0,59 | 4,35 | 0,57 | 3,03 | 8,06 |
| P2 | 0,50 | 1,50 | 3,96 | 0,04 | 5,99 | 0,00 | 3,56 | 1,10 | 0,39 | 5,05 | 0,65 | 3,96 | 8,32 |
| P3 | 0,70 | 1,70 | 4,13 | 0,06 | 6,59 | 0,00 | 2,92 | 1,80 | 0,52 | 5,24 | 0,71 | 3,77 | 8,14 |
| P4 | 0,80 | 1,60 | 3,74 | 0,09 | 6,23 | 0,00 | 3,68 | 1,10 | 0,03 | 4,81 | 0,68 | 3,41 | 8,20 |
| P5 | 0,4 | 1,50 | 0,79 | 0,13 | 2,82 | 0,00 | 1,24 | 0,60 | 0,18 | 2,02 | 0,22 | 0,81 | 7,43 |
| Média | 0,66 | 1,52 | 3,16 | 0,07 | 5,41 | 0,00 | 2,36 | 1,24 | 0,34 | 4,29 | 0,57 | 3,00 | 8,03 |
| Coleta 2 (maio) | | | | | | | | | | | | | |
| P1 | 0,50 | 1,50 | 1,37 | 0,19 | 3,56 | 0,00 | 2,52 | 0,80 | 0,37 | 3,69 | 0,41 | 1,37 | 7,51 |
| P2 | 0,40 | 1,30 | 3,03 | 0,11 | 4,83 | 0,00 | 3,48 | 0,70 | 0,08 | 4,26 | 0,50 | 3,28 | 7,71 |
| P3 | 0,50 | 1,50 | 1,34 | 0,18 | 3,52 | 0,00 | 2,40 | 0,60 | 0,48 | 3,48 | 0,37 | 1,34 | 7,08 |
| P4 | 0,40 | 1,50 | 1,50 | 0,24 | 3,64 | 0,00 | 2,24 | 0,80 | 0,45 | 3,49 | 0,36 | 1,53 | 7,17 |
| P5 | 0,40 | 1,60 | 1,41 | 0,19 | 3,60 | 0,00 | 2,28 | 0,70 | 0,51 | 3,49 | 0,37 | 1,41 | 7,48 |
| Média | 0,44 | 1,48 | 1,73 | 0,18 | 3,83 | 0,00 | 2,58 | 0,72 | 0,38 | 3,68 | 0,40 | 1,79 | 7,39 |
| Coleta 3 (julho) | | | | | | | | | | | | | |
| P1 | 1,00 | 1,80 | 3,43 | 0,24 | 6,47 | 0,00 | 2,28 | 2,80 | 1,02 | 6,10 | 0,64 | 2,90 | 7,48 |
| P2 | 1,10 | 2,10 | 4,04 | 0,41 | 7,66 | 0,00 | 2,64 | 2,90 | 1,26 | 6,80 | 0,66 | 3,19 | 7,54 |
| P3 | 1,10 | 2,20 | 4,17 | 0,33 | 7,60 | 0,00 | 2,40 | 2,90 | 1,08 | 6,38 | 0,63 | 3,28 | 7,29 |
| P4 | 0,80 | 1,90 | 3,52 | 0,23 | 6,45 | 0,00 | 1,92 | 2,70 | 1,13 | 5,75 | 0,59 | 3,03 | 7,08 |
| P5 | 1,00 | 1,60 | 2,32 | 0,24 | 5,16 | 0,00 | 2,00 | 2,80 | 0,99 | 5,79 | 0,60 | 2,03 | 7,18 |
| Média | 1,00 | 1,88 | 3,50 | 0,29 | 6,67 | 0,00 | 2,25 | 2,82 | 1,10 | 6,16 | 0,62 | 2,88 | 7,31 |
| Água da chuva | | | | | | | | | | | | | |
| | 0,15 | 0,15 | 0,06 | 0,00 | 0,36 | 0,00 | 0,14 | 0,20 | 0,00 | 0,34 | 0,03 | 0,15 | 5,7 |

5 CONCLUSÕES

- As características heterogêneas dos solos de estudo são devidas principalmente ao seu processo de formação, que ocorre pela acumulação e distribuição desuniformes de sucessivos depósitos de materiais provenientes de outros locais.
- Vários grupos de íons solúveis manifestaram preferência espacial ao longo do perfil estudado, também destacando a afinidade entre eles.
- O aumento do pH com a profundidade nos dois solos diminui a proporção dos cátions solúveis como o cálcio, potássio e magnésio no complexo sortivo para o benefício do íon sódio.
- Os valores do pH, no NFST, relativamente baixos para um solo sódico, indicam que o mesmo é um solo em processo de degradação.
- A textura argilosa do NFST em profundidade limita a mobilidade vertical por capilaridade do sódio no perfil, favorecendo o movimento lateral desse íon, reduzindo o risco de sodificação da camada superficial.
- A salinidade do NFST nas camadas mais superficiais não foi influenciada pelo nível do lençol freático, o qual se encontra abaixo de 2 m.
- A água observada no NFST vem principalmente da água de percolação.

