



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

LUCAS RAMOS DA COSTA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO DA PLANÍCIE HIPERSALINA DO
ESTUÁRIO DO RIO APODI - MOSSORÓ**

MOSSORÓ – RN
AGOSTO DE 2018

LUCAS RAMOS DA COSTA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO DA PLANÍCIE HIPERSALINA DO
ESTUÁRIO DO RIO APODI - MOSSORÓ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como parte dos requisitos para obtenção do título de “Doutor em Manejo de Solo e Água”.

Orientador: Prof. Dr. Sc. Marcelo Tavares Gurgel.

MOSSORÓ – RN
AGOSTO DE 2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência

C837a Costa, Lucas Ramos da.
Atributos químicos e físicos do solo da planície hipersalina do estuário do Rio Apodi - Mossoró / Lucas Ramos da Costa. - 2018.
196 f. : il.

Orientador: Marcelo Tavares Gurgel.
Coorientador: Renato de Medeiros Rocha.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, 2018.

1. Distribuição espacial. 2. Estuário. 3. Metal pesado. 4. Ambiente Hipersalino. 5. Multivariada.
I. Gurgel, Marcelo Tavares , orient. II. Rocha, Renato de Medeiros, co-orient. III. Título.

LUCAS RAMOS DA COSTA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO DA PLANÍCIE HIPERSALINA DO
ESTUÁRIO DO RIO APODI - MOSSORÓ**

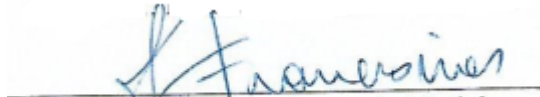
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como parte dos requisitos para obtenção do título de “Doutor em Manejo de Solo e Água”.


Aprovada em: 31/08/2018

Banca examinadora:


Prof. Dr. Marcelo Tavares Gurgel
Presidente – UFERSA


Prof. Dr. Renato de Medeiros Rocha
Coorientador – UFRN


Prof. Dr. José Francismar de Medeiros
Membro do PPGMSA – UFERSA


Prof. Dr. Stefeson Bezerra de Melo
Membro externo ao PPGMSA – UFERSA


Prof. Dr. Jonas de Oliveira Freire
Membro externo a Ufersa - IFRN

Aos meus pais Elias Paula da Costa e Lucimar da Fonseca Ramos e a minha querida tia Valdiza Paula da Costa que com muita determinação souberam conduzir meus ensinamentos de vida.

Ao Deus misericordioso e a minha esposa Lorryny Ramos, que com muito amor contribuíram com incentivo nos momentos mais difíceis, para a conclusão desse trabalho.

A minha família a referência para as minhas decisões.

Ofereço

Combati o bom combate, acabei a carreira, guardei a fé. 2ª Timóteo 4:7

In memoriam

A minha querida e virtuosa avó Maria Ester da Costa a minha tia Vasti Paula da Costa e ao meu irmão Luciney Ramos da Costa, que com determinação me conduziram por caminhos retos, me mostrando que o princípio da sabedoria é o temor do Senhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aqui, pela ordem que a memória me vem trazendo, a alguns daqueles que contribuíram para que esta Tese fosse escrita, direta e indiretamente, recente ou num passado distante, como ao meu Deus, por ser soberano e misericordioso me dando forças e sabedoria na condução do estudo que culminou na superação de mais uma etapa na minha vida.

A meus pais, Elias Paula da Costa e Lucimar da Fonseca Ramos que com muito empenho e dignidade me fortaleceram para enfrentar os obstáculos da vida.

A minha esposa Lorryny Ramos e sua mãe Teresa Barbosa que com amor me ajudam com conselhos válidos para a vida.

Aos meus Irmãos e familiares que sempre me desejaram sucesso nesse trabalho.

Ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, por ofertar a oportunidade da realização do curso.

Ao professor Marcelo Tavares Gurgel, pela orientação, confiança, dedicação e amizade durante este trabalho.

A Professora Jeane Portela e aos professores Francismar, Luis Cesar e Stefesson, fonte inesgotável de conhecimento e conselhos.

Aos amigos Rutilene, Elidaiane, Joaquim, Luis Eduardo, João Paulo e Sílvio Roberto pela ajuda na condução deste trabalho.

Aos técnicos de laboratório Elídio Vale, Ana Kaline, Antônio Carlos, Paula e Tomaz pela cumplicidade, confiança e ensinamentos repassados.

Aos membros da banca examinadora, pelas correções feitas neste trabalho.

Ao CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

A Cimsal, Salinor e Norsal por abrir suas portas e possibilitar a realização deste estudo. Ao Sindicato das indústrias da extração de sal do estado do Rio grande do Norte - SIESAL pela parceria vitoriosa.

Aos que criticaram negativamente ou positivamente a realização do estudo, no entanto, sabendo que tudo serviu para meu crescimento como ser humano.

Sem vocês e tantos outros que certamente mereciam estar citados aqui, esse texto não teria saído do projeto.

Recebam meu forte abraço.

BIOGRAFIA

Lucas Ramos da Costa nasceu em Manaus no estado do Amazonas no dia 07 de Junho de 1988, é o filho mais velho de um casamento com três filhos, estudou o antigo primário no Educandário Santo Agostinho, ainda no mesmo estado.

Nos anos 2000, mudou-se para Natal capital do estado do Rio Grande do Norte onde ingressou no ensino fundamental na Escola Municipal Vereador José Sotero, cumprindo os quatro anos necessários para ser admitido no ensino médio na Escola Estadual Francisco Ivo Cavalcanti, vindo a terminar o ciclo básico de estudo no ano de 2006.

No ano seguinte, prestou vestibular com pretensão de ingressar no curso de Agronomia, sendo aprovado houve a necessidade de mudar-se para a cidade de Mossoró, não hesitou e foi em busca de seu objetivo de vida.

Graduou-se em Engenharia Agrônoma obtendo o título de Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal Rural do Semiárido, no ano de 2012, em Março de 2013 iniciou o mestrado Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, no ano de 2015, iniciou sua longa caminhada rumo a concretização de um projeto de vida, o doutoramento, enfim no ano de 2018, o projeto que foi iniciado aos 13 anos está sendo concretizado aos 30.

Rumo a novos desafios, pois, nas dificuldades do dia-a-dia, esqueçamo-nos os contratempos e sigamos em frente, recordando que Deus esculpiu em cada um de nós a faculdade de resolver os nossos próprios problemas.

RESUMO

LUCAS RAMOS DA COSTA: **Atributos químicos e físicos do solo da planície hipersalina do estuário do Rio Apodi. Mossoró-RN.** Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Agosto de 2018. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água. Orientador: Marcelo Tavares Gurgel.

Pela sua importante função e posição de transição entre o mar e a terra, os ambientes estuarinos tem sido objeto de estudo de diversas áreas da ciência. Porém, são poucos os estudos voltados à compreensão das relações químicas e físicas, bem como da variação espacial química e física do solo estuarino. Entretanto, com a ocupação e exploração da terra para usos diversos, a variabilidade acentua-se. Nos dias atuais, trabalhos sobre variação espacial dos atributos do solo auxiliam na tomada de decisão e aplicação de soluções eficazes em detrimento de riscos ambientais. Objetivou-se com este trabalho compreender as relações existentes dos atributos químicos e físicos em três áreas da planície hipersalina do estuário do rio Apodi-Mossoró. Para alcançar o objetivo, coletou-se ao acaso 52 amostras, com volume de 1 kg, coletadas nas profundidades de 0.5, 1.0, 2.0 e 3.0m e em três áreas denominadas S, C e N, sendo cada ponto de coleta georeferenciado, empregando-se um GPS de navegação. A análise multivariada é uma ferramenta eficiente na discriminação das três áreas estudadas. Os níveis de metais pesados no estuário estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira. Caracteriza-se o estuário do Rio Apodi-Mossoró como constituído por sedimentos fluviais tais como: areias de diferentes granulometrias, seguido por uma sedimentação de transição, o silte contribui para a formação do assoalho do estuário. O estuário do Rio Apodi-Mossoró é classificado como área de apicum, pois, as concentrações de sódio encontram-se em intervalos de 100 e 130 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. A área N possui as maiores concentrações de sódio e o excesso de sais no solo contribui para o maior grau de floculação.

Palavras-chave: Distribuição espacial. Estuário. Metal pesado. Ambiente Hipersalino. Multivariada.

ABSTRACT

Costa, Lucas Ramos da: **Chemical and physical soil attributes of the hypersaline plain of the Apodi River estuary - Mossoró**. Federal Rural University of the Semi-Arid, August 2018. Doctoral Thesis. Program in Soil and Water Management. Advisor: Marcelo Tavares Gurgel

Due to its important role and position of transition between sea and land, estuarine environments have been the object of study of several areas of science. However, few studies have focused on the understanding of chemical and physical relationships, as well as the spatial and chemical variation of estuarine soils. However, with the occupation and exploration of the land for diverse uses, the variability is accentuated. Nowadays, work on spatial variation of soil attributes helps in decision making and application of effective solutions to the detriment of environmental risks. The objective of this work was to understand the existing relationships of chemical and physical attributes in three areas of the hypersaline plain of the Apodi-Mossoró estuary. To reach the objective, 52 samples, with a volume of 1 kg, were collected at the depths of 0.5, 1.0, 2.0 and 3.0m e in three areas called S, C and N, and each point of georeferenced collection was used, if a GPS navigation. Multivariate analysis is an efficient tool in discriminating the three areas studied. The levels of heavy metals in the estuary are within the limits established by Brazilian legislation. The Apodi-Mossoró River estuary is characterized as fluvial sediments such as sands of different granulometries, followed by transition sedimentation, silt contributes to the formation of the estuary floor. The Apodi-Mossoró River estuary is classified as apicum area, because the sodium concentrations are in intervals of 100 and 130 cmolc dm^{-3} . The area S has the highest concentrations of sodium and the excess of salts in the soil contributes to the higher degree of flocculation.

Key words: Spatial distribution. Multivariate. Estuary. Heavy metals. hypersaline.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Localização da área de estudo, bacia do Rio Apodi-Mossoró e pontos de coleta das amostras de solo.....	60
Figura 2	–	Coleta de solo na profundidade 0.5 e 3.0 m, na bacia do Rio Apodi-Mossoró e demonstração do trado utilizado durante as coletas.....	62
Figura 3		Constante da célula usada nas medições (A) e Condutivímetro utilizado para medição de Ce_{es} 1:2.5 (B).....	64
Figura 4	–	Agitação das amostras de sedimentos (A) e filtragem das amostras(B).....	66
Figura 5	–	Pré-tratamento dos sedimentos para eliminação de carbonatos, sais e Matéria Orgânica.....	68
Figura 6	–	Lavagem dos sedimentos para eliminação de agentes cimentantes.....	68
Figura 7	–	Sedimentação das amostras não tratadas (A) e sedimentação das amostras tratadas (B).....	69
Figura 8	–	Fracionamento das areias (A) e pesagem dos sedimentos fracionados (B).....	70
Figura 9	–	Representação do plano fatorial: F1 x F2 e F3 x F4: (A), (B), (C) e (D) dos atributos químicos do solo com cargas fatoriais superiores a 0.70 (módulo).....	82
Figura 10	–	Dendrograma das áreas agrupadas, com base na dissimilaridade e altura de corte de 30%, de acordo com os atributos químicos de cargas fatoriais a 0.70 (módulo).....	84
Figura 11	–	Representação do plano fatorial F1 x F2 e F3 x F4: (A), (B), (C) e (D) dos micronutrientes e metais pesados com cargas fatoriais superiores a 0,70 (módulo).....	90

Figura 12	– Dendrograma das áreas agrupadas com base na dissimilaridade e altura de corte de 20%, de acordo com os micronutrientes e metais pesados de cargas fatoriais a 0.70 (módulo).....	93
Figura 13	– Representação do plano fatorial F1 x F2 e F3 x F4: (A) (B), (C) e (D) dos atributos físicos com cargas fatoriais superiores a 0.70 (módulo).....	99
Figura 14	– Dendrograma das áreas agrupadas, com base na dissimilaridade e altura de corte de 20%, de acordo com os atributos físicos de cargas fatoriais a 0.70 (módulo).....	101
Figura 15	– Representação do plano fatorial F1 x F2 e F3 x F4: (A) (B), (C) e (D) dos atributos químicos, micronutrientes e metais pesados com cargas fatoriais superiores a 0,70(módulo).....	111
Figura 16	– Dendrograma das áreas agrupadas, com base na dissimilaridade e altura de corte de 20%, de acordo com os atributos químicos, micronutrientes e metais pesados de cargas fatoriais a 0.70 (módulo).....	112
Figura 17	– Representação do plano fatorial F1 x F2 e F3 x F4: (A) (B), (C) e (D) dos atributos químicos e físicos com cargas fatoriais superiores a 0.70 (módulo).....	119
Figura 18	– Dendrograma das áreas agrupadas, com base na dissimilaridade e altura de corte de 20 %, de acordo com os atributos químicos e físicos de cargas fatoriais a 0.70 (módulo).....	120
Figura 19	– Representação do plano fatorial F1 x F2 e F3 x F4: (A), (B), (C) e (D) dos micronutrientes, metais pesados e atributos físicos com cargas fatoriais superiores a 0.70 (módulo).....	127
Figura 20	– Dendrograma das áreas agrupadas, com base na dissimilaridade e altura de corte de 30 %, de acordo com os micronutrientes, metais pesados e atributos físicos de cargas fatoriais a 0,70 (módulo).....	129

Figura 21	– Variabilidade espacial do pH no estuário do Rio Apodi-Mossoró nas profundidades 0,5, 1,0, 2,0 e 3,0 metros.....	141
Figura 22	– Variabilidade espacial da condutividade elétrica - CE no estuário do Rio Apodi-Mossoró nas profundidades 0,5, 1,0, 2,0 e 3,0 metros...	142
Figura 23	– Variabilidade espacial do cálcio no estuário do Rio Apodi-Mossoró nas profundidades 0,5, 1,0, 2,0 e 3,0 metros.....	144
Figura 24	– Variabilidade espacial do magnésio no estuário do Rio Apodi-Mossoró nas profundidades 0,5, 1, 2 e 3 metros.....	145
Figura 25	– Variabilidade espacial do sódio trocável no estuário do Rio Apodi-Mossoró nas profundidades 0,5, 1,0, 2,0 e 3,0 metros.....	146
Figura 26	– Variabilidade espacial do níquel no estuário do Rio Apodi-Mossoró nas profundidades 0,5, 1, 2 e 3 metros.....	148
Figura 27	– Variabilidade espacial do cobre no estuário do Rio Apodi-Mossoró nas profundidades 0,5, 1,0, 2,0 e 3,0 metros.....	150
Figura 28	– Variabilidade espacial da argila no estuário do Rio Apodi-Mossoró nas profundidades 0,5, 1,0, 2,0 e 3,0 metros.....	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Codificação das áreas, pontos de amostragem e profundidade de coleta das amostras de solo.....	61
Tabela 2	–	Análise descritiva dos atributos químicos do solo hipersalino do estuário do Rio Apodi - Mossoró-RN.....	73
Tabela 3	–	Análise descritiva dos atributos físicos do solo hipersalino do estuário do Rio Apodi - Mossoró-RN.....	75
Tabela 4	–	Fatores extraídos por componentes principais, destacando-se as variáveis químicas do solo com cargas superiores a 0.70 (módulo), nas quatro profundidades 0.5, 1.0, 2.0 e 3.0m, nas três áreas estudadas.....	79
Tabela 5	–	Fatores extraídos por componentes principais, destacando-se os micronutriente e metais pesados do solo com cargas superiores a 0.70 (módulo), nas quatro profundidades 0.5, 1.0, 2.0 e 3.0m, nas três áreas estudadas.....	86
Tabela 6	–	Fatores extraídos por componentes principais, destacando-se os atributos físicos do solo com cargas superiores a 0.70 (módulo), nas quatro profundidades 0.5, 1.0, 2.0 e 3.0m, nas três áreas estudadas.....	96
Tabela 7	–	Fatores extraídos por componentes principais, destacando-se os atributos químicos, micronutrientes e metais pesados do solo com cargas superiores a 0.70 (módulo), nas quatro profundidades 0.5, 1.0, 2.0 e 3.0m, nas três áreas estudadas.....	107
Tabela 8	–	Fatores extraídos por componentes principais, destacando-se os atributos químicos e físicos do solo com cargas superiores a 0.70 (módulo), nas quatro profundidades 0.5, 1.0, 2.0 e 3.0m, nas três áreas estudadas.....	116

Tabela 9	–	Fatores extraídos por componentes principais, destacando-se os atributos químicos e físicos do solo com cargas superiores a 0.70 (módulo), nas quatro profundidades 0.5, 1.0, 2.0 e 3.0 m, nas três áreas estudadas.....	125
Tabela 10	–	Correlação canônica e pares canônicos entre os atributos químicos e físicos do solo.....	131
Tabela 11	–	Correlação canônica e pares canônicos entre os atributos físicos, micronutrientes e metais pesados do solo.....	133
Tabela 12	–	Correlação canônica e pares canônicos entre os atributos químicos micro e metais pesados do solo.....	136
Tabela 13	–	Avaliação do grau de acerto na classificação das amostras dos três grupos por meio das funções de classificação da análise discriminante.....	138
Tabela 14	–	Funções de classificação das amostras obtidas pela análise discriminante para a classificação das amostras nos grupos previamente formados.....	139
Tabela 15	–	Grau de floculação na área de estudo C do estuário do Rio Apodi-Mossoró-RN.....	153
Tabela 16	–	Grau de floculação na área de estudo S do estuário do Rio Apodi-Mossoró-RN.....	155
Tabela 17	–	Grau de floculação na área de estudo N do estuário do Rio Apodi-Mossoró-RN.....	157

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A. F.	Areia Fina
A. G.	Areia Grossa
A. M. F.	Areia Muito Fina
A. M. G.	Areia Muito Grossa
A. M.	Areia Média
A. A.	Análise de Agrupamento
A. C. P.	Análise de Componentes Principais
A. D.	Análise de Discriminante
A. D. A.	Argila Dispersa em Água
A. F.	Análise Fatorial
A. P. P.	Áreas de Preservação Ambiental
A. S. E.	Área Superficial Específica
Ca ²⁺	Cálcio
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
CaSO ₄ ·2H ₂ O	Sulfato de cálcio di-hidratado - "gesso"
CaT	Cálcio Trocável
C. C.	Correlação Canônica
CCA	Centro de Ciências Agrárias
Cd	Cádmio
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CIHS	Comissão Internacional sobre a História do Sal
Cl ⁻	Cloreto
CNS	Companhia Nacional de Salinas Mossoró-Açu
CO ₃ ²⁻	Carbonatos
CP	Correlação de Pearson
Cr ⁺³	Cromo
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
Cu ⁺²	Cobre
DCD	Dupla Camada Difusa
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral

Dp	Densidade de partícula
Eh	Potencial de oxiredução
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Fe ⁺³	Ferro
FIERN	Federação das indústrias do Estado do Rio Grande do Norte
GF	Grau de Floculação
H ⁺	Hidrogênio
K ⁺	Potássio
km	Quilometro
LASAP	Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta
Mat. Org.	Matéria Orgânica
Mg ²⁺	Magnésio
MgT	Magnésio Trocável
mm	Milímetro
Mn ⁺²	Manganês
Na ⁺	Sódio
NH ₄ ⁺	Amônio
Ni ⁺²	Níquel
NO ₃ ⁻	Nitratos
N	Nitrogênio
NCF	Novo Código Florestal
°C	Graus Celsius
OH ⁻	Hidróxido
P ⁺	Fósforo
Pb ⁺²	Chumbo
pH	Potencial hidrogeniônico
PST	Percentagem de Sódio Trocável
RAK	Relação de Adsorção de Potássio
RAP	Relação de adsorção de Fósforo
RAS	Relação de adsorção de Sódio
RCaT	Relação de Cálcio Trocável
RKT	Relação de Potássio Trocável
RMgT	Relação de Magnésio Trocável

RN	Rio Grande do Norte
SIESAL	Sindicato das Indústrias da Extração de Sal do Estado do Rio Grande do Norte
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semiárido
Zn ⁺²	Zinco

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	xviii
Lista de abreviaturas e siglas	xiii
1 INTRODUÇÃO	20
2 OBJETIVOS	21
2.1 Objetivo geral:	21
2.2 Objetivos específicos:	21
3 HIPÓTESES	24
4 REVISÃO DE LITERATURA	25
4.1 Histórico e importância das áreas de salinas solares	25
4.2 Ambientes onde estão inseridas as salinas solares	31
4.3 Características dos solos nas áreas hipersalinas	32
4.3.1 Processos de formação dos solos halomórficos	35
4.3.1.1 Solonização	36
4.3.1.2 Solodização	36
4.4 Potencial de hidrogênio (pH) e Condutividade Elétrica (CE) em solos hipersalinos	37
4.5 Sódio (Na⁺) em solos hipersalinos	39
4.6 Cálcio e magnésio (Ca²⁺ e Mg²⁺) em solos hipersalinos	41
4.7 Fósforo e Potássio (P⁺ e K⁺) em solos hipersalinos	42
4.8 Atributos físicos de solos hipersalinos	46
4.9 Análise Multivariada na variação espacial dos atributos do solo	48
4.9.1 Correlação de Pearson.....	50
4.9.2 Análise de Agrupamento (AA)	50
4.9.3 Análise de Componente Principal (ACP).....	49
4.9.4 Análise Fatorial (AF).....	52
4.9.5 Análise de Correlação Canônica (ACC)	53
4.9.6 Análise Discriminante (AD).....	54
4.10 Geoestatística aplicada variabilidade espacial aos atributos químicos e físicos de solo	57

5 MATERIAL E MÉTODOS	60
5.1 Área de estudo e coletas das amostras de solo.....	60
5.2 Beneficiamento das amostras no laboratório.....	63
5.3 Descrição das análises químicas	64
5.3.1 Particularidades da análise de Condutividade elétrica (Ce_{es} 1: 2,5) e Relação de adsorção de Sódio (RAS).....	64
5.4 Descrição das análises físicas.....	67
5.4.1 Particularidade da análise granulométrica, argila dispersa em água, grau de floculação, fracionamento da areia e densidade da partícula (D_p).....	67
5.5 Análise estatística	71
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
6.1 Estatística descritiva dos atributos do solo	72
6.2 Análise individual dos atributos químicos do solo.....	76
6.3 Análise individual dos micronutrientes e metais pesados.....	85
6.4 Análise individual dos atributos físicos do solo	94
6.5 Análise conjunta dos atributos químicos, micronutrientes e metais pesados do solo	104
6.6 Análise conjunta dos atributos químicos e físicos do solo	114
6.7 Análise conjunta dos micronutrientes, metais pesados e atributos físicos do solo	122
6.8 Análise de correlação canônica entre os atributos químicos e físicos do solo.....	131
6.9 Análise da correlação canônica entre os atributos químicos e físicos do solo.....	133
6.10 Análise da correlação canônica entre os atributos químicos, micronutrientes e metais pesados do solo.....	135
6.11 Análise discriminante entre os atributos químicos, físicos, micronutrientes e metais pesados do solo.....	137
6.12 Comportamento espacial das variáveis analisadas.....	139
6.13 Grau de Floculação a argila das áreas estudadas.....	152
7 CONCLUSÕES.....	158
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	159
APÊNDICE A.....	188

1 INTRODUÇÃO

Os solos são considerados um dos recursos naturais mais formidáveis do nosso planeta, constituindo-se como a medula espinhal de todos os ecossistemas presentes na terra. Nos dias atuais, existe uma grande discussão em relação ao uso sustentável das áreas hipersalinas, no entanto, o atual Código Florestal (NCF), possui diversas lacunas no que se refere ao conhecimento químico, físico e da composição dos referidos solos, bem como, da variabilidade dos nutrientes no referido ambiente.

Com a publicação da Lei Federal nº 12.65/2012, verificou-se significativas mudanças na antiga legislação ambiental brasileira, o Novo Código Florestal (NCF), introduziu um capítulo específico referente ao uso sustentável de apicuns e salgados, áreas inseridas em planícies fluviomarinhas que são colonizadas por manguezais, servindo como berçário natural de caranguejos, peixes e crustáceos, etc. A atual legislação consente um percentual de uso dessas áreas com atividades de carcinicultura e salinicultura de 35%.

Por este fato, constatou-se a necessidade de realizar estudos referentes à compreensão da planície fluviomarinha do Rio Apodi/Mossoró, área conhecida como a Costa Branca Potiguar, localizada no litoral oeste do Rio Grande do Norte.

Nesse sentido, o presente estudo enfatiza o solo hipersalino e suas particularidades químicas e físicas, contribuindo com novos saberes que contribuam para o uso sustentável das áreas hipersalinas, isso admitirá maximizar seu aproveitamento na indústria salineira e ao mesmo tempo, minimizar a degradação pela erosão e poluição dos recursos naturais.

Assim sendo, objetivou-se com este trabalho, compreender as relações existentes dos atributos químicos e físicos em três áreas da planície hipersalina do estuário do Rio Apodi-Mossoró.

A planície hipersalina, é formada por solos aluvionais da formação barreiras com material de origem calcária, este ambiente, tem sido utilizado pela salinicultura e carcinicultura, entretanto, nos dias atuais, ainda são poucos os estudos das relações químicas e físicas atuantes no estuário, mesmo

apresentando interesse ecológico, social e econômico para a região de Mossoró e Areia Branca.

O Deserto Salino é uma extensa faixa de terra que ocorre na zona litorânea do Rio Grande do Norte e trecho da porção oriental do Estado do Ceará. No Rio Grande do Norte, sua incidência mais expressiva ocorre nos ambientes estuarinos dos rios Açu e Apodi-Mossoró que ocupam uma área aproximada de 236.000 ha, dos quais 54.600 ha são ocupados pelo deserto salino (Fernandes, 1998 apud Mendes et al., 2008).

A área de abrangência do estudo localiza-se no estuarino da planície aluvial do Rio Apodi-Mossoró, que se desenvolveram sobre sedimentos que possuem heterogeneidade em relação ao arranjo na distribuição química e granulométrica. Os solos originados nestes ambientes apresentam variação em relação aos seus atributos de um local para outro, quando comparado com outro lugar na paisagem.

Nesse sentido, solos sob vegetação natural possuem variabilidade em seus atributos químicos (Montezano et al., 2006), resultante dos processos de formação, a qual varia tanto no sentido horizontal como no vertical. Além da variabilidade natural do solo, as práticas antrópicas são fatores adicionais de variabilidade.

Sendo assim, conhecer a variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo e metais pesados é de suma importância, pois auxilia na compreensão dos processos pedogenéticos e acúmulo de sais, possibilitando a maximização nos acertos em amostragem, bem como a adoção de manejos eficientes, visando o seu não comprometimento.

Os atributos do solo são muito variáveis entre áreas próximas e em ambientes de mesma classificação taxonômica; os solos aluviais são ainda mais problemáticos, podendo exibir diferenças significativas nas suas propriedades e características em pequenas dimensões, tanto vertical como horizontalmente, acarretando problemas quanto ao manejo de solo (Mendes et al., 2008).

A aplicação de técnicas multivariadas e geoestatísticas vem a cada dia ganhando aplicação na ciência do solo, tornando-se ferramenta de auxílio no estudo dos atributos correlacionados, exatamente porque incorpora em si a

possibilidade de se estudar o comportamento dos atributos químicos do solo (Fadigas et al., 2008).

A análise multivariada de dados fornece uma compreensão da função desempenhada por cada atributo analisado, podendo identificar qual variável discrimina um determinado ambiente. Essa possibilidade oferece um melhor entendimento da dinâmica de alterações da estrutura do solo antropizado, bem como a redução do número de análises e otimização do monitoramento contínuo do solo (Araújo et al., 2013).

Em conjunto com a análise multivariada, a aplicação de técnicas de geoestatística permite modelar e descrever a variabilidade espacial dos atributos de solo (Oliveira et al., 2015), favorecendo a construção de mapas de isolinhas com o nível de detalhe desejável para maior compreensão das relações entre o solo.

Sendo assim, o estudo dos atributos químicos, físicos e da variação espacial das características do estuário do Rio Apodi-Mossoró se mostra com grande importância, uma vez que permite identificar as relações existentes entre os atributos do solo hipersalino.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Compreender as relações existentes dos atributos químicos e físicos em três áreas da planície hipersalina do estuário do rio Apodi-Mossoró.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Realizar ajustes nos métodos de análise de solos, adequando-os para analisar solos hipersalinos;
- ✓ Diferenciar química e fisicamente o solo do estuário do Rio Apodi-Mossoró;
- ✓ Analisar a presença de metais pesados no solo;
- ✓ Quantificar os teores de areia, silte e argila;
- ✓ Avaliar a associação da presença das salinas na planície hipersalina;
- ✓ Investigar se os teores metais pesados no estuário, estão dentro dos padrões estabelecidos pela legislação brasileira e;
- ✓ Qual ambiente está com maior teor de Na⁺.

3 HIPÓTESES

- ✓ Os atributos químicos e físicos do solo hipersalino sofrem influência pelos usos e sua localização na paisagem e;
- ✓ A argila e a areia fina discriminarão os ambientes.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Histórico e importância das áreas de salinas solares

Cientificamente não são apresentadas provas conclusivas a respeito da primeira vez que se usou o sal como conservante. O que se sabe é que os usos do sal por parte dos humanos se remontam a tempos muito longínquos e que todas as culturas da terra têm considerado o sal como um objeto valioso digno de transações comerciais (Samuel, 1992).

Existem registros na Europa Central que permitem afirmar pelo menos o uso do sal já na Idade do Ferro, como na cultura de Hallstatt (Michael, 2007). É muito possível que os primeiros usos do sal provenham do ato de cozinhar com a água do mar e do sal como substância não dissolvida, de sua extração em forma de mineral denominado halita (Jacques, 1961).

Os sistemas utilizados para obter o sal na antiguidade foram múltiplos, dependendo das características geológicas e climáticas da área. Desde os tempos antigos, antes do aparecimento dos modelos antropizados com tanques de evaporação, o sal foi obtido, principalmente, por dois sistemas: A exploração de veias de cloretos originadas pela secagem de superfícies antigas de água marinha, ou pelo afloramento diapírico do mesmo, dando origem ao chamado sal gema e pela evaporação da água salobra por aquecimento ígneo, até a cristalização/precipitação dos cloretos (Villa Lobos et al., 2001).

Porém, esses sistemas tornaram-se incapazes de suprir à demanda da população dando início a busca por novos métodos de produção de sal, surgindo assim as salinas, como conhecidas atualmente. Contudo, para sua implantação era necessário uma profunda adaptação do meio ambiente, criando estruturas complexas destinadas a aumentar a superfície da água sujeita a insolação e a favorecer a taxa de evaporação. Sendo mais rentáveis e produtivas do que as anteriores possibilitaram o forte impulso experimentado durante a Antiguidade no campo da produção e comercialização de peixes salgados (Villa Lobos et al., 2001).

As salinas têm sido utilizadas pelo homem há milênios, onde as primeiras referências sobre a extração de sal a partir da água do mar foram da China, durante a dinastia do Imperador Huang, há 2.500 a.C. O procedimento usado era o mesmo utilizado nas salinas tradicionais de algumas partes da África, América do Sul e Oceania, consistindo em represar a água do mar em diques de argila e aguardar a precipitação de sal, com uma predominância de NaCl e alto conteúdo de sais de cálcio, magnésio, etc (Baas-Becking, 1931 Apud Costa et al., 2014).

As pesquisas relacionadas ao histórico do sal, bem como a conservação do rico patrimônio arqueológico e etnográfico gerado em seu processo extrativista, sofreram notável avanço nos últimos anos. Em 1988, foi fundada a Comissão Internacional sobre a História do Sal (CIHS), desde então existem muitas pesquisas realizadas sobre diferentes aspectos dessa atividade (Oren, 2002).

Embora, diversas pesquisas venham cada vez mais delimitar as salinas solares como ecossistemas de relevante interesse biológico e ecológico, especialmente com ênfase aos seres vivos extremófilos (Oren, 2002), evidenciou-se a necessidade em se descrever mais a fundo as intrínsecas interrelações observadas nas salinas solares, do ponto de vista ecológico e econômico.

Atualmente, esse ecossistema assume uma particularidade ímpar por conseguir atingir o “raro fenômeno” da integração entre a exploração sustentável de um sistema biológico, com uma biodiversidade típica de ambientes hipersalinos (Oren, 2009).

O Brasil foi estudado por naturalistas viajantes (e.g. Alexander von Humboldt, 1769-1806; Augustin François César Prouvençal de Saint-Hilaire, 1779-1853; Carl Friedrich Philipp von Martius, 1794 – 1868; Johann Baptiste von Spix, 1781-1826), com distintas formações e perspectivas, cruzando o Atlântico para estudar *in loco* o Novo Mundo, os quais, no decurso de suas viagens, escreveram longos relatos sobre os lugares que visitavam, cuja leitura crítica nos deixa inferir em muitos campos, como o da ciência e o da etnografia (Vita et al., 2007). A história do sal no Brasil está entrelaçada diretamente com o período da colonização portuguesa (Cascardo, 1955; Santos, 2010).

Os primeiros exploradores em terras brasileiras não faziam a mínima ideia da ocorrência natural de sal marinho; assim, todo o sal que utilizavam teria que ser trazido de suas terras de origem, da mesma forma como qualquer outra mercadoria que eles precisassem e não a tivessem disponível (Andrade, 1995).

Na metade final do século XVI, começaram a ser conhecidas grandes salinas naturais que se formavam sem qualquer intervenção do homem. Estas salinas estavam situadas ao longo da costa da capitania do Rio Grande (atual estado do Rio Grande do Norte e parte do atual estado do Ceará), formando-se em grandes várzeas onde a água do mar naturalmente era represada e cristalizava-se naturalmente (Andrade, 1995 apud Costa et al., 2013).

Porém, não se pode esquecer que a coroa portuguesa ao contrário dos que aqui estavam não queria o desenvolvimento das atividades de exploração do sal (Carmo Júnior, 2006), proibindo em 1665, o comércio do sal no Brasil. Com a chegada da família real portuguesa ao Brasil, em 1808, D. João VI passou a dar maiores incentivos à produção do sal, porém, limitando-se apenas ao consumo humano e animal (Sousa, 2007).

Ao contrário da prática atual, em que o maior uso do cloreto de sódio se destina à indústria química, com mais de 14.000 usos conhecidos (Melo et al., 2008), na época da colonização este mineral servia, principalmente, para alimentação humana e dos bois e cavalos, além da preparação da carne bovina salgada/charque a e seca sob o sol.

A evolução dessa atividade está entrelaçada diretamente com esse período da colonização, onde a sua descoberta das reservas naturais e posterior produção de sal nas salinas passou a impulsionar o desenvolvimento de outras atividades a ela relacionadas, configurando-se nesse período como uma das principais atividades econômicas (Costa et al., 2013).

O sal foi presente da natureza aos desbravadores do novo mundo em especial as terras localizadas na Capitania do Rio Grande, sendo logo entendido pelos seus colonizadores, tornando-se um dos primeiros artigos a serem explorados na Capitania do Rio Grande, atual estado do Rio Grande do Norte. A exploração extensiva das salinas de Mossoró, litoral de Areia Branca, Açú e Macau é datada do ano de 1802. No entanto, já era do conhecimento

dos habitantes nativos a formação de jazidas espontâneas vindo a ser um fator impulsionador dos primórdios da colonização (Medeiros, 2013).

O primeiro relato que se tem registro sobre sal no Rio Grande do Norte, encontra-se anotado no documento que Jerônimo d'Albuquerque que escreveu a seus filhos Antônio e Matias de Albuquerque em 20 de agosto de 1605, onde o mesmo cita a presença de salinas formadas espontaneamente a aproximadamente 40 léguas ao norte, o que corresponde nos dias atuais às salinas de Macau (Moura, 2003, p. 183).

Em seu livro, Santos (2010, p. 295) relata que, já em 1607 havia envio do sal para o Sul da colônia. “[...] As salinas de Mossoró, litoral de Areia Branca, Açú e Macau, começaram sua exploração a partir de 1802, início da exploração racional das salinas”.

Novo impulso para a exploração comercial do sal viria em 1886, com a tributação do sal estrangeiro. O protecionismo deu ânimo à incipiente indústria salineira contribuindo para a sua expansão, essa situação se estende até 1889, quando da instalação da República, estabelecendo-se um novo tipo de monopólio que viria a mudar o panorama político para a indústria de extração do sal no Rio Grande do Norte (Carmo Júnior, 2006).

Pelo decreto nº 10.413, de 26 de Outubro de 1889, a União concedeu em favor do Sr. Antônio Coelho Ribeiro Roma, pela empresa com sede no Rio de Janeiro, Companhia Nacional de Salinas Mossoró-Açú (CNS), o direito exclusivo à exploração dos terrenos devolutos compreendidos entre Areia Branca e Macau, por um prazo de 30 anos, fato que ficou conhecido como Concessão Roma (Carmo Júnior, 2006).

De fato, a consolidação da indústria salineira potiguar só ocorreu no período que vai de 1930 ao final dos anos de 1950. A partir de então, o Rio Grande do Norte apresentou produção sempre superior a 50% da nacional, onde o município de Macau tornou-se o verdadeiro coração da indústria salineira brasileira (Sousa, 2007).

Em seus escritos Santos (2010) comenta que nos primeiros anos de 1970 foram apontados pelo processo de modernização das salinas do Estado, marcado em especial pela formação de grandes unidades produtoras, que

vinham paralisando e causando o abandono por parte das pequenas e médias salinas, com graves consequências sociais.

Nos dias atuais, pouco resta da produção salineira artesanal no Rio Grande do Norte (RN), apenas algumas pequenas salinas que ainda se utilizam de pás e de carros de mão para realizar a colheita do sal, restritas apenas a pequenos núcleos nos municípios de Grossos, Mossoró, Areia Branca e Guamaré (Costa et al., 2013).

Além da importância para a economia local, estas áreas representam um patrimônio histórico, natural e arquitetônico ainda pouco reconhecido no país. Tal fato dar-se em função da utilização das mesmas técnicas de construção e gestão típica dos primórdios dessa atividade (Costa et al., 2013).

Ao longo da linha de costa brasileira (aproximadamente 9.198 km de extensão), apenas no litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte estão situadas as maiores empresas salineiras do país, principalmente, nas margens do estuário. Estas salinas produzem 97% do sal marinho consumido e exportado no país, influenciando diretamente na economia local e regional, principalmente, através da geração de empregos e renda – pagamento de impostos (De Medeiros Rocha et al., 2009). O estado do RN apresenta a combinação de diferentes fatores naturais, que favorecem a produção salineira tais como: clima predominante semiárido quente, com temperatura oscilando entre 24° e 35° C, permanecendo constante a maior parte do ano.

O ar possui baixo teor de umidade, elevada evaporação, apresentando uma média de 2.850 mm. Arelado às diversas particularidades já citadas, tem-se ainda um solo impermeável, o que assegura condições ideais para a cristalização e colheita do sal, com um grau de pureza que atinge até 98° Baumé (De Medeiros Rocha et al., 2009).

As salinas de Mossoró estão localizadas na várzea estuarina dos rios Mossoró e do Carmo. Essa várzea é inundada, ora pelas águas do mar, ora pelas águas das enchentes dos rios, que quando cessam as chuvas formam salinas naturais onde o relevo é plano e baixo, estreitando-se para o litoral, onde a água do mar chega a alcançar até 35 km do litoral. Essa série de fenômenos naturais faz com que Mossoró possa figurar entre os municípios produtores de sal do Estado (Maia, 2005, p. 1). Nesse contexto favorável, o Rio

Grande do Norte possui particularidades naturais que o dotaram para a produção do sal marinho frente às demais zonas produtivas do país, “como num processo coordenado da natureza em função desse tipo de indústria” (Fernandes, 1995, p.50).

Segundo dados da Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Norte (FIERN, 2010), o setor salineiro da cidade de Mossoró está entre os mais relevantes do estado, com 100% da produção concentrada nas seguintes cidades: Macau, Areia Branca, Mossoró e Grossos. O parque salineiro do Estado é responsável por 97% da produção brasileira de sal marinho, sendo comercializado com vários Estados brasileiros e exportado, principalmente, para os Estados Unidos, África e Europa (Rio Grande do Norte, 2003; SIESAL, 2010).

De acordo com os dados do (DNPM, 2013), o estado do Rio Grande do Norte produz 95% da produção Brasileira e 77% da produção total de sal do país a cidade de Mossoró/RN é uma das maiores produtoras sal do país.

A produção nacional de sal gema e sal marinho, em 2014, foi estimada em torno de 7,5 Mt, acréscimo de menos de 3% em relação a 2013, resultante de um leve crescimento, 2%, na produção de sal marinho que foi estimada em cerca de 6 Mt e um aumento na produção de sal gema de quase 7% (DNPM, 2016).

Esse aumento na produção potiguar ainda é consequência do longo período de estiagem no Rio Grande do Norte, destaque na liderança absoluta com 5,7 Mt no ano, representando aproximadamente 76% da produção total de sal do país e em torno de 95% da produção brasileira de sal marinho (DNPM, 2016).

Em 2014, o consumo interno aparente de sal no Brasil decresceu em torno de 3% em relação ao ano anterior. Este declínio ocorreu devido ao aumento significativo das exportações de sal marinho. A demanda interna por sal ficou assim distribuída: o setor da indústria química consumiu 2,4 Mt (31%), com o segmento soda/cloro participando com 1,5 Mt de sal-gema e 878 mil t de sal marinho (DNPM, 2016).

Os demais setores consumidores de sal foram: consumo humano e animal, agricultura e alimentos, que, por aproximação, responderam com 27%;

outros setores, como frigoríficos, curtumes, charqueadas, indústrias têxtil e farmacêutica, prospecção de petróleo e tratamento d'água, responderam com (24%). A indústria em geral e distribuidores responderam pelos 18% restantes (DNPM, 2016).

É de fundamental importância expressar a produção sal em várias cidades Rio Grande do Norte-RN, com maior evidência a cidade de Mossoró-RN, pois tem um marco histórico significativo nos remetendo aos períodos coloniais e ainda no presente, continua tendo relevante importância econômica possuindo níveis altos de produtividades, importância social com geração de emprego, contribuindo na circulação da renda nas cidades circunvizinhas e importância ambiental sendo *habitat* estável para a biota estuarina, zonas de refúgio para aves aquáticas migratórias (López et al., 2010).

4.2 Ambientes onde estão inseridas as salinas solares

Os ambientes onde existem as salinas solares vem sendo estudados, extensivamente, ao longo do globo em nível de dinâmica dos processos ecológicos e características biológicas, principalmente, nos Estados Unidos, Austrália, Itália, China, Tunísia, Grécia, Espanha, Israel, França, Portugal, México e Índia e outros em países (Oren, 2009).

Estes ambientes estão inseridos na zona costeira do Brasil são considerados *habitats* de supamaré, explorados para produção de sal, se constituindo ecossistemas artificiais de supamaré explorados para extração de sal marinho, compostos por uma cadeia de tanques rasos com profundidade variável de (20 – 200) cm e interligados, nos quais a água do mar/estuário é captada e transferida de um tanque para outro por gravidade, ou por bombeamento. Ao longo desse circuito, esta água vai evaporando gradativamente, o que aumenta a saturação de sais até se atingir uma salmoura com saturação de 240 g.L⁻¹ de sais, já no estágio final de cristalização do cloreto de sódio (Costa et al., 2014).

Esse ecossistema tem uma particularidade ímpar por conseguir atingir o “raro fenômeno” da integração entre a exploração sustentável de um sistema

biológico, com uma biodiversidade típica de ambientes hipersalinos (Oren, 2009).

O ambiente de salina é conceituado como um ecossistema hipersalino, desta forma observa-se que o complexo mosaico constituído pelos diferentes tanques (evaporadores, concentradores e cristalizadores), viabilizam a importante atividade econômica da produção de sal (Davis, 2009).

Quando se trata de economia, analisa-se a produção de sal marinho em salinas solares do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, entende-se que dentre as muitas atividades humanas (exploração mineral), esta é uma das que melhor assume um caráter de sustentável na produção (Costa et al., 2014).

Para ser produzido o sal marinho utiliza-se matéria prima 100% renovável (água do estuário e do mar e a energia solar) para promover a evaporação da água e a formação dos cristais de halita (NaCl). Sendo esta sustentabilidade embasada no fato de os gestores das salinas utilizarem unicamente “sistemas biológicos” para auxiliar no processo produtivo do sal marinho em salinas solares (Costa et al., 2014).

Em sua grande maioria, as salinas estão inseridas em ambientes estuarinos, sendo de grande importância o conhecimento dos atributos químicos, físicos, micronutrientes e metais pesados que constituem o estuário. Nesse sentido, compreender a dinâmica química, conhecer as partículas floculadas que são sedimentadas no estuário é um avanço considerável no que diz respeito ao desenvolvimento de tecnologias que permitam conservar as relações naturais.