REFERÊNCIAS

- AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R.N.; MOTA, J.C.A. **Física do solo Conceito e Aplicações**. Fortaleza. Imprensa Universitária. 2008.
- ANDRADE, E. M.; D'ALMEIDA, D. M. B. A.; MEIRELES, A. C. M.; LEMOS FILHO, L. C. A.; ARRUDA, F. E. R. **Evolução da concentração iônica da solução do solo em áreas irrigadas na Chapada do Apodi, Ceará**. Revista Ciência Agronômica, v.35, p.9-16, 2004.
- AYERS, R. S., WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture, FAO irrigation and drainage** paper 29 (Rev. 1), Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations. Rome, Italy, 1985. Disponível em: http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/tmdl/records/state_board/1985/ref2648.pdf,
- BADV, K., MAHOOTI, A. A. **Chloride transport in layered soil systems with hydraulic trap effect**. Environ. Technol. 26(8): 885–897. 2005. doi:10.1080/09593332608618500. PMID:16128387.
- BARROS, F. F. **Estudo da qualidade da água e balanço de sais em reservatórios superficiais na bacia do rio Curu**. Dissertação de mestrado, UFC, Fortaleza - CE. 1994
- BARROS, M. DE F. C. **Recuperação de solos salinos sódicos pelo uso de gesso de jazida e calcário**. Viçosa, UFV, 87 p. Tese Doutorado, 2001.
- BASTIDA, J. A. H.; De ORO, N. V.; SILLA, R. O. **Electrolytic Conductivity of Semiarid Soils (Southeastern Spain) in Relation to Ion Composition**; Arid Land Research and Management 18: 265–281, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/15324980490451348>
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K.H. Bulk density; *In* A Klute (ed.) **Methods of Soil Analysis**, Part 1. Physical and Mineralogical Methods - Agronomy Monograph No. 9 (2ed). American Society of Agronomy - Soil Science Society of America, Madison, p. 363-375, WI. 1986.
- CAMPBELL, G. S., **Soil physics with Basic**. Transport models for soil–plant systems: Developments in soil sciences, 14. Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, 150p., 1985.
- CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, UFC, 2017. Disponível em: <http://www.cca.ufc.br/fazendas-experimentais/fazenda-experimental-vale-do-curu-pentecoste/>
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil**; Brasília, DF: 252p. 2016.
- COELHO, M. A., **Aspectos da dinâmica do água em solos sódicos e salino-sódicos**, 18º Congresso Brasileiro de Ciência do solo, Salvador, 1981. Disponível em: www.ccarevista.ufc.br/site/down.php?arq=06rca14.pdf, Acesso em 22 julho 2017.
- CUNHA, T. J. F., PETRERE, V. G., SILVA, D. J., MENDES, A. M. S., MELO, R. F. de, OLIVEIRA, NETO M. B. de, SILVA, M. S. L. da, ALVAREZ, I. A. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo.

In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Ed.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, cap. 2, p. 50-87, 2010.

De ARAÚJO, S. M. S.; **A Região Semiárida do Nordeste do Brasil: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos**; Rios Eletrônica- Revista Científica da FASETE ano 5 n. 5 dezembro 2011. Disponível em: http://www.fasete.edu.br/revistarios/media/revistas/2011/a_regiao_semiarida_do_nordeste_do_brasil.pdf

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Banco de dados da Estação Meteorológica Fazenda Experimental Vale do Curu (Pentecoste). E-mail: thales@ufc.br, 2018.

De OLIVEIRA, L. B.; RIBEIRO, M. R.; XAVIER FERREIRA, V. M. G.; LIMA, J. F. W. F.; MARQUES, F. A.; **Inferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia, PE**; Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 37, n. 10, p. 1477-1486, out. 2002.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (eds.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza, INCTSal, p.129-141. 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS. Perímetro irrigado Curu-Pentecoste. Fortaleza 2011. Disponível em: http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/ce/curu_pentecoste.html

Dos SANTOS, P. M.; Propriedades Físicas e Químicas de um Neossolo Quartzarênico Submetido a Lâminas de Lixiviação. **Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo)**. RECIFE - PE. 2009

Dos SANTOS, R. V.; CALVANTE, L. F.; VITAL, A. de F. M. Interações salinidade-fertilidade do solo, p. 221- 252 *In Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*, (1ed) Fortaleza - CE. 472p., 2010.

Dos SANTOS, M. A.; FREIRE, M. B. G. Dos S.; De ALMEIDA, B. G.; LINS, C. M. T.; Da SILVA, E. M.; Dinâmica de íons em solo salino-sódico sob fitorremediação com *Atriplex nummularia* e aplicação de gesso; **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.17, n.4, p.397–404, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. edição revista, Rio de Janeiro, 230 p., 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Solos do Nordeste**. 8p. Novembro 2014.

FASSBENDER, H. W.; BORNEMISZA, E. **Química dos suelos com énfasis em suelos de América Latina**. 2 ed., San José: IICA, 420p. 1987.

FERNANDES, J. G.; FREIRE, M. B. G. D. S., GALVINCIO, J. D., PATRÍCIA RIBEIRO DOS SANTOS, P. R., CUNHA, J. C.; **Características físicas e químicas dos solos do Perímetro Irrigado Cachoeira II em função do tempo**; Pesq. agropec. pernamb., Recife, v. 19, n. 1, p. 33-43, jan./jun. 2014.

FERREIRA, P.A.; SILVA J.B.L., RUIZ, H.A. Aspectos físicos e químicos de solos em regiões áridas e semiáridas p. 22-41; **In Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Fortaleza: Aspectos físicos e químicos de solos em regiões áridas e semiáridas**, 472p., 2010.

FERREYRA, F. F. H.; COELHO, M. A.; **Variação da concentração de sais na solução de um solo aluvial vértico cultivado com arroz sob inundação**. R. bras. Ci. Solo 8:69-76,1984.

FERREYRA, F. F. H.; SILVA, F. R.; **Identificação mineralógica das frações areia e argila dos solos aluviais do perímetro K do projeto de irrigação de Morada Nova, Ceará**. Ciência Agrônômica, Fortaleza, v. 22, n. 1/2, p. 29-37, jun./dez. 1991.