4.3 Características dos solos nas áreas hipersalinas

Os solos afetados por sais, também conhecidos por solos halomórficos ou solos salinos e sódicos, são solos desenvolvidos em condições imperfeitas de drenagem, que se caracterizam pela presença de sais solúveis, sódio trocável ou ambos, em horizontes ou camadas próximas à superfície (Ribeiro et al., 2016).

Desta maneira, durante a última regressão do mar, houve a exposição dos sedimentos marinhos e um constante aporte sedimentar marinho e fluvial na planície costeira dando origem a um conjunto de unidades geoambientais como a faixa da praia e terraços marinhos; campos de dunas e paleodunas; e planície fluviomarinha (Meireles et al., 2010). Nas zonas tropicais e intertropicais, a planície fluviomarinha, cujos principais agentes de formação são os sistemas fluviais, lagunares e marinhos, abrigam importantes ecossistemas estuarinos (manguezal e *apicum*).

No caso dos solos de manguezais estes ocupam uma área pequena quando comparado com outros ecossistemas inseridos no Brasil, a exemplo da Caatinga; no entanto, os manguezais, pela sua alta produtividade biológica, têm recebido maior atenção da pesquisa científica brasileira, pois estes ambientes possuem importância histórica na ocupação da costa do Brasil, bem como auxiliar na descoberta de métodos de manejo mais racionais para lidar com esse ambiente tão complexo (Gomes, 2002).

Em relatos de levantamentos de solo dos anos 1990, por não haver um consenso entre os pesquisadores da área de Gênese Morfologia e Classificação de Solos o material presente nos ambientes manguezais eram denominados de “solos indiscriminados de mangue”, em função de não conseguirem esclarecer se o material era solo ou sedimento, sendo também poucas as análises físicas, químicas e mineralógicas desses solos, tendo como consequência a não elucidação da classe de solo a qual pertencem (EMBRAPA, 1995).

Com o avanço dos estudos nesses ambientes, percebeu-se que o constante estado de hidromorfismo do solo de mangue em subsuperfície promove a elevação do lençol freático, fazendo com que o solo expresse cores acinzentadas, sedo apédicos, contendo a presença de materiais sulfídricos e hipersalinos, critérios que se enquadram e satisfazem o exigido pela classe dos Gleissolos Tiomórficos (Santos, 2013; Marques et al., 2014).

Em alguns casos a exemplo do solo de *apicum* a baixa precipitação pluvial, aliada à intensa evaporação, favorece a concentração de sais no solo de até cinco vezes a mais do que os valores esperados para a água do mar,

propiciando o estabelecimento de vegetação herbácea halófitas ou a ausência de cobertura vegetal (Rovai et al., 2012).

Nos solos de *apicum* e manguezais possuem sistemas ecológicos contíguos, mas possuem solos com algumas características contrastantes, como por exemplo, diferem significativamente quanto a parâmetros físicos e químicos. Em relação, à granulometria dos sedimentos os solos de *apicum* são geralmente mais arenosos, já em relação ao pH, salinidade e condutividade elétrica (CE), nos domínios de mangue, há constante mistura de água doce e salgada, promovendo baixos valores, quando comparados aos solos de *apicum*, para os parâmetros mencionados (Ucha, 2010).

No que se refere ao potencial de oxidação-redução (Eh), ao contrário dos solos de manguezal, no *apicum* a condição hidromórfica acontece apenas em períodos de maré de sizígia. Isto permite verificar elevados valores de Eh nos solos de *apicum* para os teores de carbono orgânico; como a salinidade no *apicum* é elevada não permite a fixação de vegetação arbórea, ocasionando menores teores de carbono orgânico, assim como acontece nos bosques de mangue. Bem como, a rápida mineralização do material orgânico contribui para os baixos teores de carbono orgânico (Ucha, 2010).

No entanto, estes dois ambientes não são individualizados, existindo troca de constituintes entre estes, tais como sílica, alumínio e ferro que ao serem solubilizados no *apicum* são carregados para o manguezal (Marques et al., 2014). Com isto, a geoquímica destes elementos está diretamente relacionada com a salinidade, pH e hidromorfismo, de forma que a abundância de sílica e alumínio na solução do solo ocorre no período seco, e a quantidade de ferro solubilizado é maior na estação chuvosa (Vieillefon, 1977).

Por ser ambiente altamente complexo nas áreas hipersalinas, surge a necessidade de se conhecer mais profundamente esse ecossistema que vem ganhando a cada ano mais valor devido as suas contribuições econômicas e ambientais.

4.3.1 Processos de formação dos solos halomórficos

Os solos halomórficos são comuns em ambientes com condições imperfeitas de drenagem, em regiões áridas ou semiáridas, onde a baixa precipitação pluvial, a presença de camadas impermeáveis e a elevada evapotranspiração contribuem para a maior concentração de sais solúveis na solução do solo (salinidade) e ou o aumento da percentagem de sódio trocável (sodicidade) interferindo no desenvolvimento normal das plantas (Brady & Weil, 2008).

O processo de salinização consiste na concentração de sais mais solúveis que o gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), cuja solubilidade é de $2,41 \text{ g L}^{-1}$, nos horizontes ou camadas do perfil de solo. Os principais sais solúveis encontrados nos solos salinos são cloretos, sulfatos e bicarbonatos de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} . Em menor quantidade podem ocorrer potássio (K^+), amônio (NH_4^+), nitratos (NO_3^-) e carbonatos (CO_3^{2-}) (Brady & Weil, 2008).

Os solos salinos geralmente se localizam em áreas baixas, para onde convergem os sais das áreas circunvizinhas, estando à salinização relacionada com condições de restrição de drenagem, envolvendo lençol freático alto ou baixa permeabilidade, que impedem a lavagem dos sais em profundidade, e com climas áridos e semiáridos, cuja evapotranspiração elevada favorece a ascensão capilar dos sais para a superfície. Pode ser um processo natural ou artificialmente – induzido pelo homem, principalmente, nas áreas irrigadas (Fanning & Fanning, 1989).

O processo de salinização natural ou salinização primária pode ser desencadeado por várias causas, podendo ser destacadas como mais importantes (Ribeiro et al., 2009), a invasão da água salgada – deposita seus sais nos terrenos atingidos; acumulação de sais – provenientes de áreas circunvizinhas, por escoamento superficial e drenagem lateral, nos horizontes superiores dos solos de áreas rebaixadas, devido à presença de estratos impermeáveis em pequena profundidade; ascensão por capilaridade – os sais existentes no próprio terreno e acumulados em camadas não superficiais e; acumulação dos sais em áreas baixas, sopés de encosta – em consequência da drenagem subsuperficial lateral das posições mais altas.

O processo de salinização induzido ou antrópico, ou salinização secundária, ocorre em consequência das seguintes causas: deposição dos sais pela água de irrigação – as quais contêm sais em solução e; elevação dos sais à superfície por ascensão do lençol freático – em virtude do manejo inadequado da irrigação (ausência de drenagem e/ou superirrigação). Em todos os casos, naturais ou induzidos, o processo de salinização envolve o excesso de água e, geralmente, evapotranspiração elevada (Ribeiro et al., 2009).

4.3.1.1 Solonização

Quando a concentração de sais de sódio aumenta, o Na^+ solúvel começa a ser adsorvido pelo complexo de troca, iniciando-se o processo de Solonização, que se desenvolve em duas etapas: sodificação e dessalinização (Ribeiro et al., 2009). A sodificação, passagem do Na^+ da forma de íon solúvel para o complexo de troca, começa a ter importância quando este cátion constitui a metade ou mais dos cátions solúveis da solução do solo (USSL Staff, 1954).

Nestas condições, os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} , por serem menos solúveis, precipitam quando a solução do solo se concentra, em consequência da evapotranspiração, ficando o Na^+ , praticamente, como o único cátion presente na solução (Ribeiro et al., 2009).

Por este motivo, o Na^+ , apesar de ter menor poder de troca, consegue deslocar os outros cátions por ação de massa (Ribeiro et al., 2009). Este tipo de sodificação está relacionado com as grandes áreas de Planossolos Nátricos e Planossolos Hápticos Eutróficos solódicos do semiárido nordestino, que têm relevo suave ondulado.

4.3.1.2 Solodização

A solodização, também denominada de fase de degradação, remove inicialmente o sódio trocável do horizonte A, permanecendo o B ainda sódico, e pode chegar a remover o sódio de todo o perfil, resultando em perfis não

salinos e não sódicos. Evidentemente, este processo só chegará a solos não salinos e não sódicos se ocorrer uma mudança radical nas condições ambientais favorecendo os processos de infiltração e lixiviação, em detrimento da evapotranspiração (USSL Staff, 1954).

4.4 Potencial de hidrogênio (pH) e Condutividade Elétrica (CE) em solos hipersalinos

As práticas antrópicas modificam os atributos químicos dos solos incorporando maior ou menor aporte de nutrientes aos sistemas produtivos, nesse contexto, possivelmente antes da implantação das salinas, os solos dessas áreas possuíam atributos físicos e químicos semelhantes aos solos de mangue nativo (Corrêa, 2009).

O pH é definido como o logaritmo negativo (base 10) da atividade do íon hidrogênio (H^+) ou o logaritmo da recíproca da atividade do íon H^+ na solução. Por ser representada em escala logarítmica, a concentração de íons H^+ na solução aumenta dez vezes quando o pH é reduzido em uma unidade (Freira et al., 2016).

Em solos salinos e/ou sódicos, o pH atinge valores comumente elevados, indicando a predominância de íons de hidróxido (OH^-) em relação aos H^+ . Este é um dos fatores que afetam a predisposição do solo em dispersar argila, além de causar deficiência de alguns micronutrientes às plantas, por diminuir a disponibilidade do meio (Freira et al., 2016).

O alagamento causado pela dinâmica da maré nos manguezais provoca alterações nos atributos dos solos desse ecossistema. Essas alterações estão relacionadas com o aumento dos valores de pH tendendo a neutralidade e a diminuição da taxa de difusão do oxigênio, impossibilitando a oxidação da matéria orgânica a ação de microrganismos anaeróbicos em um processo de menor eficiência (Ferreira, 2007).

O pH do solo funciona como um regulador de compostos solúveis e insolúveis, bem como os teores de metais pesados podem também sofrer alterações na sua concentração a depender da faixa de pH existente no solo (Bradl, 2004). O potencial de hidrogênio é descrito como um indicativo da faixa

básica, neutra e ácida de um determinado meio; também é considerado como controlador de processos de absorção, dissolução, hidratação, oxidação, hidrólise (Melo & Alleone, 2009).

Em ambientes alagados, quando são drenados pela ação do homem podem causar danos irreparáveis devido à formação de compostos ricos em sulfatos (ácido sulfúrico) por ocasião da oxidação do ambiente drenado, causando toxidez nas plantas e liberando metais pesados, assim, o abaixamento do pH em ambiente ácido os metais pesados ficam solúveis, ficando mais disponíveis na cadeia trófica (Souza Junior et al., 2001; Ferreira, 2007).

A água pura é mal condutora de eletricidade, enquanto que a água contendo sais dissolvidos conduz corrente elétrica, aproximadamente, na proporção direta da concentração de sais presentes (Bower & wilcox, 1965).

A Condutividade elétrica (CE) é a expressão numérica da capacidade de um meio de conduzir corrente elétrica, sendo usado como uma expressão da concentração total de sais dissolvida em uma amostra aquosa (FAO, 2002).

A mesma em uma solução é proporcional à sua concentração de íons. Esta característica permite conhecer a salinidade de uma solução medindo-se sua condutividade elétrica. Como a CE de soluções salinas aumenta com a temperatura, numa proporção aproximada de 2% por grau centígrado, desta forma seu valor deve ser sempre convertido para a temperatura de 25°C (Richards, 1954).

Além da temperatura, a CE depende de outros fatores, como: número de espécies iônicas presentes na solução; cargas das espécies iônicas; mobilidade de cada íon; área efetiva dos eletrodos; e distância entre eletrodos (Ferreira et al., 2016).

A CE é uma medida unicamente dos solutos (íons) carregados. É uma característica da solução do solo amplamente usada para medir sua salinidade. Assim, a condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo, CEes, geralmente é tomada como índice de salinidade do solo. Seu valor aumenta à medida que o teor de água do solo diminui, isto é, a solução concentra-se (Ferreira et al., 2016).

No entanto, em condições de menor precipitação, a ação da capilaridade em decorrência da elevada evaporação conduz a água salina para a superfície do solo (Lebigre, 2007), promovendo uma maior precipitação de sais no solo e o aumento dos valores verificados de salinidade CE e pH. Segundo (Lebigre, 2007), o processo de translocação de sais associado à formação destas planícies salinas pode ser denominado de *tannification*.

Miranda et al. (2012), cita que uma das causas da elevação da condutividade elétrica (CE) de um estuário é a água do mar que é adveçada para o interior pelas correntes de maré e tem salinidade concentrada, devido à influência desprezível da descarga fluvial e à maior taxa de evaporação em relação à precipitação.

Outras causas para o aumento da CE em ambientes hipersalinos estão relacionadas com os sais solúveis no solo e na água como a infiltração da água onde os ambientes possuem teores relativamente altos de sódio ou baixos de cálcio no solo, pois, reduzem a velocidade com que a água atravessa o perfil do solo (Miranda et al., 2012)

Considerando os fatores elencados anteriormente, constata-se na literatura que a CE em solos hipersalinos tende a ser bastante elevada na ordem de 45 dS/m. Nesse sentido o monitoramento da condutividade elétrica do solo CE é uma das ferramentas mais importantes, que permite de forma simples e eficiente adequações que evitem a ocorrência de processos de hipersalinização do solo e perdas na quantidade e qualidade ambiental (Queiroz et al., 2009).

4.5 Sódio (Na⁺) em solos hipersalinos

Em ambiente de hipersalinidade é necessário um monitoramento rigoroso não apenas do manejo do uso dessas áreas, como também na composição química, física e metais pesados, de maneira a entender o aporte e à saída de sais do solo, com objetivos de manter o equilíbrio ambiental entre as espécies inseridas nesse ecossistema, evitando assim sua degradação.

No solo, as plantas podem ser submetidas a várias restrições, tendo que superar, por exemplo, altas concentrações de sais e minerais ou deficiência

mineral em relação às necessidades de crescimento. Os sais mais comuns são os que predominam nos minerais das rochas que contribuem para a formação do material de origem de uma determinada área qualquer, na composição das rochas da Litosfera predominam O, Si, Fe⁺, Ca²⁺, Na⁺, K⁺ e Mg²⁺, que são responsáveis por 98% do total em massa (Leinz & Amaral, 2001).

Dessa maneira, os íons que estão na solução do solo tendem a entrar em equilíbrio com os íons adsorvidos no complexo de troca, por isso, a solução do solo nestas condições está, em geral, com concentrações elevadas de sais. Por outro lado, quando os teores de Na⁺ na água que banha estes ambientes possuem valores elevados em relação aos Ca²⁺ e Mg²⁺, esse processo pode promover a degradação das condições físicas do solo (Ribeiro et al., 2009).

Quanto menor a força de atração entre as partículas sólidas e os cátions circundantes, maior será a espessura da Dupla Camada Difusa (DCD), maior será a repulsão entre as partículas do complexo coloidal. O Na⁺, quando comparado com o Ca²⁺ é um elemento de maior raio hidratado e menor valência, promovendo, a repulsão entre as partículas de argilas e, conseqüentemente, a dispersão dos coloides do solo (Ribeiro et al., 2009).

O entendimento dos efeitos adversos dos sais nas relações solo-água-planta, bem como a interpretação e a análise dos limites de tolerâncias das plantas a salinidade, em determinadas condições edafoclimáticas, são importantes na escolha adequada das práticas de manejo a serem utilizadas (Dias et al., 2016).

O sódio é um elemento que causa problemas específicos em solos afetados por sais, tanto por seu efeito tóxico sobre as plantas (Rodrigues et al., 2012), quanto por contribuir para o processo de dispersão dos coloides, proporcionando obstrução de poros e, conseqüente, diminuição na condutividade hidráulica (Freire et al., 2003).

Outro fator deletério do elevado teor de sódio (Na⁺) no solo quanto na água, diz respeito à potencialização em contribuir para problemas de salinidade, interferindo na disponibilidade de nutrientes e causar queimaduras foliares (De Pascale et al., 2013).

Quando absorvido e acumulado em grandes quantidades na planta, o Na⁺ se torna altamente tóxico em níveis fisiológicos diferenciados. Em geral, os

danos fisiológicos causados pela toxidez de Na^+ incluem deficiência dos nutrientes como K^+ e Ca^{2+} , desenvolvimento de estresse hídrico e indução de danos celulares resultantes do desbalanço do sistema de oxirredução, resultando na produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (Dias et al., 2016).

No caso específico para o sucesso de um ecossistema de manguezal, no que diz respeito, a tolerar as elevadas concentrações de sais requer práticas de manejo adequadas, evitando o acúmulo de sais no solo em excesso e/ou mantenha a concentração de sais na zona radicular abaixo da tolerada pelas espécies de mangues presentes no ambiente (Larcher, 2000).

4.6 Cálcio e magnésio (Ca^{2+} e Mg^{2+}) em solos hipersalinos

Os elementos cálcio e magnésio têm algumas semelhanças em termos de comportamento químico; bases trocáveis são comumente constituídos de metais alcalinos, principalmente, cálcio, magnésio, potássio e sódio, ligados a argila e constituintes orgânicos do solo e que podem ser trocados por outros íons de carga positiva presentes na solução do solo (Freire & Freire, 2007).

O total destes cátions, mais hidrogênio, alumínio, ferro, manganês, amônio e outros, mantidos em forma trocável, irão compor a capacidade de troca de cátions de um solo (Chapman, 1965). Nos solos de regiões áridas e semiáridas, o acúmulo de sais dificulta o desenvolvimento das plantas, ocasionando o que se chama de zonação do ambiente de mangue, seja diretamente pelo estresse salino, causado, ou indiretamente pela degradação das propriedades físicas relacionadas à movimentação de água e ar no perfil do solo (Larcher, 2000).

No primeiro caso, os problemas podem advir de elevadas concentrações de sais solúveis, que diminuem o potencial osmótico da solução do solo e dificultam a absorção de água pelas plantas, ou de níveis tóxicos de alguns elementos, principalmente, sódio, cloro e boro, causando desequilíbrios nutricionais e toxidez (Freire & Freire, 2007). Por outro lado, a predominância do sódio na fase trocável do solo promove a dispersão e movimentação de

coloides no perfil, com conseqüente obstrução de poros, reduzindo a permeabilidade do solo ao ar e a água (Freire & Freire, 2007).

Quando a concentração do sódio é muito elevada e constitui a metade ou mais dos cátions solúveis no complexo de troca, este passa a ser protagonista, tendo em vista que, a solução solo se concentra em função da evapotranspiração deixando o Na^+ , como sendo praticamente o único cátion em solução, por serem menos solúveis o Ca^{2+} e o Mg^{2+} precipitam (USSL Staff, 1954).

O cálcio é um elemento antagônico ao sódio e ao cloreto; quando os teores desses elementos são elevados na solução do solo causam distúrbios em relação ao balanço iônico do cálcio e potássio; como conseqüência, há diminuição da assimilação do nitrogênio, limitando o metabolismo das proteínas com conseqüente acúmulo de enzimas deletérias às plantas a exemplo da putrescina e cadaverina (Flores, 1990).

A absorção de nutrientes depende de fatores internos e externos às plantas, como a concentração de sais no sedimento, que parece controlar a assimilação de cálcio e de magnésio (Souza, 2008). Estes elementos no solo dependem da textura e do conteúdo de matéria orgânica, ambos responsáveis pela capacidade de troca catiônica. A concentração desses é usualmente maior em solos arenosos do que naqueles com alto conteúdo de argila (Wiend, 2007).

Desta forma, é importante que haja disponibilidade e absorção desses elementos em proporções adequadas, via solução do solo, pois cada um desses elementos tem uma função específica no metabolismo das plantas, desequilíbrios em suas proporções pode causar deficiência ou excesso de nutrientes, causando limitações no crescimento ou até mesmo a morte (Dechen et al., 2007).

4.7 Fósforo e Potássio (P^+ e K^+) em solos hipersalinos

Os solos de ambientes hipersalinos possuem características variáveis, devido às diversas origens. Os substratos podem ser parcialmente originados no próprio local, pela decomposição da serrapilheira e restos de animais.

Podem ainda ser resultado da decomposição de materiais de diferentes origens, como sedimentos de origem vulcânica, graníticos, gnáissicos e recifais. Na sua grande maioria, esses sedimentos são tipicamente argilas e lamas argilo-arenosas com pouca consistência e normalmente possuem coloração cinza-escuro e são inundadas pela maré constantemente (Schaeffer-Novelli, 1995).

Deste modo, estes ambientes com hipersalinidade podem ser consideradas como "reatores químicos" não só por causa de seus processos fisiológicos e bioquímicos, mas também por sua influência ativa na mobilidade de nutrientes. Essa influência é afetada pela dinâmica das marés, produção de resíduos sólidos, taxa de decomposição das folhas e a composição físico-química do sedimento local (Bosire et al., 2005).

O ciclo do fósforo ocorre nos sedimentos, solos, águas e nas rochas, porém, quando comparado com os outros ciclos biogeoquímicos dos nutrientes, a exemplo do C e N, sendo que o ar, o fluxo de poeira e a chuva não contribuem de forma significativa para o aumento da concentração de fósforo em termos de ciclo global (Jahnke, 1992).

O fósforo possui função biológica estrutural, no entanto, geralmente o fósforo é considerado o elemento limitante para o crescimento vegetal, pois possui em papel no metabolismo basal e nos processos de fosforilação. As bactérias são responsáveis por contribuir na disponibilização de fósforo, pois de forma indireta favorecem a liberação do ortofosfato dissolvido, a partir dos fosfatos insolúveis no meio, nesse sentido, a principal fonte de fósforo para o ecossistema de manguezal são os sedimentos trazidos pela maré (Panitz, 1986).

Sendo assim, as grandes concentrações naturais de fósforo são oriundas de rochas fosfatadas que em sua constituição mineralógica possuem minerais apáticos, formando a fluorapatita (F^-), hydroxiapatita (OH^-) ou cloroapatita (Cl^-), que constituem 95% de todo o fósforo da crosta terrestre (Ruttenberg, 2003).

Com o intemperismo das rochas, os minerais apáticos são alterados e liberam o fósforo para o ambiente, outra forma de adição de fósforo no ambiente é a ação antrópica, por meio do esgoto residencial, rejeitos industriais

e fertilizantes, podendo o fósforo ser carregado para rios, água subterrânea, para os estuários, lagos e oceanos (Ruttenberg, 2003).

O fósforo orgânico favorece a cadeia trófica ao ser ingerido por organismos detritívoros; também pode ser metabolizado por outros microrganismos e disponibilizar na forma inorgânica ou na forma de gás fosfina sendo finalmente transportado para outros ambientes (Alongi et al., 1992).

Na forma inorgânica, o fósforo dissolvido pode variar com o pH e ter diferentes formas: em água doce, H_2PO_4^- (pH= 3,6) e HPO_4^{2-} (pH= 8-10); na água do mar, HPO_4^{2-} (pH= 7-8) e PO_4^{3-} (pH= 9-10), estas formas de fósforo podem ser rapidamente assimiladas por microrganismos, algas e plantas, incluindo a vegetação de mangue, que metabolizam o fósforo e devolvem na forma orgânica (Alongi et al., 1992).

Em condições menos ácidas como a maioria das águas estuarinas, a maior parte dos íons de Fe^{3+} encontra-se na forma de hidróxido de ferro, este tem uma tendência de absorver o fosfato podendo precipitar no sedimento (Esteves, 1998; Sherman, 1998).

A dissolução do fósforo presente no sedimento depende de características físico-químicas como o pH e o potencial redox, ou mecanismos de bioturbação a também pela perturbação causada pelo vento (Hakanson & Jansson, 1983), a liberação do fósforo do sedimento para a solução do solo é a baixa concentração de oxigênio no sedimento, por ocasião de alguns organismos reduzirem o Fe^{3+} em Fe^{2+} , desta maneira o fósforo ligado ao Fe^{3+} é liberado para a solução do solo podendo migrar para a coluna de água e voltar ao ciclo novamente (Holmer, 2003).

O potássio é um dos nutrientes mais abundantes nos solos, podendo atingir concentrações de 0,3 a 30 g kg^{-1} ; as rochas ígneas contêm as maiores concentrações de K: 46 e 54 g kg^{-1} nos granitos e sienitos, porém, somente 7 g kg^{-1} no basalto (Sparks, 2000).

Nos solos, o potássio se apresenta de diversas formas: o potássio estrutural – aquele que faz parte da estrutura dos minerais primários e secundários, possuindo a maior forma de potássio no solo, tal elemento só é liberado pela ação do intemperismo nas rochas, nesse sentido, como o processo é lento não supre a demanda da planta. A forma estrutural é mais

importante para espécies florestais e nativas, como o caso dos ecossistemas de manguezais por possuírem exigência nutricional a médio e longo prazo (Enani et al., 2007).

O potássio trocável corresponde à fração que está ligada as cargas negativas das superfícies orgânicas e inorgânicas (minerais de argila silicatadas, óxidos e hidróxidos) presentes no solo, para a nutrição de planta é a fração de maior interesse pois restitui rapidamente o potássio retirado da solução do solo pelas plantas ou perdido pelo processo de lixiviação, sendo considerado uma reserva estratégica imediata para as plantas (Villa et al., 2004).

Ainda existe o potássio não trocável, potássio fixado, potássio precipitado, potássio na matéria orgânica e o potássio na solução do solo, que são formas de potássio consideradas como reservas importantes do ponto de vista de suprir as demandas nutricionais das plantas (Ciotta et al., 2002).

Com função de manter a neutralidade elétrica intracelular, regulação osmótica, ativação enzimática, síntese de proteínas, metabolismo fotossintético, transporte de solutos pelo floema este elemento torna-se fundamental para a planta (Maser et al., 2002).

Nos ambientes hipersalinos, onde estão inseridos os manguezais o potássio propicia a formação de potencial elétrico necessário para facilitar a absorção de água, em decorrência da alta concentração de sais dissolvidos na água, além do cálcio e do potássio serem os prováveis responsáveis pelo desenvolvimento da tolerância a sais dos manguezais (Ball et al., 1987; Cohen et al., 1999)

Dentre os fatores que influenciam a disponibilidade do potássio no solo pode-se citar a elevada temperatura e o teor de umidade; a alta temperatura do ambiente e do solo contribui para a absorção do K^+ pelas plantas em função da maior difusão do K^+ no solo; o aumento do teor de água no solo contribui para a maior absorção do referido nutriente, pois aumenta o transporte deste até as raízes por diferentes mecanismos (Oliveira et al., 2004).

O potássio é absorvido pelas raízes na forma de íon K^+ , sendo esse processo essencialmente ativo. De todos os nutrientes requeridos para o crescimento das plantas, os efeitos de potássio são mais pronunciados no

aprimoramento da qualidade produtiva das culturas (Kano, 2002). Ele está presente na planta, na forma iônica, não tendo função estrutural. Atua como ativador enzimático e participa de processos como abertura e fechamento de estômatos, fotossíntese, transporte de carboidratos e respiração (Malavolta et al., 1989).

Por se tratar de um ecossistema bastante instável, nos processos de adição, perda, transformação e translocação forçaram os manguezais inseridos nesse ambiente a criar maneiras para evitar a perda de nutrientes, com a efetiva retenção e reciclagem de nutrientes (Inoue, 2011).

Como mecanismo de conservação de nutriente no solo, destacam-se a persistência das folhas, a deciduidade, a reabsorção de nutrientes antes da queda da folha, imobilização de nutrientes na serrapilheira durante a decomposição, sendo esse aproveitamento de nutrientes em ambientes hipersalinos uma das mais altas entre as angiospermas (Reef et al., 2010).

4.8 Atributos físicos de solos hipersalinos

No litoral do RN, região que produz mais de 95% do sal marinho produzido no Brasil (Costa et al., 2015), nas áreas de várzeas e planícies de inundação, os solos são constituídos por sedimentos argilo-arenosos não consolidados.

O ambiente estuarino das planícies aluviais de rios que se desenvolveram sobre sedimentos que apresentam grande heterogeneidade quanto à composição física e mineralógica, os solos daí originados possuem grande variação de suas características físicas (Mendes et al., 2008).

A variação das características texturais do solo ocorrem em função do ambiente de deposição de sedimentos, da vegetação, do relevo que regula o tempo de exposição dos materiais à ação do intemperismo e, principalmente, do material de origem (Cunha et al., 2005).

Mendes et al. (2008), em seus estudos, cita que conhecimento da variabilidade espacial da granulometria é importante, para o entendimento de processos pedogenéticos, da dinâmica da água e acúmulo de sais, além de minimizar erros na sua amostragem e no seu manejo.

Entretanto, os solos aluviais são ainda mais problemáticos, podendo exibir diferenças significativas nas suas propriedades e características em pequenas dimensões, tanto vertical como horizontalmente, acarretando problemas de manejo de solo e água (Sousa et al., 1999).

O conhecimento da variabilidade das propriedades do solo no espaço e no tempo é considerado, atualmente, o princípio básico para o manejo preciso das áreas inseridas em estuários (Grego & Vieira, 2005).

Nesse sentido, a presença dos sedimentos de granulometria fina, a exemplo da argila e silte, no solo pode implicar na maior retenção de água superficial e sais minerais (Morais & Pinheiro, 2005).

Porém, as consequências dos sais sobre a estrutura do solo ocorrem, essencialmente, pela interação eletroquímica existente entre os cátions e a argila. Deste modo, a característica principal deste efeito é a expansão da argila quando úmida e a contração quando seca, devido ao excesso de sódio trocável no solo (Dias et al., 2016).

Se a expansão for exagerada, poderá ocorrer a fragmentação das partículas, causando a dispersão da argila e modificando a estrutura do solo, deste modo generalizando, os solos sódicos, ou seja, com excesso de sódio trocável, possuem problemas de permeabilidade e qualquer excesso de água causará o encharcamento na superfície do solo (Dias et al., 2016).

As alterações na estrutura e, conseqüentemente, na porosidade do solo, em resposta à percentagem de sódio trocável (PST) elevada, podem conduzir ao selamento superficial e à formação de camadas impermeáveis em subsuperfície. Esses processos interferem negativamente nas propriedades físico-hídricas aumentando a susceptibilidade do solo à erosão e limitando o uso agrícola (Miranda et al., 2008; Smith et al., 2009).

Diante do exposto anteriormente, a tendência da fração coloidal de dispersar-se, colocando-se em suspensão na água, é um fenômeno que pode ocorrer naturalmente ou por ação antrópica. No entanto, a resposta do solo à ação de forças desagregantes depende, em grande parte, de suas características químicas, físicas e mineralógicas. Assim, o tipo e a quantidade de minerais de argila, bem como a sua composição química, regem

importantes fenômenos físico-químicos que ocorrem nos solos (Almeida Neto et al., 2009).

Dessa maneira, a compreensão do comportamento da granulometria do solo é importante para se compreender a distribuição dos sedimentos, a dinâmica de formação de um estuário e fazer inferências sobre o comportamento do solo (Campos et al., 2007).

4.9 Análise Multivariada na variação espacial dos atributos do solo

Repetidamente tem-se determinado a qualidade do solo por meio da avaliação isolada de alguns atributos, fazendo-se uso de técnicas univariadas na análise de dados obtidos ao longo de tempo e do espaço. Nesse sentido, as respostas são alcançadas a partir das conclusões inferidas de modo isolado de um determinado atributo, que pode não estar sendo determinante para os usos dos quais o solo está sendo utilizado.

De acordo com os resultados de Fidalski et al. (2007), os estudos que quantificam a qualidade do solo geralmente apresentam muitas variáveis, e sua descrição por meio de análises estatísticas univariadas, pode comprometer, muitas vezes, as interpretações e as conclusões, por não explorar a existência ou não da dependência entre as variáveis.

O modelo de estatística univariada tradicional, muito utilizado ainda, torna-se menos sensível quando analisado diferentes ambientes, em razão de suas particularidades, pois, trata as diversas variáveis de forma isolada, e não considera o efeito conjunto dos atributos (Maluche-Baretta et al., 2006).

Para Melloni et al. (2008), as variáveis ambientais (atributos químicos, físicos e biológicos) do solo são analisadas em conjunto e correlacionadas com diferentes ecossistemas, a visualização e a ordem de influência dessas variáveis são bem mais claras. Fazer uso de técnicas estatísticas que admitam a ordenação de amostras em função de uma série de fatores ambientais simultaneamente, proporciona uma análise conjunta dos fatores ambientais para verificação de suas correlações com diferentes ecossistemas. As técnicas de análise multivariadas já foram utilizadas em estudos geoquímicos (Fadigas et al., 2002) e de inter-relações entre atributos de solo (Yongming et al., 2005).

Segundo Demétrio (2002), tais técnicas permitem avaliar simultaneamente um conjunto de características levando-se em consideração as correlações entre elas. Essas técnicas possibilitam inferências sobre conjuntos de dados no nível de significância conhecido, permitindo assim, ampla faixa de compreensão da distribuição geral dos resultados.

Os métodos multivariados podem ser aplicados em estudos de fertilidade do solo, a análise de componentes principais (ACP), consiste em transformar um conjunto de variáveis em outro grupo de componentes principais, de mesma dimensão, porém com propriedades importantes em que cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados (Morrison, 2003).

Os pesquisadores Splechtna & Klinka (2001), estudando solos florestais em uma região montanhosa do Canadá, utilizaram a ACP para examinar as relações entre regimes de nutrientes do solo identificados qualitativamente no campo e atributos de fertilidade do solo analisados em laboratório.

O uso da análise multivariada surge na ocasião que o pesquisador dispõe de vários parâmetros a serem analisados e precisa analisar ao mesmo tempo suas relações para então fazer inferências amplas a respeito de um determinado estudo. Sua grande vantagem é que essas técnicas apresentam uma abordagem mais holística do estudo em questão e que através da avaliação simultânea podem-se fornecer informações mais precisas a respeito das variáveis estudadas (Almeida Júnior, 2012).

Também permite ao pesquisador que se faça uma síntese da dimensão de análises com múltiplas respostas com o objetivo de simplificar o seu entendimento, visualização e interpretação e ainda reter informações suficientes para uma adequada representação dos resultados (Santos, 2010).

O objetivo da pesquisa revela quais métodos de análise multivariada serão escolhidos para a melhor interpretação dos dados. Quando o interesse é verificar como as amostras se relacionam, ou seja, o quanto estas são semelhantes e se possuem interdependência, destacam-se dois métodos: Correlação de Pearson (CP); Análise de Agrupamento (AA); Análise de

Componentes Principais (ACP); Análise Fatorial (AF); Correlação Canônica (CC) e para verificar a dependência entre as variáveis se destaca a Análise de Discriminante (AD) (Vicini, 2005).

4.9.1 Correlação de Pearson

O método usualmente conhecido para medir a correlação entre duas variáveis é o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson, este coeficiente é utilizado na análise de componente principal e análise fatorial. Para fazer bom uso do coeficiente de correlação de Pearson é necessário fazer uso de algumas suposições: o relacionamento entre as variáveis seja linear, ou seja, adequado para medir relacionamento linear, as variáveis envolvidas sejam aleatórias e seja medidas no mínimo em escala intervalar e que duas variáveis tenha uma distribuição normal bivariada conjunta, ou seja, para cada X dado, a variável Y é normalmente distribuída (Lira, 2004).

Entretanto, na prática ocorrem diferentes valores de (ρ^{\wedge}). A interpretação do valor de ρ^{\wedge} depende muito dos objetivos de sua utilização e as razões pelas qual este é calculado. Segundo Callegari-Jacques (2003, p. 90), o coeficiente de correlação pode ser avaliado qualitativamente da seguinte forma:

se $0,00 < \rho^{\wedge} < 0,30$, existe fraca correlação linear;

se $0,30 \leq \rho^{\wedge} < 0,60$, existe moderada correlação linear;

se $0,60 \leq \rho^{\wedge} < 0,90$, existe forte correlação linear e;

se $0,90 \leq \rho^{\wedge} < 1,00$, existe correlação linear muito forte.

Ou seja, se houver correlação perfeita negativa $\rho^{\wedge} = -1$ significa que quando uma variável aumenta a outra diminui.

4.9.2 Análise de Agrupamento (AA)

O método multivariado, a análise de agrupamento (AA) tem como base relações de similaridade ou distâncias entre as variáveis, cujo objetivo principal é agrupar e separar objetos de uma amostra de acordo com as suas características semelhantes, de tal forma que exista homogeneidade dentro do grupo formado e heterogeneidade entre grupos (Hair Jr. et al., 2005).

Basicamente, a técnica de classificação busca arranjar um conjunto de observações – cada um com múltiplas variáveis de modo a agrupar as mais similares e separar as mais dissimilares, formando diferentes grupos. A medida da similaridade entre observações é determinada pela análise simultânea de todas as variáveis em relação às demais. Essas observações podem ser quantitativas ou qualitativas (Gurgel, 2003).

A análise de agrupamento constitui em um método numérico multivariado, com o objetivo de propor uma estrutura classificatória, ou de reconhecimento da existência de grupos, objetivando, mais especificamente, dividir o conjunto de observações em um número de grupos homogêneos, segundo algum critério de homogeneidade (Regazzi, 2001).

Esse tipo de análise estatística, na área agrônômica, é comumente aplicado em melhoramento genético para seleção de caracteres (Cargnelutti Filho et al., 2009). Entretanto, está sendo utilizada também no estudo das relações entre os atributos do solo (Freddi et al., 2008). Em seus estudos Melém Jr. et al. (2008), utilizaram a análise de agrupamento para identificar grupos de municípios do estado do Amapá com solos de propriedades químicas semelhantes e assim descrever a disponibilidade de nutrientes nessas regiões.

Muitas vezes, nessa técnica, são feitas afirmativas empíricas, que nem sempre têm respaldo teórico. Muitas técnicas são propostas, mas não há, ainda, uma teoria generalizada e amplamente aceita. Devido a isso, devem-se utilizar vários métodos e comparar os resultados, para que a análise dos dados seja realizada pela técnica mais adequada (Melém Jr. et al., 2008).

Como o objetivo da análise de agrupamento é reunir objetos semelhantes, torna-se necessária alguma medida para avaliar o quão semelhantes, ou diferentes são os objetos. Geralmente, costuma-se avaliar a semelhança em termos de distância entre pares de objetos. Os objetos que possuem a menor distância entre si são mais semelhantes, um do outro, do que os objetos com a maior distância. Essa medida de semelhança é fornecida pela distância euclidiana (Regazzi, 2001).

Segundo Regazzi (2001), “embora a distância euclidiana seja uma medida de dissimilaridade, às vezes ela é referida como uma medida de

semelhança, pois quanto maior seu valor, menos parecidos são os indivíduos ou unidades amostrais”. Sendo, portanto, a AA uma análise do tipo descritiva, não inferencial e exploratória.

4.9.3 Análise de Componente Principal (ACP)

A análise de componente principal tem por alvo descrever os dados contidos num quadro indivíduos-variáveis numéricos que são: p variáveis serão mediadas com n indivíduos. Esta é considerada um método fatorial, pois a redução do número de variáveis não se faz por uma simples seleção de algumas variáveis, mas pela construção de novas variáveis sintéticas, obtidas pela combinação linear das variáveis iniciais, por meio dos fatores (Bouroche, 1982).

Essa transformação, em outro conjunto de variáveis, ocorre com a menor perda de informação possível, sendo que está também busca eliminar algumas variáveis originais que possuam pouca informação. Essa redução de variáveis só será possível se as p variáveis iniciais não forem independentes e possuírem coeficientes de correlação não-nulos (Ferreira, 2008).

Neste contexto, o método da análise de componente principal (ACP), que consiste em reescrever as coordenadas das amostras em outro sistema mais conveniente para a análise de dados. Esse método permite a redução do número de variáveis avaliadas e pode ser usado para julgar a importância das próprias variáveis originais escolhidas, ou seja, aquelas que apresentam maior peso e são mais importantes do ponto de vista estatístico (Moita Neto & Moita, 1998). Essa ferramenta pode auxiliar, também, na investigação de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos limitantes ao desenvolvimento vegetal (Cherubin et al., 2011; Nogar Neto et al., 2011).

Nesse sentido, fazendo-se uso da ferramenta de análise de componente principal é possível encontrar as características que mais diferenciam os atributos do solo, bem como, elaborar modelos estatísticos polinomiais que possam estimar valores para uma variável dependente a partir de n variáveis independentes e verificar de que forma essas variáveis se interagem (Hair Jr. et al., 2005).

4.9.4 Análise Fatorial (AF)

A Análise Fatorial (AF) é uma técnica estatística que busca através da avaliação de um conjunto de variáveis a identificação de dimensões de variabilidade comuns existentes em um conjunto de fenômenos; o intuito é desvendar estruturas existentes, mas que não observáveis diretamente. Sendo estas dimensões chamadas de fatores, esta técnica também permite detectar a existência de certos padrões subjacentes (implícito) nos dados, de maneira que possam ser reagrupados em um conjunto de menor fator (Bezerra, 2017).

Nesse sentido, a AF entende que altas correlações entre as variáveis criam agrupamentos que formam fatores, desse modo, a existência de um fator explica a correlação de determinado grupo de variáveis. Esta simplificação do conjunto dados consente que se busque a melhor forma de interpretação dos dados analisados, a AF tem por objetivo explicar as covariâncias diferindo da ACP que tem o objetivo de explicar as variâncias (Hair Jr. et al., 2005).

A técnica de AF tem sido empregada em diferentes áreas do conhecimento como, por exemplo: análise ambiental (Silva & Ribeiro, 2004), qualidade da água (Brito et al., 2006), análises de solos (Grobe & Marques, 2006) e, estudo de espécies vegetais (Dias et al., 2007).

É importante que o pesquisador conheça o método, pois este faz seleção das relações mais importantes e ajuda a compreender as relações que surgem em cada fator separadamente, sendo a escolha e a interpretação das variáveis subjetiva, tornando-se uma crítica a AF, pois após a obtenção dos resultados da análise não se pode assegurar que as relações estabelecidas são únicas e verdadeiras. Muito embora este método seja uma grande ajuda no estudo de relações mútuas entre diversas variáveis analisadas (Hair Jr. et al., 2005).

Em síntese podemos entender que a análise fatorial é uma tentativa baseada em observações estatísticas, de se determinar as relações quantitativas entre variáveis devido a fatores condicionantes separados ou fatores causais gerais, tal relação é expressa pelos coeficientes que indicam até que ponto as covariâncias das variáveis em estudo são influenciadas pelo fator geral qualquer (Dias et al., 2007).

4.9.5 Análise de Correlação Canônica (ACC)

A análise de correlação canônica (ACC) é um método estatístico proposto em 1936 por Hotelling, este possui teoria complexa, pois a correlação canônica agrega outros métodos vindos da estatística multivariada. Porém, com o avanço da tecnologia nos computadores no presente, é possível analisar grande quantidade de dados provenientes de pesquisas (Ferreira, 2008).

Estas informações são de suma importância, mas, repetidamente, é complexo conhecer as relações entre as variáveis. No entanto é de extrema necessidade por parte do pesquisador compreender tais correlações entre parâmetros encontrados em uma pesquisa (Ferreira, 2008).

Assim, quando almejamos estabelecer as relações entre dois vetores, um contendo p e o outro contendo q variáveis pode-se usar as pq correlações obtidas a partir de cada um dos pares de variáveis. Se o número de variáveis de cada vetor for muito grande, então o número de parâmetros que devemos avaliar é muito grande e qualquer tentativa de interpretá-los será infrutífera. Se quisermos sumarizar as informações dos pq parâmetros em um conjunto menor de coeficientes de correlação entre dois vetores, deve-se adotar a técnica de correlação Canônica (ACC) (Ferreira, 2008).

Outro autor (Green et al., 1978 *apud* Hair Jr. et al., 2005) relata que a análise de correlação canônica é um modelo estatístico multivariado que facilita o estudo de inter-relações entre conjuntos de múltiplas variáveis dependentes e múltiplas variáveis independentes. Ao contrário da regressão múltipla, que prevê uma única variável dependente a partir de um conjunto de variáveis independentes múltiplas, a correlação canônica simultaneamente prevê múltiplas variáveis dependentes a partir de múltiplas variáveis independentes.

Nesse sentido, a intenção é gerar um par de variáveis latentes que seja resultado das combinações lineares das variáveis dos dois vetores e que a informação contida nos pq parâmetros estejam agrupados na correlação entre essas novas variáveis, esse novo par de variáveis latentes é conhecido por par de variáveis canônicas e a correlação entre essas variáveis é a correlação canônica (Ferreira, 2008).