FROTA JÚNIOR, J. I., ANDRADE, E. M., MEIRELES, A. C. M., BEZERRA, A. M. E., SOUZA, B. F. S., **Influência antrópica na adição de sais no trecho perenizado da bacia hidrográfica do Curu, Ceará**; Rev. Ciênc. Agron., v.38, n.2, p.142-148, 2007.

GARDNER, W.R., FIREMAN, M. **Laboratory studies of evaporation from soil columns in the presence of a water table**. Soil Sci. 85(5): 244–249, 1958. doi:101097/00010694-195805000-00002.

GARDNER, W. R., **Soil water relations in arid and semi-arid conditions**, US salinity Laboratory; Agricultural Research Service, Riverside, California; Arid Zone Research XV, 29p., 1959. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001487/148781eb.pdf>

GARDNER, W.H. Water Content. In: **Methods of Soil Analysis**, Part 1. Physical and Mineralogical Methods— Agronomy Monograph No 9 (2nd Edition) American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, p. 493-544. WI. 1986.

GEE, G.W., BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In A Klute (ed.) **Methods of Soil Analysis**, Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph No. 9 (2ed). American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, Madison, p. 383-411, WI. 1986. doi: 10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15

GORAYEB, A.; SOUZA, M. J. N.; FIGUEIREDO, M. C. B.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; SILVA, E. D. **Aspecto geoambientais, condições de uso e ocupação do solo e níveis de desmatamento da bacia hidrográfica do Rio Curu, Ceará - Brasil**. Universidade Estadual de Londrina, v. 14, n. 2. 2005.

HANSON, B., GRATTAN., S.R., FULTON, A., **Agricultural salinity and drainage**. University of California Irrigation Program, University of California, Davis, 180 p.,1999, revised edition 2006. Disponível em: http://hos.ufl.edu/sites/default/files/faculty/gdliu/HansonGrattan2006_0.pdf

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2017. Disponível em: https://www.suapesquisa.com/geografia_do_brasil/populacao_nordeste.htm

INSTITUTO DE ESTUDOS E PESQUISAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ. **Caderno Regional da Bacia do Litoral**. Volume 8, 96p. Fortaleza – Ceará, 2009. Disponível em: <http://tmp.mpce.mp.br/orgaos/CAOMACE/cordenadorias/pactodasaguas/Caderno.Regional.da.Bacia.do.Litoral.pdf>

JOECKEL, R.M.; CLEMENT, B.J.A. **Soils, surficial geology, and geomicrobiology of saline-sodic wetlands**, North Platte River Valley, Nebraska, USA. *CATENA*, 61, 63–101, 2005.

KIEHL, E.J. **Manual de Edafologia, Relações solo -planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 264p. 1979.

KOVDA, V. A., **Principles of the theory and practice of reclamation and utilization of saline soils in the arid zones**, *Arid Zone Research XIV*: 2-1-213. 1961.

LI, X., CHANG, X. S., SALIFU, K. F., **Soil texture and layering effects on water and salt dynamics in the presence of a water table: a review**. *NRC Research Press; Environ. Rev.* 22: 41–50 , 2014. Disponível em: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.1139/er-2013-0035>

LUNA, N. R. de S.; ANDRADE, E. M., CRISÓSTOMO, L. A.; MEIRELES, A. C. M.; AQUINO, D. do N.; **Dinâmica do nitrato e cloreto no solo a qualidade das águas subterrâneas do distrito de irrigação Baixo Acaraú, CE**. *Revista Agro@ambiente On-line*, v. 7, n. 1, p. 53-62, janeiro-abril, 2013.

MAGALHÃES, R. C.; MAGALHÃES, R. C. G.; **Mineralogia e Química de Solo de Várzea e Suas Susceptibilidades no Processo de Terras Caídas na Comunidade do Divino Espírito Santo-AM**; *Soc. & Nat.*, Uberlândia, 25 (3): 609-621, set/dez/2013.

MELO, R.M.; BARROS, M.F.C.; SANTOS, P.M.; ROLIM, M.M. Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 12: 376-380, 2008.

MERRILL, S.D., DOERING, E.J., POWER, J.F., SANDOVAL, F.M. **Sodium movement in soil-mine spoil profiles: diffusion and convection**. *Soil Sci.* 136(5): 308–316. 1983. doi:10.1097/00010694-198311000-00005.

MOURA FILHO, W.; BUOL, S. W. **Studies of a Latosol Roxo (Eustrtox) in Brazil: micromorphology effect on ion release**. *Experientiae*, v.21, n.8, p.161-177. 1976.

MOTA, F. O. B.; OLIVEIRA, J. B.; **Mineralogia de Solos com Excesso de Sódio no Estado do Ceará**; *R. Bras. Ci. Solo*, 23:799-806, 1999.

MUNNS, R., TESTER, M. **Mechanisms of salinity tolerance**. *Annual Review of Plant Biology* 59, 651–681, 2008.

NUNES, W. A. G. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; RUIZ, H. A.; BEIRIGO, R. M.; BONCOMPANI, A. L. P.; **Características Químicas de Solos da Região de Janaúba, MG, Irrigados com Água de Poços Tubulares e do Rio Gorutuba**; *R. Bras. Ci. Solo*, 32:227-236, 2008.