Um dos objetivos dessa técnica é encontrar relações lineares entre dois vetores em uma grande quantidade de dados com o estabelecimento de poucos pares de variáveis canônicas determinando a magnitude das relações que possam existir entre os dois conjuntos (Hair Jr. et al., 2005).

Outra vantagem que a referida técnica inclui, é o fato de ser utilizada para sumarizar adequadamente informações. O método permite descrever as relações que existem entre dois grupos de variáveis, elevando ao máximo a correlação entre os vetores de variáveis que são consideradas de dependentes e ou independentes (Hair Jr. et al., 2005).

E explicar as relações que venham a existir entre os conjuntos de variáveis dependentes e independentes, geralmente pela medida da contribuição relativa de cada variável às funções canônicas (relações) extraídas (Hair Jr. et al., 2005).

Conhecer as inter-relações entre vetores distintos de variáveis pode permitir ao pesquisador identificar possíveis estruturas de dependência entre os diferentes conjuntos de dados que não seriam facilmente identificados pela simples análise das pq correlações, entre os pares de variáveis originais (Ferreira, 2008).

Este objetivo torna a análise de correlação canônica especialmente útil, em distintas áreas do conhecimento científico: Ciências Biológicas, Melhoramento Genético, Ciência do Solo, entre outras (Ferreira, 2008).

4.9.6 Análise Discriminante (AD)

A Análise Discriminante foi proposta pelo estatístico inglês Karl Pearson, nas décadas de 1920, porém, houve um grande avanço com os trabalhos de Fisher 1935, nesse período, ele resolveu os primeiros problemas relacionados à discriminação entre duas populações (Mário et al., 2017).

Na análise multivariada, uma das principais questões se refere ao uso de suas técnicas para fins de classificação, nesse contexto, um dos métodos mais utilizados para resolver o problema de classificação e previsão de elementos é a análise discriminante (Mário et al., 2017).

O termo discriminante é utilizado para descrever uma técnica exploratória descritiva em que o objetivo é avaliar a discriminação de n objetos as suas populações ou aos grupos de origem, que já são estabelecidos antes do início da rotina da análise (Ferreira, 2008). Em seus estudos Ferreira (2008) relata que a análise discriminante, tem a finalidade de classificar um objeto em uma das $K \geq 2$ populações, conhecidas ou desconhecidas, com base em um vetor de observações multivariada x desse objeto.

Na referida análise, parte-se do pressuposto de que o pesquisador já identificou os k grupos e os objetos de cada grupo, ou seja, entende-se que o mesmo conhece a que grupo de variável (químico, físico, metais pesados, entre outros) pertence o parâmetro a ser analisado antes de a análise ser aplicada, nesse sentido, o objetivo é saber a qual grupo ou população cujas densidades de probabilidades são conhecidas, irá pertencer um novo objeto ou um novo conjunto de objetos (Ferreira, 2008).

Para situações onde muitas variáveis são medidas simultaneamente, referenciadas a uma localização específica e inter-relacionadas, torna-se complexo o manuseio e interpretação do volume de dados envolvidos nas análises estatísticas, muitas vezes inviabilizando o uso de métodos comuns da estatística univariada (Hair et al., 2009).

Sendo assim, os métodos da estatística multivariada são utilizados para sintetizar a estrutura da variabilidade dos dados ou para a realização de inferências estatísticas (Mingoti, 2007).

Esta técnica é uma importante ferramenta para a análise exploratória de dados de solos, permitindo o agrupamento de amostras segundo sua similaridade e ainda permitindo a seleção de variáveis de maior importância na discriminação dos grupos pré-selecionados (Benites et al., 2010).

A utilização dessa ferramenta tem sido observada na literatura internacional em estudos de pedologia e na interpretação de bancos de dados sobre solos (Burrough & Webster, 1976). Mais recentemente, o pesquisador Balieiro et al. (2005) demonstraram o potencial dessas ferramentas na ordenação de áreas de florestas plantadas sob diferentes manejos e em regeneração natural (áreas de pousio), em função de uma série de atributos

físicos, químicos, biológicos e bioquímicos do solo, para avaliação da qualidade do solo e dos substratos degradados.

Em resumo a AD auxilia na identificação de quais as variáveis independentes que efetivamente, diferenciam os valores assumidos pela variável dependente, sendo sintetizados seus objetivos em: determinar se existem diferenças entre as variáveis de cada grupo identificado previamente pelo pesquisador; identificar as variáveis que melhor diferenciam os grupos de observações; descrever um ou mais funções discriminante que representam as diferenças entre os grupos e classificar a priori novos indivíduos nos grupos com base na função discriminante (Mário et al., 2017).

4.10 Geoestatística aplicada variabilidade espacial aos atributos químicos e físicos de solo

Na literatura, localiza-se trabalhos sobre a variabilidade espacial dos atributos do solo, divulgados no início do século XX, sendo alguns desses descritos por Robinson & Lloyd (1915) e Pendleton (1919), citados por Angelico (2006). Inicialmente, as técnicas estatísticas avaliavam as variáveis aleatórias de modo independente entre si, julgando que as observações ao lado não exerciam influências umas sobre as outras. Porém, fatos naturais aconteciam repetidamente com certo padrão entre vizinhos, assim, pôde-se dizer que a variabilidade não ocorre ao acaso, pois, possuem certo grau de dependência espacial (Angelico, 2006).

De posse dessas observações, o engenheiro de Minas Sul-Africano, Daniel G. Krige, em 1951, com seus trabalhos com variáveis de mineração entendeu que a variação dos dados possuía estrutura que dependia da distância de amostragem e, desta conclusão, nasceram os primeiros conceitos de geoestatística (Angelico, 2006).

Nesta ciência, leva-se em consideração a variabilidade espacial de dados, auxiliando, ou mesmo substituindo, a análise estatística univariada, que trata dos dados de maneira isolada. No entanto, uma condição primordial para aplicação dos métodos geoestatísticos é a necessidade de referenciamento

dos locais, onde se coleta as amostras, em relação às coordenadas geográficas (Zimback, 2003 *apud* Angelico, 2006).

O estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos dos solos é particularmente importante em ambientes onde o solo está submetido a mudanças constantes. A análise geoestatística pode indicar alternativas de manejo não só para reduzir os efeitos da variabilidade, mas também auxiliar na recuperação de ambientes degradados (Carvalho et al., 2002).

Quanto aos métodos de interpolação mais usados no mapeamento dos atributos do solo, são aqueles que utilizam interpolação linear ou polinômios e o método da krigagem. Ambos estimam valores em locais não amostrados dentro da área de estudo (Schloeder et al., 2001).

Contudo, a forma na qual os dados variam de um local para outro no campo, não necessariamente, segue equações lineares ou polinômios. Quando isso acontece, muitas vezes, na prática, a forma e o grau do polinômio não suportam nenhuma interpretação física para o fenômeno, fato que é revelado no semivariograma (Vieira, 2000).

Nesse contexto, a variabilidade espacial dos atributos em solos, atualmente tem gerado inúmeros estudos, considerando a dificuldade de sua caracterização e quantificação, assim, torna-se fundamental compreender os fatores responsáveis pela dinâmica da variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo, pois, em algumas situações estes não variam no espaço e no tempo ao acaso, mas de acordo, com uma continuidade aparente ou dependência espacial (Corá & Beraldo, 2006).

A referida técnica é uma importante ferramenta que auxilia na análise da distribuição espacial de doenças (Alves et al., 2006) e da variabilidade de atributos do solo (Carvalho et al., 2002), pois permite quantificar a magnitude e o grau de dependência espacial e descrever detalhadamente a variabilidade espacial das variáveis estudadas por meio de um interpolador exato e preciso.

Além disso, para o pesquisador Pontes (2002) *apud* Uchôa et al. (2011) relata que a geoestatística é capaz de determinar a acurácia e a confiabilidade dos experimentos, e evidenciar as diferenças entre tratamentos que não se constataria com o pressuposto de erros aleatórios, considerados na análise clássica univariada de dados.

Diante do exposto, o uso da geoestatística pode ser uma ferramenta auxiliar na compreensão da dinâmica dos atributos do solo em ambientes hipersalinos.

5 MATERIAL E MÉTODOS

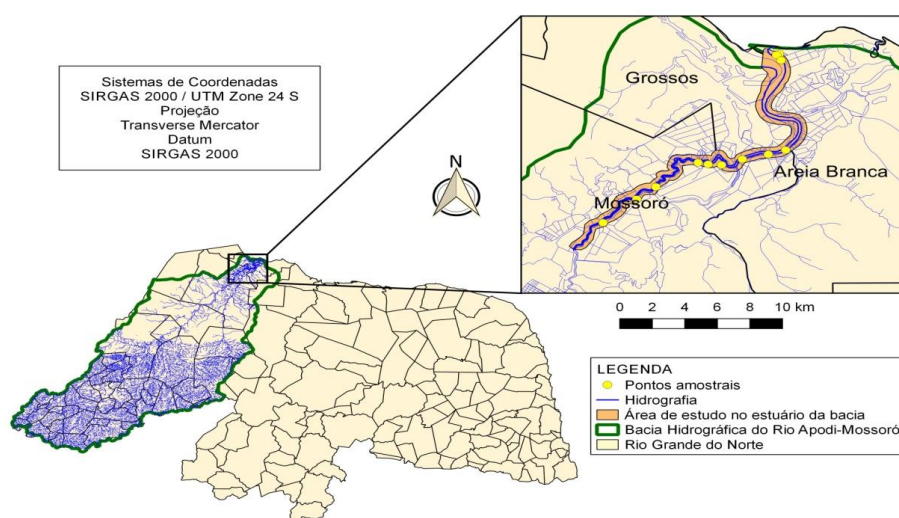
5.1 Área de estudo e coletas das amostras de solo

A área de estudo faz parte da costa brasileira, possuindo grande influência da interação das variações climáticas e eustáticas, bem como da movimentação dos sedimentos vindos do continente ou marinho quaternário, dando a origem à Formação Barreiras (Pinheiro, 2009) bem como a uma grande e extensa planície costeira com uma faixa de praia, terraços marinhos e uma planície fluviomarinha (Meireles, et al., 2005).

A pesquisa foi realizada no período de julho de 2017 a abril de 2018, para sua efetivação coletaram-se em maré baixa amostras de solo em três ambientes ao longo do estuário da bacia do rio Apodi-Mossoró/RN na região do Litoral da Costa Branca Potiguar.

Utilizou-se como referência para a realização das coletas de solo o leito do rio, subdividindo o estuário em função das maiores salinas instaladas ao longo do rio, ficando assim disposta: no alto estuário utilizou-se a área da salina C, no médio estuário a área da salina S e no baixo estuário a área da salina N, conforme a Figura 1.

Figura 1. Localização da área de estudo, bacia do Rio Apodi-Mossoró/RN e pontos de coleta das amostras de solo.



Fonte: Compilação do autor (2018).

Vale ressaltar que os dois primeiros ambientes supracitados (C e S) são inseridos no município de Mossoró e o terceiro (N) no município de Areia Branca- RN, ambas as cidades se localizam na região semiárida do nordeste brasileiro. As amostras foram coletadas na profundidade de 0.5 m, com o auxílio de uma enxada para abertura da trincheira até a profundidade desejada, e com uma pá – para a coleta do sedimento desejado.

Nas demais profundidades 1.0, 2.0, 3.0m usou-se um trado de caneca com hastes encaixantes confeccionado por um ferreiro, cada haste, possuía 1 metro de comprimento, no final da terceira haste, acoplou-se uma caneca de 40 cm de comprimento por 10 cm de diâmetro; no final da caneca, fez-se um bisel para manter os sedimentos coletados. Coletou-se no campo, aproximadamente um quilograma de solo, sendo acondicionados em sacos plásticos e posteriormente lacrados e etiquetados para o transporte até o laboratório.

Os pontos de amostragem foram determinados de modo que a área de coleta ao longo do estuário ficasse representada, deste modo, amostraram-se pontos aleatórios e em quatro profundidades 0.5, 1.0, 2.0 e 3.0m em de acordo com a subdivisão pré-determinada anteriormente, sendo estes pontos de amostragem codificados como representado na Tabela 1.

Tabela 1. Codificação das áreas, pontos de amostragem e profundidade de coleta das amostras de solo.

CA1	SA1	NA1
CA2	SA2	NA2
CA3	SA3	NA3
CA4	SA4	NA4
.	.	.
.	.	.
.	.	.
CC1	SF1	ND1
CC2	SF2	ND2
CC3	SF3	ND3
CC4	SF4	ND4

Nota: Em que as C, S e N significam as áreas de coleta, de A até F significa os pontos de coleta e por fim de 1 a 4 as profundidades da coleta de solo.

Na profundidade de 0.5 m, com mencionado se fez necessário a utilização das ferramentas supracitadas, como ilustrado na Figura 2.

Nas demais profundidades, usou-se um trado de caneca com hastes encaixantes. Coletou-se no campo aproximadamente um quilograma de solo, sendo acondicionados em sacos plásticos que foram lacrados e etiquetados para o transporte até o laboratório.

Figura 2. Coleta de solo na profundidade 0.5 e 3.0m, na bacia do Rio Apodi-Mossoró/RN e demonstração do trado utilizado durante as coletas.



Fonte: Compilação do autor (2018).

5.2 Beneficiamento das amostras no laboratório

Em função dos sedimentos possuírem alta umidade e serem altamente higroscópicos, chegando ao laboratório, às amostras foram colocadas em marmitas de alumínio identificadas, e enviadas para a estufa de circulação forçada a temperatura de 45°C para secar, passando 13 dias nessas condições.

Após o processo de secagem, as amostras foram encaminhadas para o setor de beneficiamento de solo, passando pelo processo de destorroamento e peneiramento em peneira de 2 mm para obtenção da fração da Terra Fina seca ao Ar (TFSA).

As amostras deformadas foram coletadas e analisou-se os atributos químicos do solo: Potencial Hidrogeniônico $\text{pH}_{(\text{água})}$, Condutividade elétrica (CE 1: 2.5 dS m^{-1}), Nitrogênio (N g kg^{-1}), Matéria Orgânica (Mat. Org. dag kg^{-1}), Fósforo ($\text{P}^+ \text{mg dm}^{-3}$), Potássio ($\text{K}^+ \text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$), Sódio ($\text{Na}^+ \text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$), Cálcio ($\text{Ca}^{2+} \text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$), Magnésio ($\text{Mg}^{2+} \text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$), Capacidade de Troca de Cátions (CTC $\text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$), Percentagem de Sódio Trocável (PST %), Relação de adsorção de Sódio (RAS 1:2.5 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), Cloreto ($\text{Cl}^- \text{g dm}^{-3}$), Relação de adsorção de Potássio (RAP 1:2.5 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), Relação de Cálcio Trocável (RCaT 1:2.5 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), Relação de Magnésio Trocável (RMgT 1:2.5 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), Relação de Potássio Trocável (RKT 1:2.5 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), Micronutrientes: Cobre (Cu^{+2}), Ferro (Fe^{+3}), Manganês (Mn^{+2}), Zinco (Zn^{+2}) e Metais pesados: Cromo (Cr^{+3}), Níquel (Ni^{+2}), Cádmio (Cd^{+2}) e Chumbo (Pb^{+2}) mg dm^{-3} , analisou-se também os atributos físicos do solo: granulometria, relação silte/argila, argila dispersa em água (ADA g kg^{-1}), grau de floculação (GF %), fracionamento das areias (g) e a densidade de partícula (Dp g cm^{-3}).

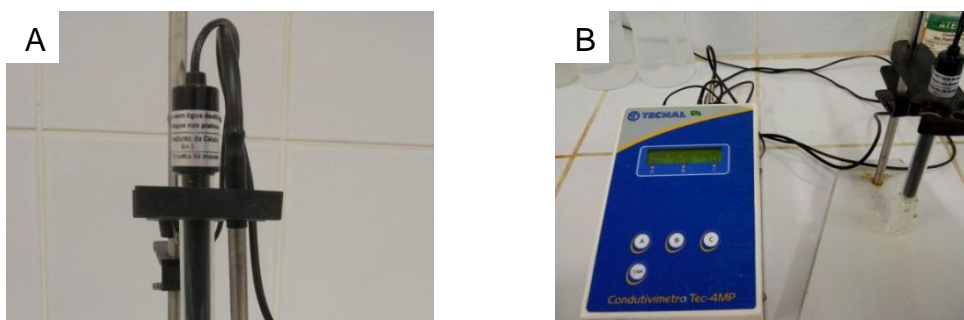
As análises químicas e físicas foram realizadas no Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural do Semiárido (LASAP-CCA-UFERSA), seguindo os métodos propostos por de Teixeira et al.(2017).

5.3 Descrição das análises químicas

5.3.1 Particularidades da análise de Condutividade elétrica (CE 1: 2.5) e Relação de adsorção de Sódio (RAS).

A salinidade do solo para agricultura é expressa pela condutividade elétrica do extrato da pasta de solo saturado (CEes). Mas devido ser um procedimento moroso e trabalhoso, pode-se utilizar a medição da condutividade elétrica na suspensão de uma parte de solo para duas e meia de água (CE1:2.5), a mesma utilizada para medir o pH do solo para fins de fertilidade do solo, para se estimar a CEes, necessitando que se faça as devidas calibrações para aquele solo estudado (Rhoades & Miyamoto, 1990; Dantas et al., 2005). Entretanto, em função da grande quantidade de íons presentes no solo hipersalino e a constante de célula do condutímetro utilizado nas medições ser $K=1$ (Figura 3a), os valores obtidos são superiores a 20 mS/m, faixa de valores cuja relação entre CE e concentração de sais na solução não é linear, ocasionando “falsas leituras” ao analisar o sobrenadante da solução não diluída 1: 2.5 (Figura 3b). Diante das “falsas leituras”, houve a necessidade de se realizar diluições do sobrenadante, na proporção de: 1:5, 1:10 e 1:20, respectivamente, para se verificar onde havia uma linearidade entre concentração iônica total e CE.

Figura 3. Constante da célula usada nas medições (A) e Condutímetro utilizado para medição de CE 1:2.5 (B).



Fonte: Compilação do autor (2018).

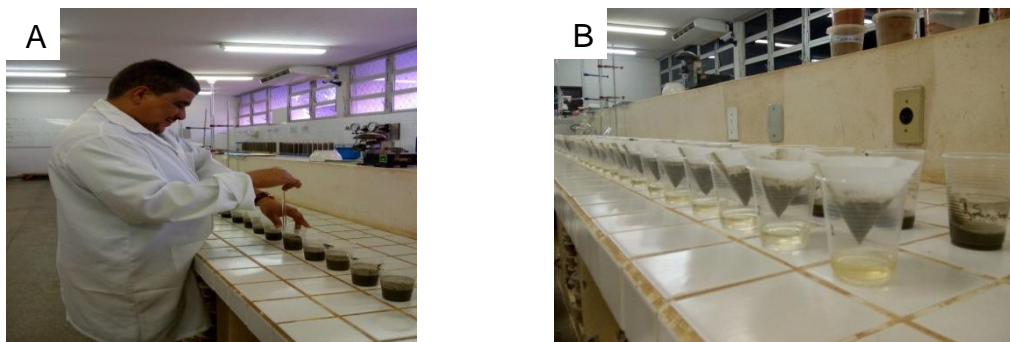
Utilizou-se o pacote Microsoft Excel 2010 para realizar a comparação dos resultados das leituras de CE1:2.5 com as leituras obtidas no sobrenadante diluído nas proporções elencadas anteriormente, sendo assim, com auxílio do Excel multiplicou-se os valores obtidos por cada fator de diluição e com o auxílio de gráficos verificou-se qual conjunto de dados teve menor dispersão, auxiliando na tomada da decisão de qual proporção de diluição utilizar no referido estudo, encontrado-se a menor dispersão na diluição de 1:20.

Para a obtenção da Relação de Adsorção de Sódio - RAS, Relação de Adsorção de Potássio - RAP, Relação de Cálcio Trocável - RCaT, Relação de Magnésio Trocável - RMgT e Relação de Potássio Trocável - RKT, inicialmente realizou-se a determinação dos os cátions trocáveis. Como a concentração dos íons solúveis no solo era alta, a metodologia de Teixeira et al. (2017) para determinação dos cátions trocáveis foi alterada. Neste caso, subtraíram-se dos valores obtidos, os íons solúveis.

Para a sua determinação, os íons solúveis foi determinado no sobrenadante de uma parte de solo para duas e meia de água, utilizando o método proposto por Rhoades & Miyamoto (1990).

O referido método consistiu em adicionar 10 cm³ de solo (TEFSA) em copo descartável de 50 mL, acrescentar 25 ml de água destilada e agitar com bastão de vidro cada amostra durante um minuto (Figura 4a), a solução ficou em repouso durante meia hora e repetiu-se o procedimento por mais duas vezes. Na última agitação, as amostras ficaram em repouso por um período de duas horas, após esse período, as amostras foram filtradas (Figura 4b) para a determinação dos cátions solúveis, expressando inicialmente em mmol_c L⁻¹, transformando em seguida para cmol_c dm⁻³ de solo pelo fator (1/25), unidade esta que é expressa os cátions totais.

Figura 4. Agitação das amostras de sedimentos (A) e filtragem das amostras(B).



Fonte:Compilação do autor (2018).

Tendo-se analisado os cátions totais (extraídos) e os solúveis, calcularam-se os cátions realmente trocáveis pela diferença entre os mesmos.

O cálculo da Relação de Adsorção de Sódio (RAS) e a Relação de Adsorção de Potássio (RAP) foram obtidas pela equação padrão de Richards (1954).

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

$$RAP = \frac{K}{\left(\frac{Ca+Mg}{2}\right)^{0,5}} \quad \text{Eq.2}$$

Em que:

RAS – Relação de Adsorção de Sódio, em $(\text{mmol L}^{-1})^{0,5}$

RAP – Relação de Adsorção de Potássio, em $(\text{mmol L}^{-1})^{0,5}$;

Ca – Cálcio solúvel, em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$;

Mg – Magnésio solúvel, em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$;

Na – Sódio solúvel, em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$;

K – Potássio solúvel, em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$.