OLIVEIRA, A.B.; GOMES-FILHO, E., **Efeito do condicionamento osmótico na germinação e vigor de sementes de sorgo com diferentes qualidades fisiológicas**. *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, v.32, n.3, p.25-34, set. 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-31222010000300003&lng=pt&nrm=iso

PAES, J. L. A., RUIZ H. A., FERNANDES, R. B. A., FREIRE, M. B. G. dos S., BARROS, M. de F. C., ROCHA, G. C., **Dispersão de argilas em solos afetados por sais**, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, n.11, p.1135–1142, 2013.

PEDROTTI, A., CHAGAS, R. M., RAMOS, V. C., PRATA, A. P. do N., LUCAS, A. A. T., SANTOS, P. B. dos **Causas e consequências do processo de salinização dos solos**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, mai-ago. 2015. doi: 105902/2236117016544

PEREIRA, J. M. G; BEZERRA, F. M. L; PEREIRA FILHO, J. V. **Avaliação de um Sistema de Irrigação Localizada em Melancia Fertirrigada Através dos Métodos de Keller e Karmelli E Danículi**; INOVAGRI International Meeting e IV WINOTEC Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação; p. 534 - 537; 2012.

PESSOA, L. G. M. **Desenvolvimento de cebola e atributos químicos de dois neossolos flúvicos irrigados com águas salinas**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Rural de Pernambuco. 86p., Recife-PE, Brasil, 2009.

PHOCAIDES, A.; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, **Handbook on Pressurized Irrigation Techniques**, Rome: FAO, 280 p., 2007.

RAMOS, T.; GONÇALVES, M. C.; MARTINS, J. C.; PIRES, F.; PEREIRA, L. S.; **Soil hydraulic properties in different soil texture classes**; REVISTA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, VOL. XXXIV, 2: 252-264; 2011. Disponível em: <http://www.scielo.mec.pt/pdf/rca/v34n2/v34n2a23.pdf> ; Acesso em 21 abril 2018.

RASHEED, H. R., AL-ANAZ, H., ABID, K.A. **Evaporation from soil surface in presence of shallow water tables**. In Proceedings of the Baltimore Symposium, Baltimore, Maryland. IAHS Publ. no. 181, 1989.

RENGASAMY, P., & OLSSON, K. A. **Sodicity and soil structure**. Australian Journal of Soil Research, 29, 935–952. 1991.

RENGASAMY, P., SUMNER, M. E. **Processes involved in sodic behaviour**. In M. E.Sumner, & R. Naidu (Eds.), Sodic soils: Distribution, properties, management, and environmental consequences (pp. 35–50). New York: Oxford University Press. 1998.

RENGASAMY, P. **Soil salinization**. Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science, 34p. 2016. doi: 10.1093/acrefore/9780199389414.013.65

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, p.449-484. 2009.

RIBEIRO, M. R. Origem e Classificação dos Solos Afetados por Sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Eds.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza, INCTSal. p.11-19. 2016.

RICHARDS, L. A., **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U. S. Government Printing, Office, D. C. *Dep. Agric. Handbook* 60. 160 p. 1954.

ROSE, D.A., KONUKCU, F., GOWING, J.W. **Effect of watertable depth on evaporation and salt accumulation from saline groundwater.** Aust. J. Soil Res.43(5): 565p. 2005. doi:10.1071/SR04051.

RYTWO, G.; BANIN, A.; NIR, S.; **Exchange reactions in the Ca-Mg-Na Montmorillonite system.** *Clays and Clay Minerals*, Vol. 44 No. 2, 276-285, 1996.

SALEH, H.H., TROEH, F.R. **Salt distribution and water consumption from a water table with and without a crop.** *Agron. J.* 74(2): 321–324; 1982. doi:10.2134/agronj1982.00021962007400020015x.

SANTOS, H. G. , JACOMINE, P. K. T., ANJOS L. H. C., OLIVEIRA, V. A., OLIVEIRA, J. B., COELHO, M. R., LUMBRERAS, J. F., CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2ª Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306p., 2006. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf>.

SCHERER, H. W., **Sulfur in soils.** *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2009, 172, 326–335, 2009. DOI: 10.1002/jpln.200900037

SEEBOONRUANG, U., **The study on physical and chemical properties of shallow groundwater in the Lower Namkam Basin Area in Nakhon Panom Province.** The 2nd Conference on Water Resource Management and Technology, 21–22 May, 2009.

SHAINBERG, I.; and OSTER, J. D. **Quality of irrigation water.** Bet dagon: International Irrigation Center, 65p, 1978.

SHAINBERG, I; and LETEY, J., **Response of soils to sodic and saline conditions.** *Hilgardia*, v. 52, p.1-57. 1984.

SILVA, J. D. G.; SOUZA, A. M. de O.; OLIVEIRA, E. E. M; .PESSOA, L. G. M.; FREIRE, M. B. G. S.; **Distribuição de sais em área degradada do Perímetro Irrigado do Moxotó, Ibimirim – Pernambuco;** II INOVAGRI International Meeting, p.4078-4088; Fortaleza, Brasil, 2014.

SILVA, J. L. A.; ALVES, S. S. V.; NASCIMENTO, I. B.; SILVA, M. V. T.; MEDEIROS, J. F. **Evolução da salinidade em solos representativos do Agropólo Mossoró-Assu cultivado com meloeiro com água de diferentes salinidades.** *Agropecuária Científica no Semiárido*, v.7, n.4, p.26-31, 2011.

SILVA, M. O.; FREIRE, M. B. G. S.; MENDES, A. M. S.; FERNANDES, M. B.; OLIVEIRA, D. A.; **Composição do lixiviado de quatro solos do Rio Grande do Norte irrigados com águas salinas.** *Revista Caatinga*, v.21, n.1, p.189-203, 2008.

SILVEIRA, R. N. C. M., **Aquífero Aluvionar como Suporte à Irrigação na Bacia Hidrográfica do Rio Curu, Ceará.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará. Área de Concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido. 90p. Fortaleza, 2014.

SIMON, F.W. ; REGINATO, P.A.R. ; KIRCHHEIM, R.E. ; TROIAN, G. C.; **Estimativa de recarga do sistema aquífero Guarani por meio da aplicação do método da variação da**

superfície livre na Bacia do Rio Ibicuí-RS. *Águas Subterrâneas*, 31(2):12-29, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v31i2.28631>. Acesso em 25 abril 2018.

SOUZA, M. J. N., SANTOS, J. O., OLIVEIRA, V. P. V., **Sistemas ambientais e capacidade de suporte na bacia hidrográfica do Rio Curu-CEARÁ**, *Revista Continentes (UFRRJ)*, ano 1, n. 1, p.119-143, 2012. Disponível em: <http://projects.mcrit.com/ceara/index.php/estudos-de-degradacao-ambiental/estudo-de-degradacao/119-sistemas-ambientais-e-capacidade-de-suporte-na-bacia-hidrografica-do-rio-curu-ceara>, Acesso em 21 Julho 2017.

SPARKS, D. L. **Environmental soil chemistry**. New York: Academic, 1995. 267 p.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils** (2d ed.). New York: Oxford University Press. 342 p., 2008. Disponível em: <http://base.dnsgb.com.ua/files/book/Agriculture/Soil/The-Chemistry-of-Soils.pdf>

STALEY, R.W. **Effect of depth of water table on evaporation from fine sand**. M.Sc. thesis, Colorado State University, Fort Collins, USA. 1957.

SUMNER, M. E.; **Sodic soils: new perspectives**. I.: NAIDU, R.; SUMNER, M. E. ; REGASAMY, P. *Australian sodic soils : distribution, properties and management*. Victory, CSIRO, 1995. P. 1-34.

TABATABAI, M.A.; BREMNER, J .M. **Distribution of total and available sulfur in selected soils and soil profiles**. *Agronomy Journal*, Madison, v.64, n.1, p.40-44, 1972.

VEIHMEYER, F.J. and BROOKS, F.A.; **Measurements of cumulative evaporation from bare soil**. *Am. Geophys. Union Trans. Volume 35 No4: 601-607; 1954.* doi:10.1029/TR035i004p00601.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980, p.319-344.

WIEDENFELD, B. **Effects of irrigation water salinity and electrostatic water treatment for sugarcane production**. *Agric. Water Manage.* 95:85-88, 2008.

ANEXOS

Anexo 1 - Precipitação pluviométrica mensal (PPM) e Evaporação do tanque (EVT) na Fazenda Experimental do Vale Curu.

| Em mm | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Tota l em mm |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------|
| PPM (2008-2017) | 81,35 | 90,30 | 147,15 | 205,74 | 104,50 | 51,01 | 22,39 | 1,70 | 0,00 | 0,16 | 0,88 | 14,05 | 719,23 |
| EVT (2008-2017) | 183,00 | 158,48 | 129,90 | 115,77 | 144,66 | 149,15 | 181,11 | 233,41 | 258,05 | 257,79 | 248,41 | 228,59 | 2288,32 |
| PPM (2017) | 81,40 | 138,50 | 184,20 | 118,40 | 99,00 | 41,60 | 40,80 | 5,00 | 0,00 | 0,20 | 0,00 | 36,00 | 745,10 |
| EVT (2017) | 173,20 | 134,10 | 141,10 | 106,00 | 110,20 | 141,20 | 165,00 | 221,00 | 235,10 | 257,79 | 248,41 | 228,59 | 2161,69 |

Anexo 2 - Normalidade dos dados segundo o teste de Shapiro-Wilk ($p>0,05$), em diferentes períodos de coleta no Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (NFET)

| Período | <i>p-value das Variáveis</i> | | | | | | | | | |
|----------------|------------------------------|------|------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------------|
| | CE | pH | RAS | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Cl ⁻ | S-SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ |
| Chuvoso | 4,45e-05 | 0,51 | 0,48 | 8,09e-05 | 9,60e-05 | 0,14 | 7,16e-07 | 3,68e-06 | 0,94 | 0,00 |
| Seco | 2,87e-05 | 0,84 | 0,19 | 1,88e-05 | 0,00 | 0,15 | 7,76e-06 | 1,30e-05 | 0,01 | 0,00 |

NB: CE: dS/m; Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, S-SO₄²⁻ e HCO₃⁻ : mmol/L;

Anexo 3 -Normalidade dos dados segundo o teste de Shapiro-Wilk ($p>0,05$), em diferentes períodos de coleta no Neossolo Flúvico Sódico Típico (NFST)

| Período | <i>p-value das Variáveis</i> | | | | | | | | | |
|----------------|------------------------------|------|------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------------|
| | CE | pH | RAS | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Cl ⁻ | S-SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ |
| Chuvoso | 0,01 | 0,28 | 0,18 | 1,13e-05 | 0,00 | 0,00 | 6,66e-05 | 0,37 | 0,22 | 0,00 |
| Seco | 0,71 | 0,99 | 0,13 | 7,57e-05 | 0,00 | 0,09 | 0,00 | 0,58 | 0,54 | 0,00 |

NB: CE: dS/m; Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, S-SO₄²⁻ e HCO₃⁻ : mmol/L