Utilizaram-se os resultados das análises dos cátions trocáveis para realizar o cálculo da Relação de Cálcio Trocável (RCaT), Relação de Magnésio Trocável (RMgT) e a Relação de Potássio Trocável (RKT), seguindo o procedimento o seguinte procedimento:

$$\text{CaT} = \text{CaTotal} (\text{Cmol}_c \text{ dm}^3) - \text{Ca1:2,5} (\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}) * 2.5/10$$

$$\text{MgT} = \text{MgTotal} (\text{Cmol}_c \text{ dm}^3) - \text{Mg1:2,5} (\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}) * 2.5/10$$

$$\text{KT} = \text{KTotal} (\text{Cmol}_c \text{ dm}^3) - \text{K1:2,5} (\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}) * 2.5/10$$

$$\text{NaT} = \text{NaTotal} (\text{Cmol}_c \text{ dm}^3) - \text{Na1:2,5} (\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}) * 2.5/10$$

E posteriormente dividiram-se os resultados do sódio pelo cálcio, magnésio e potássio, como descrito nas equações abaixo.

$$\text{RCaT} = \frac{\text{Na}}{\text{Ca}} \quad \text{Eq.3}$$

$$\text{RMgT} = \frac{\text{Na}}{\text{Mg}} \quad \text{Eq.4}$$

$$\text{RKT} = \frac{\text{Na}}{\text{K}} \quad \text{Eq.5}$$

5.4 Descrição das análises físicas

5.4.1 Particularidade da análise granulométrica, argila dispersa em água, grau de floculação, fracionamento da areia e densidade da partícula (Dp).

Para a realização do ensaio de granulométrico se fez necessário à eliminação dos carbonatos e o excesso de sais presentes nas amostras bem como a matéria orgânica, realizando-se o pré-tratamento das amostras (Figura 5). Colocou-se aproximadamente 50g de solo em um béquer de dois litros e adicionou-se ácido clorídrico 10%, e em seguida agitou a amostra com bastão de vidro.

Figura 5. Pré-tratamento dos sedimentos para eliminação de carbonatos, sais e Matéria Orgânica.



Fonte: Compilação do autor (2018).

Suspendeu-se a adição do ácido quando já não se observou a presença de efervescência, cobriu-se com vidro de relógio e deixou em repouso durante uma noite. Na manhã seguinte adicionou-se mais ácido para verificar a ausência de efervescência e posteriormente, adicionou água destilada nos béqueres agitou-se com bastão de vidro e deixou decantar, repetiu-se esse procedimento três vezes conforme (Figura 6) realizado o pré-tratamento. Em seguida as foram colocadas na estufa para secar, e posteriormente serem utilizadas nos ensaios referentes à física do solo.

Figura 6. Lavagem dos sedimentos para eliminação de agentes cimentantes.



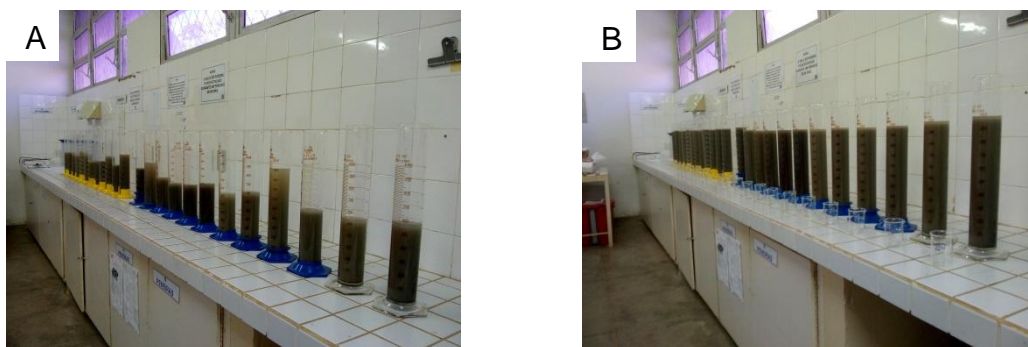
Fonte: Compilação do autor (2018).

Para a eliminação da Matéria Orgânica, repetiu-se o mesmo procedimento descrito anteriormente, porém, usando-se a água oxigenada como reagente, até a ausência de efervescência.

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, utilizando 20 g de TFSA pré-tratada e dispersante químico (Hexametáfosfato de sódio) com agitação mecânica lenta em agitador (tipo Wagner 50 rpm) por 16 horas,

onde a fração areia (2 – 0.05 mm) foi obtida por tamisagem, argila (< 0.002 mm) por sedimentação e o silte (0.05 – 0.002) por diferença como observado na (Figura 7).

Figura 7. Sedimentação das amostras não tratadas (A) e sedimentação das amostras tratadas (B).



Fonte: Compilação do autor (2018).

A argila dispersa em água (ADA) foi determinada a partir da TFSA com o solo tratado, utilizando-se agitação mecânica lenta (tipo Wagner 50 rpm por 16 horas) e água destilada. O grau de floculação (GF) da argila foi calculado pela expressão seguindo os métodos descritos no manual de análises físicas (Teixeira et al., 2017) (Equação 6).

$$GF = \frac{(\text{Argila Total} - \text{Argila Dispersa em Água})}{\text{Argila Total}} * 100 \quad \text{Eq.6}$$

Em que:

GF – Grau de Floculação, em (%);

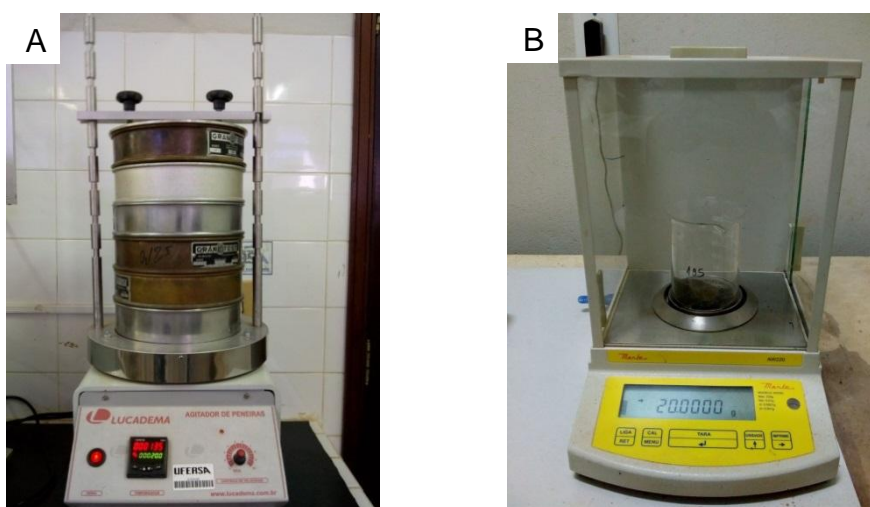
AT – Argila Total, em g Kg⁻¹;

ADA – Argila Dispersa em Água em g Kg⁻¹.

Para o fracionamento da areia utilizou-se a amostra separada fracionada no ensaio granulométrico, utilizou-se um agitador de peneiras do Lucadema, com quatro peneiras em ordem crescente de separação, ficando assim

disposta no agitador: areia muito grossa (peneira de 1000 mm), areia grossa (peneira de 500 mm), areia média (250 mm), areia fina (125 mm), areia muito fina peneira (50 mm) de acordo com a (Figura 8). As frações das areias retidas nas peneiras foram pesadas em balança analítica com precisão de quatro casas decimais.

Figura 8. Fracionamento das areias (A) e pesagem dos sedimentos fracionados (B).



Fonte: Compilação do autor (2018).

Na determinação da densidade de partícula (D_p) optou-se pelo método do balão volumétrico, este procedimento abrange duas ações: a primeira é obtenção da massa da amostra por pesagem e a segunda a determinação de seu volume.

Pesou-se 20 g de solo, colocou em bquer de massa conhecida, levou-se a estufa a 105 °C para secar até massa constante. Posteriormente, as amostras foram retiradas da estufa e as mesmas colocadas para esfriar em dessecador para serem pesadas, obtendo-se a massa da amostra seca.

Transferiu-se a amostra para um balão calibrado de 50 ml com o auxílio de um funil e um pincel de 13 mm, em seguida foi adicionado álcool etílico até cobrir a amostra, agitando bem o balão para eliminar as bolhas de ar que se formam, continuando a operação, lentamente, até completar o volume do balão, atentando-se para a ausência de bolhas no interior do balão.

Anotou-se o volume de álcool gasto para a realização dos cálculos seguindo os métodos descritos no manual de análises físicas obtendo-se a D_p pela equação 7 (Teixeira et al., 2017).

$$D_p = \frac{M_a}{(V_a - V_g)} \quad \text{Eq.7}$$

Em que:

D_p – densidade de partícula, em kg dm^{-3} (equivalente a g cm^{-3});

M_a – massa da amostra seca a 105°C , em g;

V_a – volume total aferido do balão, em ml e;

V_g – volume utilizado gasto completar o balão com a amostra, em ml.

5.5 Análise estatística

Os resultados das análises químicas e físicas dos solos obtidos estão representados por tabelas inscritas pela média de três repetições por amostra, nas respectivas áreas estudadas. Utilizou-se a técnica de análise multivariada como ferramenta principal para interpretação dos dados. Nesse contexto, empregou-se a Análise de Componentes Principais (ACP), Análise Fatorial (AF), Análise de Agrupamento-Cluster (AG), Análise Canônica (AC) e por fim realizou-se a Análise de Discriminante (AD) utilizando-se o software (Statistica 7.0), para separação dos atributos mais sensíveis na distinção dos ambientes estudados e utilizou-se a Geoestatística para confecção dos mapas com o auxílio do software QGis.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Estatística descritiva dos atributos do solo

Constata-se na (Tabela 2) que o pH do solo analisado, é classificado como alcalino, tendo como valor médio 7.44, possuindo menor valor de 4.08 e o maior valor de 8.63, para referida variável, indicando ampla variação nos resultados da referida variável. Entretanto, o autor (Vila nova et al., 2016) relata que os solos estuarinos possuem valores de pH na faixa da alcalinidade.

O valor médio para a variável CE é de 58.66 dS m⁻¹, no entanto, observa-se na (Tabela 2) que o maior valor para a referida variável é de 157.60 dS m⁻¹, isso indica que existem pontos ao longo do rio que já estão hipersalinizados, ou seja, as águas das marés não diluem o grande acúmulo de sais.

Por outro lado, constata-se que o valor mínimo para a condutividade elétrica é de 16.00 dS m⁻¹, verificando-se que, mesmo diante da grande demanda evapotranspirativa existente ao longo do estuário, existe a lavagem de sais promovida pelas águas das marés.

Ao analisar o sódio presente no solo (Tabela 2), constata-se que o valor médio ao longo do estuário é da ordem de 96.49 Cmol_c dm⁻³, já o valor máximo é de 179.38 Cmol_c dm⁻³, com valor mínimo de 5.89 Cmol_c dm⁻³, evidenciando a grande variação nos teores do referido elemento em discussão.

Nesse sentido, entende-se que nos pontos mais próximos ao leito do rio, os valores de sódio são mais baixos em função da constante lavagem, porém, em nos pontos lavados somente por altas marés, existe um maior acúmulo do referido sal em maiores proporções no solo.

Para as variáveis cálcio e magnésio (Tabela 2), constata-se um equilíbrio nos teores médios com valores de 22.49 e 23.58 Cmol_c dm⁻³, respectivamente, entretanto, quando analisa-se valor máximo para ambos os elementos, evidencia-se que o cálcio tem maior proporção quando comparado com o magnésio com valores de 141.75 e 67.67 Cmol_c dm⁻³, respectivamente.

Tabela 2. Análise descritiva dos atributos químicos do solo hipersalino do estuário do Rio Apodi - Mossoró-RN.

Atributos Químicos	Média	Máximo	Mínimo	Des. Padrão	CV(%)
pH_(água)	7.44	8.63	4.08	0.89	12.02
CE_{1:2.5} (dS m⁻¹)	58.66	157.6	16.00	39.99	68.18
Nitrogênio (g Kg⁻¹)	1.17	2.31	0.35	0.45	38.5
Mat.Org. (dag Kg⁻¹)	3.59	8.00	0.41	1.79	49.75
P⁺ (mg dm⁻³)	23.4	68.02	1.52	17.29	73.9
Na⁺ (Cmol_c dm⁻³)	96.49	179.38	5.89	42.72	44.28
K⁺ (Cmol_c dm⁻³)	3.14	6.30	0.52	1.66	52.87
Cl⁻ (g dm⁻³)	16.76	46.47	4.93	11.83	70.6
Ca⁺² (Cmol_c dm⁻³)	22.49	141.75	3.10	20.96	93.18
Mg⁺² (Cmol_c dm⁻³)	23.58	67.67	7.08	13.58	57.58
CTC (Cmol_c dm⁻³)	146.33	356.49	45.9	61.40	41.96
PST (%)	66.24	83.44	44.11	10.65	16.07
mmmolc L⁻¹					
RAS 1:2.5	104.76	324.83	35.48	73.87	70.51
RAP 1:2.5	1.86	3.40	0.38	0.88	47.34
RCaT 1:2.5	5.61	29.33	0.48	5.23	93.21
RMgT 1:2.5	4.31	12.84	0.41	3.03	70.44
RKT 1:2.5	32.41	67.51	9.97	14.2	43.82
(mg dm⁻³)					
Cu²⁺	1.17	5.50	0.40	1.20	102.17
Fe³⁺	2.27	9.77	0.28	1.99	87.47
Mn²⁺	11.99	51.10	0.35	13.06	108.91
Zn²⁺	0.89	6.45	0.00	1.58	177.6
Cr³⁺	0.48	0.85	0.26	0.14	30.07
Ni²⁺	1.23	5.69	0.11	1.36	110.74
Cd²⁺	0.12	0.39	0.00	0.09	75.74
Pb²⁺	1.45	6.25	0.25	1.26	86.72

Nota: Potencial Hidrogeniônico (pH_{água}), Condutividade elétrica (CE_{es} 1: 2.5 dS m⁻¹), Nitrogênio (N g/ Kg⁻¹), Matéria Orgânica (Mat.Org. dag Kg⁻¹), Fósforo (P⁺ mg dm⁻³), Potássio (K⁺ Cmol_c dm⁻³), Sódio (Na⁺ Cmol_c dm⁻³), Cálcio (Ca²⁺ Cmol_c dm⁻³), Magnésio (Mg²⁺ Cmol_c dm⁻³), Capacidade de Troca de Cátions (CTC Cmol_c dm⁻³), Percentagem de Sódio Trocável (PST %), Cloreto (Cl⁻ g dm⁻³), Relação de adsorção de Sódio (RAS 1:2.5 mmmol_c L⁻¹), Relação de adsorção de Potássio (RAK 1:2.5 mmmol_c L⁻¹), Relação de Cálcio Trocável (RCaT 1:2.5 mmmol_c L⁻¹), Relação de Magnésio Trocável (RMgT 1:2.5 mmmol_c L⁻¹), Relação de Potássio Trocável (RKT 1:2.5 mmmol_c L⁻¹); Cobre (Cu²⁺), Ferro (Fe³⁺), Manganês (Mn²⁺), Zinco (Zn²⁺), Cromo (Cr³⁺), Níquel (Ni²⁺), Cádmi (Cd²⁺); Chumbo (Pb²⁺) todos expressos em mg/dm⁻³; Coeficiente de Variação (CV) e Desvio padrão (Des. Padrão).

Ao se analisar os valores de desvios padrão (Tabela 2) de ambas as variáveis 20.96 e 13.58, confirma-se que há grande variação dentro do conjunto de dados analisados, isso pode estar relacionado a constante renovação que os ambientes estuarinos estão sujeitos.

O valor da relação de adsorção de sódio (RAS) possui média de 104.76 mmolc L^{-1} , (Tabela 2), ou seja, verifica-se que tais valores são muito elevados ao compararmos com solos agricultáveis, entretanto, em solos estuarinos tais valores não causam efeitos deletérios no solo.

Ao analisar os valores máximos e mínimos da RAS, verifica-se que existe grande amplitude entre os mesmos com valores de 324.83 e 35.48 mmolc L^{-1} , indicando que em pontos com alta proporção de sódio, existe elevado intercâmbio catiônico no complexo de troca.

Constam na (Tabela 2) os valores de ferro e manganês com valores médios de 2.27 e 11.99 mg dm^{-3} , respectivamente, os valores máximos dos referidos elementos são da ordem de 9.77 e 51.10 mg dm^{-3} , respectivamente.

Constatando que para as condições desse estudo, verificou-se a existência de uma tendência dos teores de manganês serem mais elevados do que os teores de ferro, este comportamento também é observado, quando se analisa os valores mínimos 0.28 e 0.35 mg dm^{-3} , respectivamente, com os teores de manganês permanecendo mais elevados quando comparados com os teores de ferro no solo em estudo.

Constam na (Tabela 3) os valores referentes aos atributos físicos do solo do estuário do Rio Apodi - Mossoró-RN, verifica-se que o valor médio para o teor de areia e silte ao longo do estuário é de 301.89 e 363.87 g Kg^{-1} , respectivamente.

No que se refere ao valor máximo dos valores de areia e silte 824.15 e 741.93 g Kg^{-1} , tais resultados refletem a grande variabilidade nos teores dos referidos parâmetros ao longo do estuário em estudo, em relação aos valores mínimos das referidas variáveis 25.6 e 91.85 g Kg^{-1} , (Tabela 3), constata-se que o referido estuário é classificado como siltoso.

Em relação à média dos teores de argila ao longo do estuário, constata-se que o estuário em estudo possui 334.24 g Kg^{-1} , (Tabela 3), sendo, portanto muito próximo da média de silte, indicando tendência de equilíbrio nas proporções das referidas variáveis em análise.

Tabela 3. Análise descritiva dos atributos físicos do solo hipersalino do estuário do Rio Apodi - Mossoró-RN.

Atributos Físicos	Média	Máximo	Mínimo	Des. Padrão	CV (%)
	g Kg⁻¹				
Areia	301.89	824.15	25.6	264.83	87.72
Silte	363.87	741.93	91.85	161.96	44.51
Argila	334.24	642.49	53.52	183.53	54.91
Silte/Argila	1550.57	6250.78	338.42	1296.73	83.63
Dp (g cm⁻³)	2.41	3.14	2.13	0.14	5.95
	g				
Areia muito grossa	1.39	13.24	0	2.81	201.84
Areia grossa	3.45	34.67	0	6.64	192.63
Areia média	5.29	33.47	0.12	7.43	140.54
Areia fina	9.01	61.61	0.38	12.05	133.78
Areia muito fina	10.23	39.09	1.49	9.46	92.46

Nota: Densidade de partícula (Dp); Desvio Padrão (Des. Padrão) e Coeficiente de Variação (CV).

No que se refere aos teores máximos e mínimos da argila 642.49 e 53.52 g Kg⁻¹, respectivamente, (Tabela 3), confirma-se que o referido estuário possui menor teor quando comparado com o silte, reforçando que em ambientes hipersalinos, o silte, é uma variável física do solo, que deve ser levada em consideração no que se refere ao uso racional dos ambientes estuarinos.

Na (Tabela 3), constam os resultados do fracionamento dos teores de areias ao longo do estuário, verifica-se que a média da areia fina é de 9.01 g e a média para o teor de areia muito fina é de 10.23 g. Nesse sentido, o estuário em estudo é dinâmico, pois, as frações de areias encontradas por este estudo são muito próximas, indicando forte interferência das referidas variáveis na composição física do estuário.

No que se refere ao valor máximo e mínimo da areia fina 61.61 e 0.38 g (Tabela 3), verifica-se que a referida variável possui grande amplitude, indicando alta variabilidade nos teores do referido parâmetro, devido a proximidade com áreas próximas a encostas que servem como calhas para o carreamento de materiais finos ao longo do estuário.

A variável areia muito fina, possui valor máximo e mínimo de 39.09 e 1.49 g, respectivamente, no que se refere à importância da referida variável,

ressalta-se que esta é um importante agente de cimentação, quando em contato com excesso de sais.

Nesse sentido, confirma-se a importância e contribuição da areia muito fina na aeração do solo, promovendo a entrada de ar no intervalo entre a preamar e baixa-mar; a referida variável também possui forte influência no que se refere a facilidade de infiltração de água no solo, devido a maior quantidade de macroporos presentes no solo.

6.2 Análise individual dos atributos químicos do solo

Vale ressaltar que todas as análises foram realizadas com base na matriz de correlação (Apêndice 1) entre os atributos químicos do solo com a análise conjunta das três áreas, onde se verificou alto número de correlação e significativa ($P < 0.05$). Esta resposta dos dados confirma que a Análise Fatorial (AF) em conjunto da Análise de Agrupamento (AA) possui o poder de extrair grande quantidade de informações, sendo deste modo uma ferramenta viável e aplicável ao estudo dos atributos químicos de solo. Nesse sentido, a grande quantidade de correlações significativas confirma que em ambientes de alta salinidade, ou seja, hipersalinos as relações entre os elementos que constituem o solo são muito próximas.

Na (Tabela 4) estão inscritos o resumo da AF, bem como as cargas fatoriais oriundas da análise das três áreas conjuntamente, para obtenção das mesmas optou-se em utilizar o método de rotação varimax, pois este procedimento prima em extrair o máximo da soma das variâncias das cargas fatoriais, os autovalores e a percentagem de explicação da variância de cada fator.

De acordo com os critérios elencados anteriormente, decidiu-se firmar a quantidade de fatores tomando como base o percentual de explicação da variância acumulada, sendo estes constituídos por valores superiores a 70% de explicação da pesquisa em estudo.

Verificou-se ainda que os três primeiros fatores contribuíram com autovalores com percentuais de explicação de 43.17, 19.86 e 10.05%, respectivamente Tabela 4, desse modo, explicaram 73.09% da variância total

dos dados. Neste tipo de análise, o primeiro fator é o mais importantes dentre os demais, sendo assim, observa-se que no fator (F1), ocorre as maiores cargas fatoriais para os atributos químicos, sendo nas variáveis RAS 1: 2.5, Cl^- , $\text{CE}_{\text{es } 1:2.5}$ e Mg^{2+} , com valores de 0.96, 0.94, 0.95 e 0.89, respectivamente. Ao se analisar o segundo fator (F2), contata-se que as variáveis com maiores cargas fatoriais foram o K^+ , Na^+ e a RMgT com valores de 0.92, 0.89 e 0.70, respectivamente, já para o terceiro fator (F3), contata-se que o RCaT foi a única variável que contribuiu para a formação do referido fator, com carga fatorial de 0.77.

Diante dos resultados aqui obtidos, pode-se aferir que para o F1, a RAS, (Tabela 4), foi a variável que contribuiu com maior carga fatorial, isso significa dizer que, em ambientes hipersalinos naturais, a RAS, influência de forma deletéria no estuário, pois, a predominância em abundância de sódio em relação à concentração dos demais cátions em especial o Ca e o Mg, pode acarretar sérios problemas de infiltração, bem como a maximização dos problemas de dispersão das argilas.