Anexo 4 - Normalidade dos dados segundo o teste de Shapiro-Wilk ($p>0,05$), nas diferentes profundidades estudadas no Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (NFET)

| Camadas (cm) | <i>p-value das Variáveis</i> | | | | | | | | | |
|-----------------|------------------------------|------|------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------------|
| | CE | pH | RAS | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Cl ⁻ | S-SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ |
| 0-5 | 0,09 | 0,84 | 0,21 | 0,13 | 0,25 | 0,14 | 0,07 | 0,18 | 0,56 | 0,74 |
| 5-15 | 0,05 | 0,55 | 0,63 | 0,00 | 0,16 | 0,22 | 0,80 | 0,50 | 0,29 | 0,09 |
| 15-25 | 0,41 | 0,74 | 0,27 | 0,11 | 0,08 | 0,21 | 0,91 | 0,74 | 0,32 | 0,23 |
| 25-40 | 0,45 | 0,68 | 0,64 | 0,34 | 0,39 | 0,92 | 0,00 | 0,28 | 0,64 | 0,70 |
| 40-60 | 0,13 | 0,51 | 0,75 | 0,46 | 0,40 | 0,14 | 0,50 | 0,36 | 0,53 | 0,00 |

NB: CE: dS/m; Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, S-SO₄²⁻ e HCO₃⁻: mmol/L

Anexo 5 -Normalidade dos dados segundo o teste de Shapiro-Wilk ($p>0,05$), nas diferentes profundidades estudadas no Neossolo Flúvico Sódico Típico (NFST)

| Camadas (cm) | <i>p-value das Variáveis</i> | | | | | | | | | |
|-----------------|------------------------------|------|------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------------|
| | CE | pH | RAS | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Cl ⁻ | S-SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ |
| 0-5 | 0,11 | 0,71 | 0,37 | 0,15 | 0,21 | 0,20 | 0,51 | 0,43 | 0,94 | 0,38 |
| 5-15 | 0,85 | 0,71 | 0,52 | 0,01 | 0,73 | 0,09 | 0,01 | 0,12 | 0,82 | 0,44 |
| 15-25 | 0,19 | 0,89 | 0,89 | 0,61 | 0,61 | 0,48 | 0,03 | 0,55 | 0,16 | 0,93 |
| 25-40 | 0,94 | 0,58 | 0,84 | 0,59 | 0,20 | 0,80 | 0,36 | 0,27 | 0,96 | 0,08 |
| 40-60 | 0,48 | 0,60 | 0,64 | 0,18 | 0,29 | 0,97 | 0,27 | 0,21 | 0,59 | 0,14 |

NB: CE: dS/m; Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, S-SO₄²⁻ e HCO₃⁻: mmol/L

Anexo 6 - Comparação do valor médio do pH entre os diferentes períodos e camadas e suas interações nas duas áreas

| Área 1 - Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (NFET) | | | | | | |
|--|--------------|---------|---------|--------|--------|-----------------|
| Período | Camadas (cm) | | | | | Média (n=15) |
| | 0-5 | 5-15 | 15-25 | 25-40 | 40-60 | |
| Chuvoso (n=3) | 6,33Aa | 6,58Aa | 7,05Aa | 7,20Aa | 7,34Aa | 6,90A |
| Seco (n=3) | 6,43Ab | 6,83Aab | 7,05Aab | 7,37Aa | 7,50Aa | 7,04A |
| Média (n=6) | 6,38b | 6,70ab | 7,05ab | 7,20a | 7,42a | |
| Área 2 - Neossolo Flúvico Sódico Típico (NFST) | | | | | | |
| Chuvoso (n=3) | 7,31Aa | 7,54Aa | 7,80Aa | 7,85Aa | 7,93Aa | 7,69A |
| Seco (n=3) | 7,04Aa | 7,32Aa | 7,40Aa | 7,62Aa | 7,75Aa | 7,43A |
| Média (n=6) | 7,17a | 7,43a | 7,60A | 7,73A | 7,84a | |

NB₁: As médias acompanhadas da mesma letra maiúscula na mesma coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($p>0,05$).

NB₂: As médias acompanhadas da mesma letra minúscula na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($p>0,05$).

Anexo 7 - Comparação do valor médio da CE (dS/m) entre os diferentes períodos e camadas e suas interações nas duas áreas

| Área 1 - Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (NFET) | | | | | | |
|---|---------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|
| Período | Camadas (cm) | | | | | Média (n=15) |
| | 0-5 | 5-15 | 15-25 | 25-40 | 40-60 | |
| Chuvoso (n=3) | 0,52Aa | 0,22Aab | 0,16Ab | 0,16Ab | 0,22Aab | 0,26A |
| Seco (n=3) | 0,69Aa | 0,18Ab | 0,14Ab | 0,13Ab | 0,16Ab | 0,27A |
| Média (n=6) | 0,60a | 0,205b | 0,15b | 0,15b | 0,19b | |
| Área 2 - Neossolo Flúvico Sódico Típico (NFST) | | | | | | |
| Chuvoso (n=3) | 0,86Aa | 0,61Aa | 0,67Aa | 0,83Aa | 0,96Aa | 0,79A |
| Seco (n=3) | 1,02Aa | 0,62Aa | 0,69Aa | 0,80Aa | 1,07Aa | 0,84A |
| Média (n=6) | 0,94a | 0,62b | 0,68ab | 0,82ab | 1,02a | |

NB₁: As médias acompanhadas da mesma letra maiúscula na mesma coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p>0,05).

NB₂: As médias acompanhadas da mesma letra minúscula na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p>0,05).

Anexo 8 - Comparação da concentração média de cálcio solúvel (mmol/L) entre os diferentes períodos e camadas e suas interações nas duas áreas

| Área 1 - Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (NFET) | | | | | | |
|---|---------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|
| Período | Camadas (cm) | | | | | Média (n=15) |
| | 0-5 | 5-15 | 15-25 | 25-40 | 40-60 | |
| Chuvoso (n=3) | 1,07Aa | 0,50Aa | 0,25Aa | 0,19Aa | 0,18Aa | 0,44A |
| Seco (n=3) | 1,81Aa | 0,37Ab | 0,20Ab | 0,17Ab | 0,19Ab | 0,55A |
| Média (n=6) | 1,44a | 0,43b | 0,22b | 0,18b | 0,19b | |
| Área 2 - Neossolo Flúvico Sódico Típico (NFST) | | | | | | |
| Chuvoso (n=3) | 2,31Aa | 0,91Aa | 0,74Aa | 0,63Aa | 0,78Aa | 1,16A |
| Seco (n=3) | 2,95Aa | 1,00Aab | 0,67Ab | 0,62Ab | 0,52Ab | 1,08A |
| Média (n=6) | 2,63a | 0,95b | 0,71b | 0,62b | 0,65b | |

NB₁: As médias acompanhadas da mesma letra maiúscula na mesma coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p>0,05).

NB₂: As médias acompanhadas da mesma letra minúscula na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p>0,05).

Anexo 9 - Comparação da concentração média de magnésio solúvel (mmol_c/L) entre os diferentes períodos e camadas e suas interações nas duas áreas

| Área 1 - Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (NFET) | | | | | | |
|---|---------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|
| Período | Camadas (cm) | | | | | Média (n=15) |
| | 0-5 | 5-15 | 15-25 | 25-40 | 40-60 | |
| Chuvoso (n=3) | 2,44Aa | 0,65Ab | 0,48Ab | 0,47Ab | 0,43Ab | 0,90A |
| Seco (n=3) | 2,98Aa | 0,89Ab | 0,72Ab | 0,45Ab | 0,40Ab | 1,09A |
| Média (n=6) | 2,71a | 0,77b | 0,60b | 0,46b | 0,41b | |
| Área 2 - Neossolo Flúvico Sódico Típico (NFST) | | | | | | |
| Chuvoso (n=3) | 2,97Aa | 1,35Aa | 1,14Aa | 1,60Aa | 0,89Aa | 1,59A |
| Seco (n=3) | 3,71Aa | 1,48Aab | 1,16Ab | 1,19Ab | 0,87Ab | 1,69A |
| Média (n=6) | 3,34a | 1,42b | 1,15b | 1,40b | 0,89b | |

NB₁: As médias acompanhadas da mesma letra maiúscula na mesma coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p>0,05).

NB₂: As médias acompanhadas da mesma letra minúscula na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p>0,05).

Anexo 10 - Comparação da concentração média de potássio solúvel (mmol_c/L) entre os diferentes períodos e camadas e suas interações nas duas áreas

| Área 1 - Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (NFET) | | | | | | |
|---|---------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|
| Período | Camadas (cm) | | | | | Média (n=15) |
| | 0-5 | 5-15 | 15-25 | 25-40 | 40-60 | |
| Chuvoso (n=3) | 0,98Aa | 0,25Aa | 0,11Aa | 0,10Aa | 0,10Aa | 0,31A |
| Seco (n=3) | 1,37Aa | 0,26Ab | 0,13Ab | 0,09Ab | 0,09Ab | 0,39A |
| Média (n=6) | 1,17a | 0,25b | 0,12b | 0,09b | 0,09b | |
| Área 2 - Neossolo Flúvico Sódico Típico (NFST) | | | | | | |
| Chuvoso (n=3) | 0,35Aa | 0,07Ab | 0,07Ab | 0,07Ab | 0,08Ab | 0,13A |
| Seco (n=3) | 0,41Aa | 0,07Ab | 0,06Ab | 0,16Bab | 0,13Ab | 0,17A |
| Média (n=6) | 0,38a | 0,07b | 0,07b | 0,12b | 0,11b | |

NB₁: As médias acompanhadas da mesma letra maiúscula na mesma coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p>0,05).

NB₂: As médias acompanhadas da mesma letra minúscula na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p>0,05).

Anexo 11 - Comparação da concentração média de sódio solúvel (mmol/L) entre os diferentes períodos e camadas e suas interações nas duas áreas

| Área 1 - Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (NFET) | | | | | | |
|---|---------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|
| Período | Camadas (cm) | | | | | Média (n=15) |
| | 0-5 | 5-15 | 15-25 | 25-40 | 40-60 | |
| Chuvoso (n=3) | 0,30Ab | 0,45Ab | 0,56Ab | 0,79Aab | 1,17Aa | 0,66A |
| Seco (n=3) | 0,46Ab | 0,45Ab | 0,48Ab | 0,61Aab | 0,91Aa | 0,59A |
| Média (n=6) | 0,38c | 0,45bc | 0,52bc | 0,70b | 1,04a | |
| Área 2 - Neossolo Flúvico Sódico Típico (NFST) | | | | | | |
| Chuvoso (n=3) | 2,91Aa | 3,24Aa | 3,69Aa | 4,79Aa | 6,34Aa | 4,20A |
| Seco (n=3) | 3,52Ab | 3,38Ab | 3,88Ab | 4,56Aab | 6,55Aa | 4,38A |
| Média (n=6) | 3,22b | 3,31b | 3,78b | 4,67b | 6,44a | |

NB₁: As médias acompanhadas da mesma letra maiúscula na mesma coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p>0,05).

NB₂: As médias acompanhadas da mesma letra minúscula na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p>0,05).