Em ambientes naturais, como é o caso deste estudo, não se sabe com certeza até que ponto os vegetais que estão inseridos nesse ecossistema, são capazes de suportar grandes concentrações de sais na sua zona radicular, tornando esta incerteza um meio para promover estudos que visem a melhor compreensão dos atributos químicos e as particularidades existentes nesse rico ambiente.

Nesse sentido, o entendimento dos efeitos adversos dos sais na relação solo-água-planta, a confirmação dos limites de tolerância das plantas halófitas à salinidade e a interpretação desse conjunto de fatores, devem ser levados em consideração, visto que, em determinadas condições edafoclimáticas são fundamentais a escolha adequada de práticas de manejo a serem utilizadas visando à conservação do referido ecossistema.

Em seus estudos Melo (2014) encontrou efeitos de diferentes valores de CE e RAS da água de irrigação em um Neossolo Flúvico cultivado com a halofita *Atriplex nummularia* (Amaranthaceae) sob dois regimes hídricos do solo (70 e 37% da capacidade de campo) e, encontrou efeito linear

decrecente do potencial osmótico do solo em função do incremento da salinidade da água de irrigação.

O elevado teor de sódio (Na^+), contribui ativamente problemas de hipersalinidade, sendo este, um dos alicerces deste estudo, pode também interferir na disponibilidade de nutrientes e causar desbalanços fisiológicos diferenciados (De Pascale et al., 2013) quando absorvido e acumulado em grandes quantidades na planta.

O Cloreto (Cl^-), foi o segundo elemento que contribuiu para a formação do F1 (Tabela 4), vale ressaltar que este não é absorvido com facilidade pelos colóides do solo, porém possui fácil movimentação quando em contato com a água, sendo absorvido pelas raízes e acumulando-se nas folhas. Em altas concentrações, o referido elemento pode interferir no transporte de ácidos orgânicos dentro e entre as células (Yoshida, 2002; Parida & Jha, 2010), no entanto, atualmente, para esse elemento ainda poucos os estudos que busquem a compreensão da dinâmica desse íon no solo e na planta.

Para a $\text{CE}_{1:2.5}$ e o Ca^{+2} constatou-se correlação positiva entre estas duas variáveis, indicando uma tendência de aumento para ambos, ou seja, com o incremento da concentração de cálcio os valores de $\text{CE}_{1:2.5}$ tenderão a tornar-se mais elevados, nesse sentido, ao passo que a salinidade do solo aumenta, existe a tendência de aumento na concentração de Na^+ e Cl^- , evidenciando que a condutividade elétrica é dependente do conteúdo de sais totais dissolvidos e do tipo de íon presente. Os íons Cl^- são os que apresentam maior aumento da Ce por 1g de sal (Camacho Ferre, 2003) *apud* (Bernert et al., 2015).

Observou-se que o fato de se coletar amostras de solo em pontos distintos, ao realizar a AF evidencia-se que à medida que se adentra no estuário, percebe-se tendência de aumento no valor da $\text{CE}_{1:2.5}$, ou seja, na área C a $\text{CE}_{1:2.5}$ foi maior, isso pode estar relacionado ao fato das águas das marés que entram e banham o rio, ficam mais tempo expostas as intempéries climáticas naturais, evaporação e evapotranspiração, causado assim, maior concentração de sais nesse ambiente. Deve-se levar também em consideração que na área N, por estar localizada próxima a foz, com o constante movimento da maré, sempre existirá maior possibilidade de diluição dos sais.

Tabela 4. Fatores extraídos por componentes principais, destacando-se as variáveis químicas do solo com cargas superiores a 0.70 (módulo), nas quatro profundidades 0.5, 1.0, 2.0 e 3.0m, nas três áreas estudadas.

Atributos Químicos	Cargas Fatoriais		
	F1	F2	F3
pH	-0.63	-0.12	0.40
CE	0.95	0.12	-0.03
N	0.00	0.06	-0.27
Mat.Org.	0.52	0.13	-0.38
P ⁺	0.20	0.13	0.56
Na ₊	0.31	0.87	0.24
K ₊	0.22	0.92	0.01
Cl ⁻	0.94	0.12	-0.09
Ca ²⁺	0.73	0.14	-0.39
Mg ²⁺	0.89	0.07	0.17
CTC	0.66	0.68	0.07
PST	-0.60	0.64	0.34
RAS	0.96	0.07	-0.02
RAK	0.64	0.11	0.12
RCaT	-0.22	0.30	0.77
RMgT	-0.57	0.70	-0.07
RKT	-0.33	-0.45	0.52
Autovalores	7.34	3.37	1,70
% variância	43.17	19.85	10.05
Variância Acumulada %	43.17	63.04	73.09

Nota: Potencial Hidrogeniônico (pH_{água}), Condutividade elétrica (CE_{es} 1: 2.5 dS m⁻¹), Nitrogênio (N g/ Kg⁻¹), Matéria Orgânica (Mat.Org. dag Kg⁻¹), Fósforo (P⁺ mg dm⁻³), Potássio (K⁺ Cmol_c dm⁻³), Sódio (Na⁺ Cmol_c dm⁻³), Cálcio (Ca²⁺ Cmol_c dm⁻³), Magnésio (Mg²⁺ Cmol_c dm⁻³), Capacidade de Troca de Cátions (CTC Cmol_c dm⁻³), Percentagem de Sódio Trocável (PST %), Cloreto (Cl⁻ g dm⁻³), Relação de adsorção de Sódio (RAS 1:2.5 mmmol_c L⁻¹), Relação de adsorção de Potássio (RAK 1:2.5 mmmol_c L⁻¹), Relação de Cálcio Trocável (RCaT 1:2.5 mmmol_c L⁻¹), Relação de Magnésio Trocável (RMgT 1:2.5 mmmol_c L⁻¹), Relação de Potássio Trocável (RKT 1:2.5 mmmol_c L⁻¹).

Em relação ao F2, observa-se que este fator é responsável por explicar acumuladamente 63.04 % da variação dos dados (Tabela 4), sendo assim, as variáveis que contribuíram com maiores cargas fatoriais foram o K⁺, Na⁺ e RMgT_{1:2.5}, tendo valores de 0.92, 0.87 e 0.70, respectivamente. Em ecossistemas marinhos como é o caso dos solos da planície hipersalina do estuário do Rio Apodi-Mossoró, entende-se que a maior contribuição para a salinidade deve-se em especial a presença de Na⁺ dissolvido na água. Este fato é comprovado pela alta carga fatorial evidenciada pela análise estatística.

Em suas pesquisas Libes (2009) cita que a concentração média desses sais na água do mar é de 35 g/kg, quantitativo que é equivalente a 483 mM de Na⁺ e 558 mM de Cl⁻, nesse sentido, é considerado o principal fator abiótico que os vegetais inseridos nesse ecossistema estão sujeitos.

As altas concentrações do Na⁺ no solo podem estar relacionadas com as elevadas taxas de evapotranspiração bem como as baixas precipitações pluviométricas, configurando-se um processo natural de acúmulo de sal que ocorre em função de características particulares solo.

Já em estudos (Korndorfer, 2007) cita que, o Na⁺ é um elemento químico presente em altas concentrações em ambientes com pouca intemperização, fato este, comprovado no presente estudo.

Um fator negativo do incremento do sódio especialmente quando se trata de ambientes hipersalinos é que este elemento por possuir grande raio hidratado, promove a substituição do potássio e cálcio presentes na solução do solo, desfavorecendo os vegetais que estão inseridos nesse ambiente, este comportamento pode ser observado na menor carga fatorial do potássio 0,69.

Como a área abordada pelo estudo passou por um período de seis anos de seca, esse comportamento natural por um longo período de tempo pode ter contribuído para o maior incremento do sódio, favorecendo a RMgT maior troca do sódio em relação ao Mg em condições naturais.

Outro ponto a ser considerado é o fato de que em solos pouco intemperizados observa-se que a CTC é elevada, como evidenciado pela alta carga fatorial encontrada nesse estudo, as altas concentrações de bases trocáveis podem ter contribuído para a alta fertilidade presente no solo, tais resultados estão de acordo com estudos realizados por Lima et al. (2013).

No que se refere ao F3, observa-se que este fator é responsável por explicar acumuladamente 73.09 % da variação dos dados (Tabela 4), constatando-se que a variável com maior carga fatorial foi o RCaT. Esta relação apresenta correlação positiva com o sódio 0.56, indicando que se houver tendência de aumento na concentração de cálcio poderá haver incremento nas relações do referido elemento no solo. Observa-se também correlação negativa do RCaT com os teores de nitrogênio, podendo-se então

deduzir que à medida que existe incremento no teor de cálcio há tendência de diminuição nos teores de nitrogênio no solo.

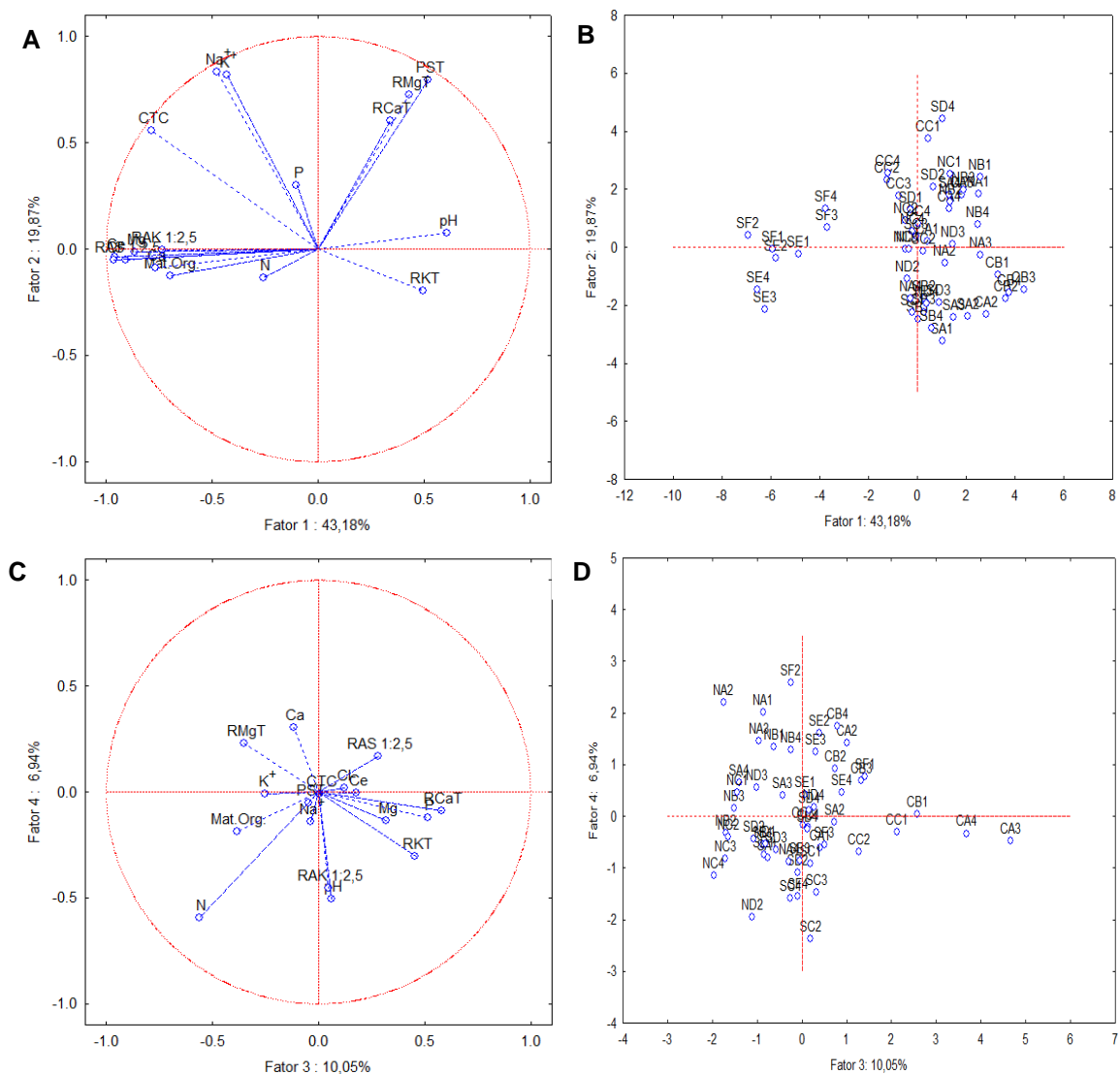
Ainda é importante ressaltar que a baixa correlação entre a Mat.Org. e o pH indica que a medida que a relação de cálcio trocável no solo diminui, pode-se verificar alto incremento no pH do solo, e conseqüentemente elevada taxa de mineralização da Mat.Org. com liberação de compostas ricos em nitrogênio. Em seus estudos Tekest et al. (2009) encontraram comportamento semelhantes aos obtidos nesta pesquisa.

Quanto à representação do plano fatorial formado por F1 e F2 (Figura 9A), verifica-se que as variáveis que contribuíram com as maiores cargas fatoriais para a discriminação das áreas em relação aos atributos químicos, sendo $Ras_{1:2.5}$, $CE_{1:2.5}$, Cl^- , Mg^{+2} e Ca^{+2} se destacam. Ao se levar em consideração o deslocamento horizontal para F1, e o deslocamento vertical para F2 com as variáveis de maior peso fatorial foram Na^+ , K^+ , CTC e RMgT, analisando-se todas as três áreas de coletas conjuntamente.

Na Figura 9C estão inscritas no plano fatorial as variáveis com maior peso para discriminação das áreas estudadas, considerando o deslocamento horizontal em relação a F3, constatando-se que a Relação de Cálcio Trocável (RCaT) que possui a maior carga fatorial.

Confere-se também na análise das Figuras 9 A e B, que as variáveis P, RKT, N, RAK e Mat.Org. não influenciaram com cargas fatoriais altas, compreendendo-se que estas possuem baixas correções, deste modo não sendo possível o uso destas variáveis com objetivo de discriminar as áreas nas condições do referido estudo.

Figura 9. Representação do plano fatorial: F1 x F2 e F3 x F4: (A), (B), (C) e (D) dos atributos químicos do solo com cargas fatoriais superiores a 0.70 (módulo).



Fonte: Compilação do autor (2018).

Considerando a leitura horizontal F1, nota-se outra particularidade presente neste estudo. Observa-se que a concentração dos nutrientes nas áreas é bem variável, isto é, quanto mais próxima à área estiver da variável mais influenciada pela mesma esta será, ou seja, os pontos três e seis das áreas C e S, respectivamente, tenderam a possuir maiores valores de concentração para os parâmetros Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , $\text{Ras}_{1:2.5}$ e RAK e são pouco influenciadas pelo pH, RKT, PST (Figura 9A).

Ao se considerar a leitura vertical F2 do plano fatorial (Figura 9A), verifica-se que as áreas analisadas da foz, ou seja, área N, nos pontos dois e

quatro tenderam a ter forte influência das variáveis Na^+ , CTC, PST, RCaT e RMgT, deste modo possuindo fraca influência no ponto dois da área N, tendo menores valores para o referido ponto amostral.

De modo geral, a maior parte das áreas estudadas revelou não ser influenciada pelas variáveis analisadas, isto é evidenciado na grande nuvem de dados plotado no sentido contrário das variáveis analisadas neste estudo (Figura 9B).

Verifica-se também, na Figura 9D, que as áreas não foram influenciadas de modo a serem capazes de discriminar os ambientes, isso por que tanto as áreas ficaram plotadas no centro do plano fatorial, evidenciado a semelhança entre as áreas de estudo.

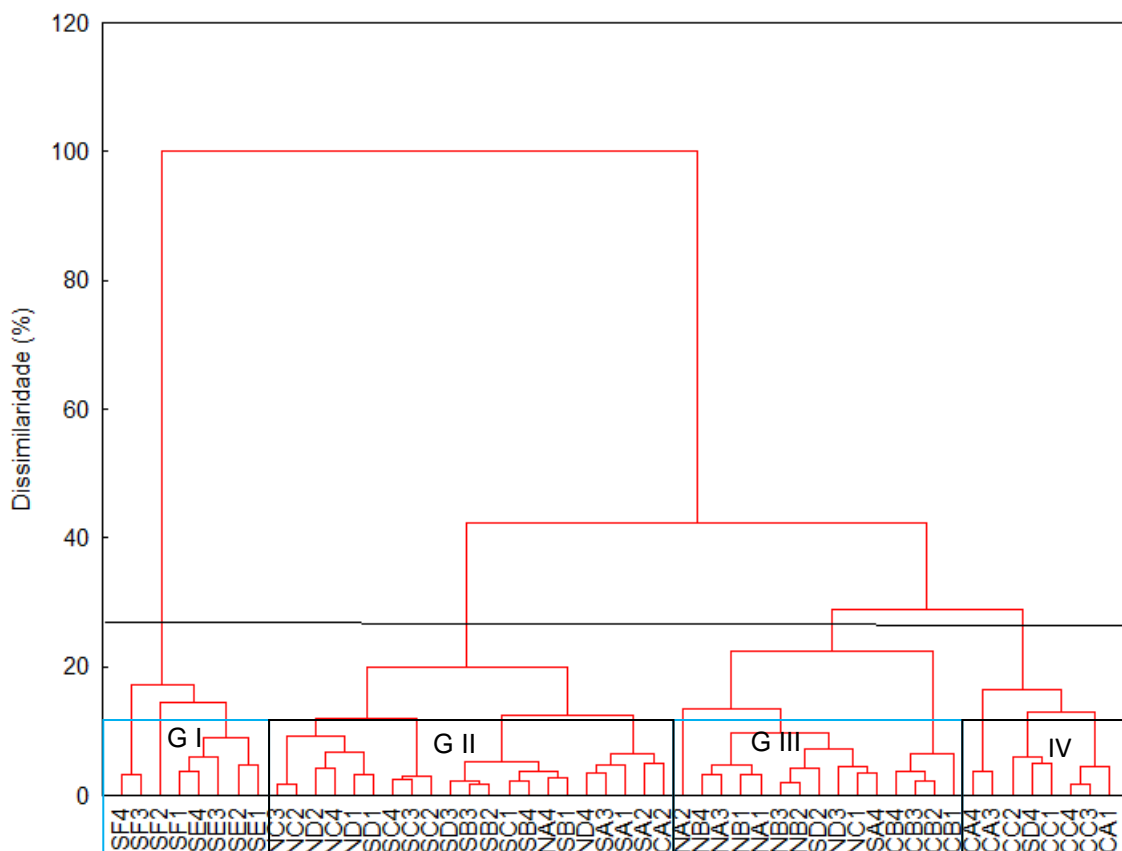
Quanto aos resultados da análise Cluster (Análise de Agrupamento-AA) de carga fatorial superior a 0.70 dos atributos químicos do solo (Figura 10), considerou-se a linha de corte a 30% de alcance da dissimilaridade. Nessa altura, observa-se a formação de quatro grupos distintos I, II, III e IV. Nesse sentido, vale ressaltar que as áreas agrupadas dentro do mesmo grupo são consideradas não dissimilares, ou seja, são bastante semelhantes entre si, no que se refere ao comportamento dos atributos químicos nas profundidades do solo nas condições dessa análise.

Sendo assim, contata-se que a AF (Tabela 4) e a AA (Figura 10) evidenciaram resultados divergentes no que se refere à quantidade de grupos formados, na análise fatorial, houve a divisão das áreas analisadas em três fatores distintos e na análise de agrupamento, formaram-se quatro grupos, com características distintas no que diz respeito aos atributos químicos do solo dentro das áreas.

Verifica-se que os menores grupos formados foram o G I e o G IV, constata-se no grupo I, que as áreas foram agrupadas com os pontos cinco e seis da área S, no grupo IV, os pontos que agruparam-se foi o um e o três da área IV, em função de serem bastantes semelhantes ao longo do rio e das profundidades analisadas. Esta característica pode ser atribuída ao processo de sedimentação que ocorre nesse ambiente, por se tratar de uma gamboa, e os pontos estão localizados no final da mesma. Grande parte dos elementos

estudados distribuiu-se e sedimentou-se com pouca variação nas suas concentrações, quando analisados ao longo do rio.

Figura 10. Dendrograma das áreas agrupadas, com base na dissimilaridade e altura de corte de 30%, de acordo com os atributos químicos de cargas fatoriais a 0.70 (módulo).



Fonte: Compilação do autor (2018).

O maior grupo formado foi G II, houve uma variação no agrupamento das áreas, contendo pontos de duas áreas em estudo, com destaque para a N e S. Isso se deu em função das profundidades intermediárias se agruparem, pois as concentrações de seus elementos são bem semelhantes nestas profundidades 1.0 e 2.0 m, indicando que as profundidades com maior poder de discriminação das áreas são as aquelas presentes nas camadas 1.0 e 2.0 m do perfil do solo.

Quanto ao grupo G III, as camadas agrupadas são bem semelhantes ao longo do perfil, indicando que mesmo uma área estando distante da outra, ou seja, uma no alto, outra no médio e por fim no baixo estuário (foz) as áreas C,

S e N respectivamente, possuem grandes semelhanças no que se refere à concentração dos elementos analisados por esse estudo.

Diante do exposto, nota-se que há escassez de literatura que possibilitem a comparação com os resultados aqui obtidos, no sentido de se obter maior entendimento das relações no que se refere à variação espacial dos atributos químicos do solo ao longo de estuários hipersalinos.

6.3 Análise individual dos micronutrientes e metais pesados

Na matriz de correlação (Apêndice 2) entre os micronutrientes e metais pesados do solo de manguezal, ver-se que existe correlação alta e significativa ($P < 0.05$), ao se considerar a análise conjunta dos três áreas estudadas ao longo do estuário.

Observe-se na matriz que o Ni^{+2} , Pb^{+2} e Pb^{+2} , possuem forte correlação positiva com Cu^{+2} , Cd^{+2} e Ni^{+2} , com valores respectivos de 0.81, 0.70 e 0.54 indicando que estes valores possuem tendência de crescimento a medida que os elementos correlacionados aumentam sua concentração no solo (Apêndice 2).

Por outro lado, averigua-se que o Mn^{+2} , Cr^{+3} , Cd^{+2} e Pb^{+2} possuem correlação fraca com os elementos Cu^{+2} , Mn^{+2} , Fe^{+3} e Zn^{+2} , sendo seus valores -0.28, 0.37, 0.26 e 0.35, respectivamente (Apêndice 2), nesta ocasião nota-se que o manganês e o cobre correlacionaram-se de modo negativo, isso afirma que a medida que o Mn aumenta o Cu^{+2} terá tendência de diminuir, e vice versa. Os demais elementos comportaram-se de modo positivo, ou seja, quando um aumenta os outros aumentam.