Anexo 12 - Comparação da concentração média de cloreto solúvel (mmol/L) entre os diferentes períodos e camadas e suas interações nas duas áreas

| Área 1 - Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (NFET) | | | | | | |
|---|---------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|
| Período | Camadas (cm) | | | | | Média (n=15) |
| | 0-5 | 5-15 | 15-25 | 25-40 | 40-60 | |
| Chuvoso (n=3) | 1,60Aa | 0,75Aa | 0,54Aa | 0,69Aa | 0,84Aa | 0,89A |
| Seco (n=3) | 2,98Aa | 0,63Ab | 0,52Ab | 0,38Bb | 0,49Bb | 1,00A |
| Média (n=6) | 2,29a | 0,69b | 0,53b | 0,53b | 0,67b | |
| Área 2 - Neossolo Flúvico Sódico Típico (NFST) | | | | | | |
| Chuvoso (n=3) | 3,03Aa | 2,14Aa | 3,06Aa | 4,02Aa | 5,14Aa | 3,48A |
| Seco (n=3) | 4,24Aa | 2,90Aa | 3,06Aa | 3,93Aa | 5,44Aa | 3,92A |
| Média (n=6) | 3,64ab | 2,52b | 3,06ab | 3,98ab | 5,29a | |

NB₁: As médias acompanhadas da mesma letra maiúscula na mesma coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p>0,05).

NB₂: As médias acompanhadas da mesma letra minúscula na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p>0,05).

Anexo 13 - Comparação da concentração média de sulfato solúvel (mmol/L) entre os diferentes períodos e camadas e suas interações nas duas áreas

| Área 1 - Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (NFET) | | | | | | |
|---|---------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|
| Período | Camadas (cm) | | | | | Média (n=15) |
| | 0-5 | 5-15 | 15-25 | 25-40 | 40-60 | |
| Chuvoso (n=3) | 0,39Aa | 0,47Aa | 0,45Aa | 0,53Aa | 0,94Aa | 0,56A |
| Seco (n=3) | 0,74Aa | 0,36Aa | 0,33Aa | 0,39Aa | 0,82Aa | 0,53A |
| Média (n=6) | 0,56a | 0,41a | 0,39a | 0,46a | 0,88a | |
| Área 2 - Neossolo Flúvico Sódico Típico (NFST) | | | | | | |
| Chuvoso (n=3) | 0,89Aa | 1,71Aa | 1,90Aa | 2,46Aa | 2,95Aa | 1,99A |
| Seco (n=3) | 0,97Ab | 0,98Ab | 1,20Ab | 2,43Aab | 3,27Aa | 1,77A |
| Média (n=6) | 0,93c | 1,34bc | 1,55bc | 2,44ab | 3,11a | |

NB₁: As médias acompanhadas da mesma letra maiúscula na mesma coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p>0,05).

NB₂: As médias acompanhadas da mesma letra minúscula na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p>0,05).

Anexo 14 - Comparação da concentração média de bicarbonato solúvel (mmol/L) entre os diferentes períodos e camadas e suas interações nas duas áreas

| Área 1 - Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (NFET) | | | | | | |
|---|---------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|
| Período | Camadas (cm) | | | | | Média (n=15) |
| | 0-5 | 5-15 | 15-25 | 25-40 | 40-60 | |
| Chuvoso (n=3) | 1,57Aa | 0,83Ab | 0,61Ab | 0,63Ab | 0,60Ab | 0,85A |
| Seco (n=3) | 2,21Aa | 0,88Ab | 0,68Ab | 0,62Ab | 0,73Ab | 1,03A |
| Média (n=6) | 1,89a | 0,85b | 0,65b | 0,63b | 0,66b | |
| Área 2 - Neossolo Flúvico Sódico Típico (NFST) | | | | | | |
| Chuvoso (n=3) | 2,80Aa | 1,59Ab | 1,30Ab | 1,08Ab | 1,06Ab | 1,57A |
| Seco (n=3) | 3,57Aa | 1,76Ab | 1,39Ab | 1,16Ab | 1,18Ab | 1,81A |
| Média (n=6) | 3,19a | 1,67b | 1,35b | 1,12b | 1,12b | |

NB₁: As médias acompanhadas da mesma letra maiúscula na mesma coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p>0,05).

NB₂: As médias acompanhadas da mesma letra minúscula na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p>0,05).

Anexo 15 - Comparação do valor médio da relação adsorção de sódio (RAS) entre os diferentes períodos e camadas e suas interações nas duas áreas

| Área 1 - Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Típico (NFET) | | | | | | |
|---|---------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|
| Período | Camadas (cm) | | | | | Média (n=15) |
| | 0-5 | 5-15 | 15-25 | 25-40 | 40-60 | |
| Chuvoso (n=3) | 0,22Ad | 0,63Acd | 0,93Abc | 1,38Ab | 2,10Aa | 1,05A |
| Seco (n=3) | 0,29Ac | 0,59Abc | 0,75Abc | 1,15Aab | 1,69Aa | 0,90A |
| Média (n=6) | 0,25d | 0,62cd | 0,84bc | 1,26b | 1,89a | |
| Área 2 - Neossolo Flúvico Sódico Típico (NFST) | | | | | | |
| Chuvoso (n=3) | 1,92Ac | 3,05Abc | 3,81Abc | 4,58Aab | 6,84Aa | 4,04A |
| Seco (n=3) | 1,96Ac | 3,07Abc | 4,17Abc | 5,17Aab | 7,85Aa | 4,45A |
| Média (n=6) | 1,94d | 3,06cd | 3,98bc | 4,87b | 7,34a | |

NB₁: As médias acompanhadas da mesma letra maiúscula na mesma coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p>0,05).

NB₂: As médias acompanhadas da mesma letra minúscula na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p>0,05).