Na Tabela 5 estão inscritos o resumo da Análise Fatorial (AF). As cargas fatoriais são oriundas da análise de três áreas conjuntas. Para obtenção das cargas fatoriais optou-se em utilizar o método de rotação varimax, pois este procedimento prima em extrair o máximo da soma das variâncias das cargas fatoriais, os autovalores e a percentagem de explicação da variância de cada fator.

Constatou-se que os três primeiros fatores contribuíram com autovalores com percentuais de explicação de 37.04, 19.89 e 14.73%, respectivamente (Tabela 5), desse modo, explicaram 71.67% da variância total dos dados.

Assim, observa-se que no primeiro fator (F1), as maiores cargas fatoriais para os micronutrientes encontram-se nas variáveis Cu^{2+} e Ni^{2+} , com valores de 0.92 e 0.85 respectivamente.

Tabela 5. Fatores extraídos por componentes principais, destacando-se os micronutriente e metais pesados do solo com cargas superiores a 0.70 (módulo), nas quatro profundidades 0.5, 1.0, 2.0 e 3.0m, nas três áreas estudadas.

Micronutrientes	Cargas Fatoriais		
	F1	F2	F3
Cu^{2+}	0.92	-0.06	0.08
Fe^{3+}	0.16	0.90	0.06
Mn^{2+}	-0.32	0.58	0.04
Zn^{2+}	0.64	0.46	0.12
Cr^{3+}	0.03	-0.02	-0.09
Ni^{2+}	0.85	0.05	0.35
Cd^{2+}	0.09	0.20	0.89
Pb^{2+}	0.34	-0.07	0.89
Autovalores	2.96	1.59	1.17
% variância	37.04	19.89	14,73
Variância Acumulada %	37.04	57.94	71.67

Nota: Cobre (Cu^{2+}), Ferro (Fe^{3+}), Manganês (Mn^{2+}), Zinco (Zn^{2+}), Cromo (Cr^{3+}), Níquel (Ni^{2+}), Cádmiio (Cd^{2+}) e Chumbo (Pb^{2+}) todos expressos em mg/dm^{-3} .

Ao se analisar o segundo fator (F2) observa-se que a variável com maior carga fatorial foi o metal pesado Fe^{3+} com valor de 0,90. No que se refere ao terceiro fator (F3), verificou-se que o Cd^{2+} e o Pb^{2+} foram as variáveis que contribuíram para a formação do referido fator, com cargas fatoriais de 0.89.

O fato do Fator 1 possuir as maiores cargas fatoriais nas variáveis Cu^{2+} e Ni^{2+} , com valores de 0.92 e 0.85 respectivamente (Tabela 5), evidenciam que as referidas variáveis possuem características físico-químicas tais como: massa atômica, raio iônico e estado de oxidação, semelhantes (Kabata-

Pendias & Pendias, 2001). Além disso, associações entre esses elementos e a fase mineral do solo influenciam a correlação entre eles (Paye et al., 2010).

Em seus estudos Paye et al. (2012) encontraram resultados que diferem dos determinados por este estudo, pois os referidos autores verificaram correlações significativas, principalmente, entre o Fe^{+3} e os elementos Ti, Cr^{+3} , Zn^{+2} , Co.

Verifica-se que o método de extração em meio fortemente ácido dos elementos químicos aqui analisados, foi eficiente, pois, consta-se que ao analisar o F1 nota-se que na maioria dos elementos do referido fator, houve correlação positiva, somente o Mn^{+2} comportou-se de maneira inversa em comparação aos demais elementos analisados.

Esse comportamento pode ser explicado pela grande distância da área de coleta de solo, onde pode haver interferência de distintos materiais que participam na formação do solo analisado, ou pela eventual contribuição das salinas com descarte de água de grau com compostos que possuem micronutrientes em sua constituição.

Nesse sentido, com a presença de correlações positivas, pode-se dizer que há a necessidade de maior atenção em relação ao aumento da concentração dos metais pesados analisados por este estudo ao longo da área estudada, pois a tendência dos elementos correlacionados positivamente é que quando um tende a subir a sua concentração, os outros também elevam seus níveis no solo.

Nesse sentido, em altas concentrações, os referidos metais tornam-se tóxicos, principalmente nos locais onde há manguezal, pois, mesmo que estas plantas sejam adaptadas a ambientes hostis como é o caso dos solos hipersalinos, podem sofrer toxicidade pelos altos níveis de metais no solo, em seus estudos Bernini et al. (2006) encontraram resultados semelhantes.

No que se refere ao fator 2, o maior autovalor encontrado foi na variável Fe^{+2} (Tabela 5), esta possui correlação positiva, evidenciando que existe sinergismo entre as demais variáveis correlacionadas positivamente, indicando que quando os níveis de Fe^{+2} aumentam, as concentrações de Mn^{+2} e Zn^{+2} tendem a aumentar no solo.

No fator 3, verifica-se que o Ni^{+2} , possui baixa correlação positiva com Fe^{+3} e Mn^{+2} , ou seja, nesse sentido, é importante que os níveis dos referidos elementos estejam em equilíbrio no solo, para que não haja a indisponibilidade dos referidos elementos, podendo causar desordem nutricional em plantas que habitam os ambientes hipersalinos.

Sendo assim, é importante conhecer as condições locais, no que se refere à concentração de metais ao longo da área estudada, pois as perdas por erosão de solo enriquecido com metais pesados para outras áreas ou para corpos d'água podem acarretar sérios danos ao meio ambiente.

A presença do metal pesado Cr^{+3} pode estar relacionada às indústrias de curtumes artesanais, localizadas próximas à bacia do Rio Apodi-Mossoró, sendo este elemento transportado até as áreas mais baixas da bacia. Porém, quando em concentrações elevadas no solo, e, sobretudo em estado de oxidação diferente de 3, é potencialmente perigoso à saúde e ao equilíbrio ambiental (Freitas & Melnikov, 2006).

Nesse sentido, a retirada total de cromo III ou sua redução até os níveis aceitáveis pela legislação ambiental requerem potencialmente investimentos em aparelhamentos, controle operacional e manutenção, o que torna caro o tratamento dos resíduos.

Outra hipótese que pode tentar explicar a presença do cromo como um discriminador de ambiente são as diversas rochas que se sedimentam no decorrer da bacia, algumas podem ser ricas em compostos que contenham cromo em sua constituição. Em seus estudos, Campos et al. (2005) encontraram resultados semelhantes ao analisar os solos de mangue. Por fim, torna-se motivo de alerta a presença de níveis de cromo capazes de discriminar as áreas ao longo do estuário.

Em relação ao F3, observa-se que este fator é responsável por explicar acumuladamente 71.67 % (Tabela 5) da variação dos dados, constatando-se que as variáveis com maiores cargas fatoriais foram o Cd^{+2} e Pb^{+2} . Estes elementos possuem baixa correlação positiva com Cu^{+3} e Fe^{+2} , indicando que se houver tendência de aumento da concentração desses elementos, poderá haver elevação nos teores dos referidos elementos no solo.

Observa-se também que só o Cr^{+3} teve correlação negativa com os demais elementos analisados, podendo-se dizer que à medida que existe incremento no teor do referido elemento há tendência de diminuição nos teores de Cd^{+2} e Pb^{+2} , indicando que estes elementos possuem disponibilidade antagônica no solo.

Apenas os elementos Mn^{+2} , Zn^{+2} e Cr^{+3} não tiveram níveis capazes de discriminar as três áreas em estudo (Tabela 5), indicando que nas áreas analisadas suas concentrações são baixas, a ponto da AF não detectar o mesmo como elemento discriminador de ambiente.

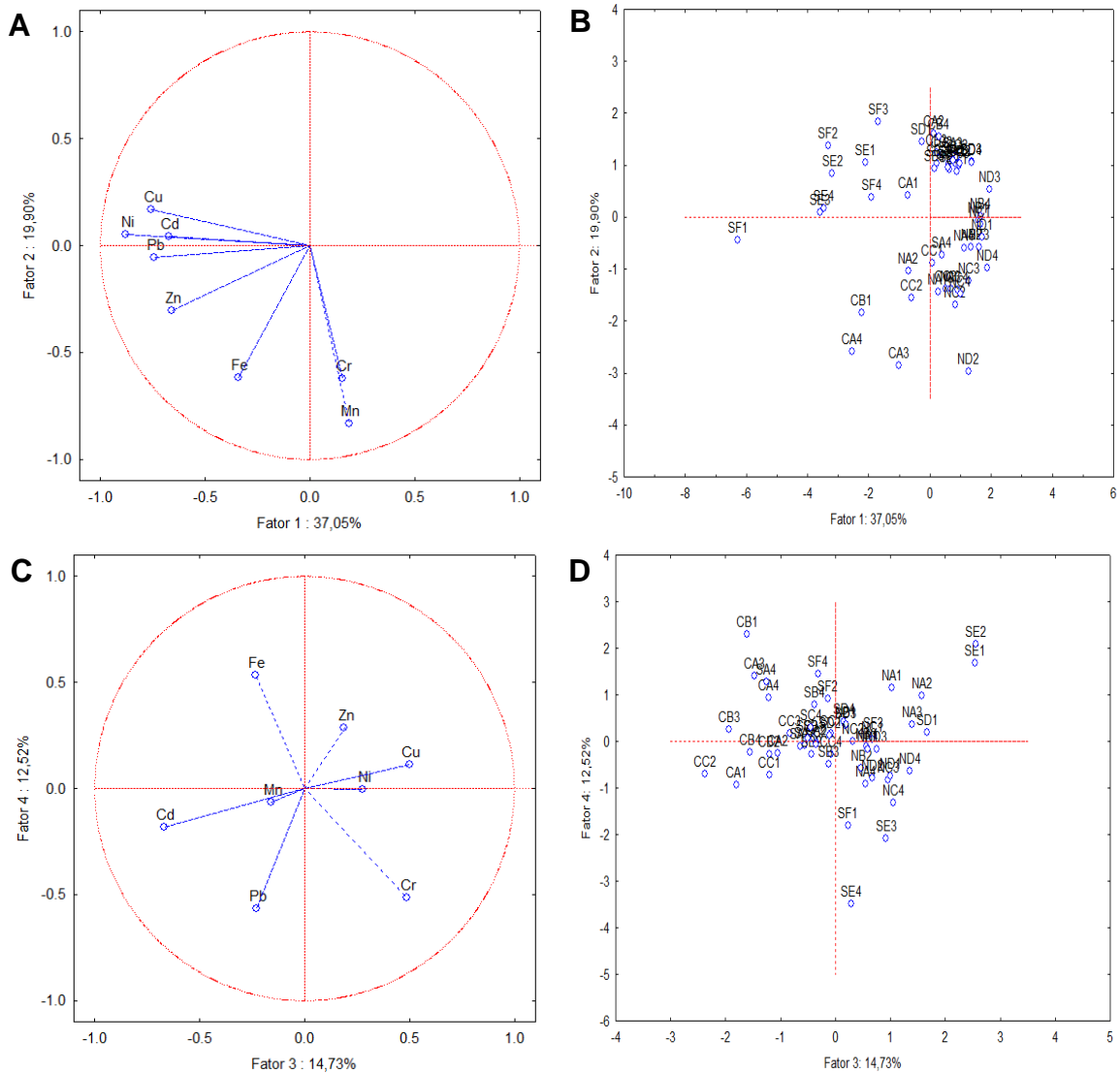
Quanto à representação do plano fatorial formado por F1 e F2 (Figura 11A), as variáveis que contribuíram com as maiores cargas fatoriais para a discriminação das áreas em relação aos micronutrientes e metais pesados foram Cu^{+2} , Ni^{+2} e Fe^{+3} . Observando-se o deslocamento horizontal para F1, e o vertical para F2 com destaque para as variáveis de maior carga fatorial Cu^{+2} e Fe^{+3} , avaliando-se as três áreas ao mesmo tempo.

Quanto ao fator F3, ressaltando-se a variável com maior peso fatorial para discriminar as áreas estudadas, considerando o deslocamento horizontal em relação a F3, constatou-se que o Cd^{+2} e o Pb^{+2} possuem a maior carga fatorial (Figura 11C).

Confere-se na análise, das Figuras 11 A e C, que o chumbo não influenciou com cargas fatoriais altas, entende-se que estas possuem baixas correções, nesse sentido, não sendo estatisticamente viável o uso do referido parâmetro com objetivo de discriminar as áreas nas condições do referido estudo.

A análise da Figura 11B pode-se admitir que, de modo geral, a maior parte dos pontos estudados revelou não ser influenciado pelas variáveis analisadas, isto é evidenciado, quando se observa a grande nuvem de dados plotado no sentido contrário as componentes das variáveis com maior carga fatorial, ou seja, Cu^{+2} , Fe^{+3} e Ni^{+2} , assim constata-se que nos pontos: CA2, ND4, NC3, SA4, ND1, NC2 e CB4 a concentração dos referidos elementos são menores.

Figura 11. Representação do plano fatorial F1 x F2 e F3 x F4: (A), (B), (C) e (D) dos micronutrientes e metais pesados com cargas fatoriais superiores a 0,70 (módulo).



Fonte:Compilação do autor (2018).

Tomando como base uma leitura geral (Figura 11B), verifica-se que os pontos amostrais ficaram dispostos em dois grupos de pontos, ou seja, uma maior concentração de pontos no segundo e quarto quadrantes do plano fatorial indicando que estes pontos não são capazes de distinguir das áreas analisadas ao longo do Rio Apodi-Mossoró.

Ao analisar verticalmente o fator F2, verifica-se que nas amostras que foram coletadas nos pontos dentro das áreas estudadas, as que influenciaram

para discriminar as áreas foram: SF2, SF3, SF4, CA1, SE2, SE1, por possuírem as maiores concentrações de Cu^{+3} e Fe^{+2} (Figura 11 B).

Com relação aos pontos amostrais com menor concentração de Fe, Zn e Pb, são observadas no plano fatorial por estarem do lado contrário da variáveis, sendo assim verifica-se as pontos (NC2, NC4, NB4, SD3, SD4 e CA2) não foram influenciadas pelos teores dos elementos em análise (Figura 11B).

O fator F3 de modo geral, teve tendência dos pontos serem plotado como nuvem no centro do plano fatorial, indicando que essas variáveis não influenciaram na discriminação as áreas estudadas (Figura 11 D).

Com relação aos resultados obtidos com a análise Cluster, formou-se o dendrograma com os pontos amostrais resultantes da análise de micronutrientes e metais pesados com carga fatorial superior a 0.70; para as diferentes áreas em estudo, considerou-se a linha de corte a 20% de alcance da dissimilaridade; nessa altura de corte, observa-se a formação de sete grupos distintos. Nesse sentido, as áreas agrupadas dentro do mesmo grupo são consideradas semelhantes, pois a distância euclidiana que os separa é pequena, ou seja, não são diferentes entre si, no que se refere ao comportamento dos micronutrientes e metais pesados nas profundidades do solo nas condições desse estudo.

Assim, a análise de agrupamento complementou de forma eficaz os resultados obtidos com o uso da análise de componentes principais (Figura 11). De modo geral, a análise exploratória com dendrograma separou as áreas de acordo com as particularidades de cada ambiente, havendo apenas alguns pontos que formaram grupos pequenos, pois suas características não se enquadraram dentro dos quatro grandes grupos formados.

Nesse contexto, pode ser observado no dendrograma (Figura 12), que no grupo G I, as áreas foram agrupadas com pontos da área S em função da pequena distância euclidiana que os separa. Esta característica pode ser explicada pelo fato da área S ser localizada no médio do estuário, isso confere a área de estudo, a particularidade de possuir valores com pouca variabilidade interna na formação dos grupos, permitindo que estes se formem devido à alta

homogeneidade, quando comparados às demais áreas de estuário que estão inseridas nas extremidades do estuário e possuem maior variabilidade externa.

Estes resultados estão de acordo com Yemefack et al. (2005), ao descreverem que a referida técnica permite agrupar variáveis com características semelhantes entre si e com aumento de variabilidade entre os agrupamentos formados.

Houve a formação de um pequeno agrupamento G II; este conjunto formou-se em função das concentrações dos micronutrientes e metais pesados serem bastante semelhantes na área S, com destaque para as seguintes profundidades nas áreas SF2, SF3, SF4, SE1, SE2 e SD1 (Figura 12).

Esse grupo revela que a área S possui características semelhantes, mesmo em diferentes profundidades, isto é, a localização da área no estuário é estratégica, por se configurar um ambiente de transição, isso é evidenciado, pelas concentrações semelhantes dos micronutrientes e metais pesados para nas condições desse estudo.

No grupo G III, evidencia-se que houve agrupamento para os pontos CB1, CA4, SA4 e SA3 (Figura 12), comprovando que os pontos mais no interior do estuário possuem características que se confundem com os solos da área inserida no médio estuário, ou seja, possuem características semelhantes quanto às concentrações de micronutrientes e metais pesados no solo.

Nota-se também, que o grupo G IV, formou-se com os pontos amostrais mais próximos à área N, ressaltando-se os pontos: NA1, NA2 e NA3, que ficaram agrupados em um mesmo cluster, indicando que a área localizada na foz do rio, possui características bem definidas quando comparadas com as demais áreas.

Este fato pode ser explicado em função da pouca vegetação presente nos referidos pontos amostras, pois, nestas condições os micronutrientes e os metais pesados por possuir fácil mobilidade no solo não são extraídos pela vegetação, ficando mais concentrados nos solos desses ambientes.

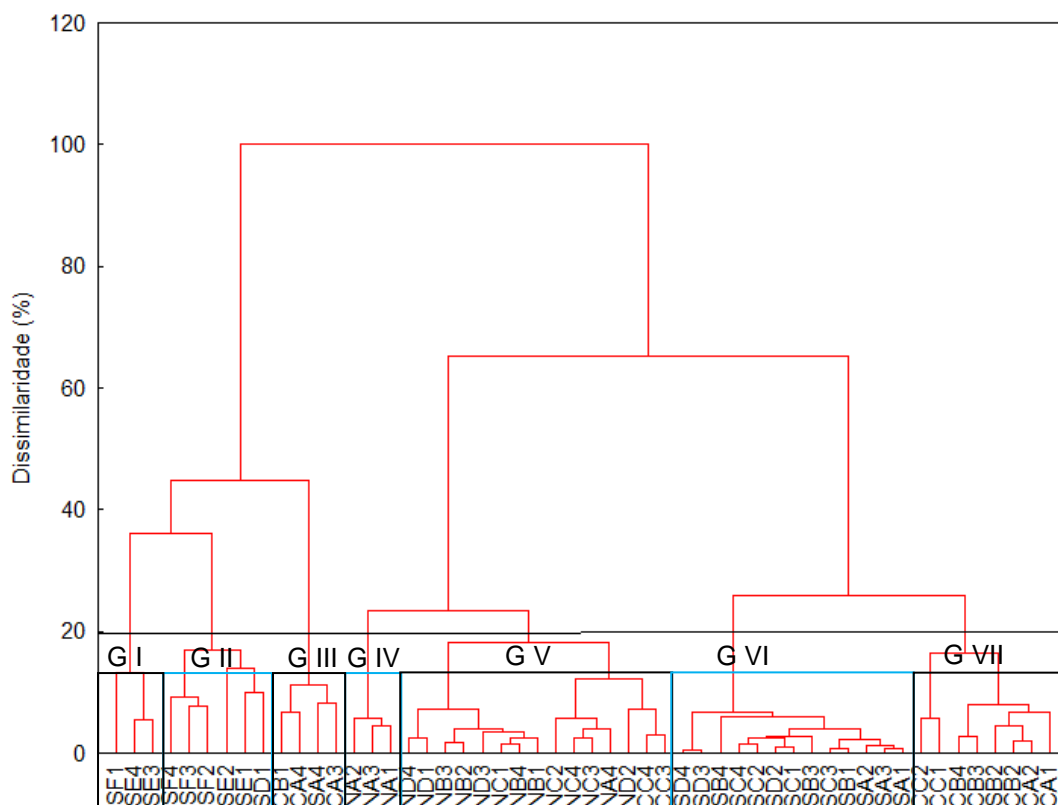
Outra hipótese aceitável, para compreender a dinâmica dos micronutrientes e metais pesados em áreas estuarinas com predominância de clima semiárido, pode está no fato dos pontos amostrais estarem a seis anos expostos as intempéries climáticas como alta evaporação, em função das

poucas precipitações, ocasionado grande período de estiagem, não sendo possível a lavagem desses elementos no solo.

Com relação ao grupo G V, ver-se que o cluster tem características semelhantes, ou seja, tem baixa variabilidade interna dentro do grupo (Figura 12). Assim verifica-se que os pontos ND1, ND4, NB2, NB3, NC1, NA4, NC3, e ND2 da área N, se agruparam em função da homogeneidade em relação às concentrações dos micronutrientes e metais pesados na referida área.

É importante enfatizar que a área citada anteriormente, é localizada na foz da bacia do Rio Apodi-Mossoró, nesse sentido, possui grande influência dos regimes das marés, sendo, portanto capazes de diluir as concentrações elevadas dos micronutrientes e metais pesados existentes no solo.

Figura 12. Dendrograma das áreas agrupadas com base na dissimilaridade e altura de corte de 20%, de acordo com os micronutrientes e metais pesados de cargas fatoriais a 0.70 (módulo).



Fonte: Compilação do autor (2018).

O grupo G VI, é composto pelos pontos amostrais referentes a área de estudo S, ressalta-se que o referido grupo formou-se em função da baixa variabilidade existente nas amostras da referida área, nesse sentido, constata-se a posição do estuário, é um fator importante, pois, para a ocasião desse estudo, entende-se que a referida área é de transição. No entanto, a área N teve equilíbrio em relação às concentrações dos micronutrientes e metais pesados analisados por este estudo.

O Grupo G VII, formou-se em função da diferença evidenciada na área de estudo C, quando comparada as demais áreas de estudo S e N, nesse sentido os pontos CA1, CA2, CC1, CC2, CB3, CB2 e CB4, são semelhantes.

6.4 Análise individual dos atributos físicos do solo

Na matriz de correlação (Apêndice 3) que correlaciona os atributos físicos do solo, consta a existência de correlações altas e significativas ($P < 0.05$), quando se considera a análise conjunta das três áreas do estudo no estuário. Tem-se na matriz que o silte, possui forte correlação negativa com areia média e areia fina, com valores de -0.65 e -0.56, respectivamente, indicando que estas possuem tendência de diminuir à medida que o silte aumenta sua concentração no solo (Apêndice 3).

Outro fator ainda em relação ao silte, diz respeito ao mesma possuir forte correlação negativa com areia muito grossa e areia grossa (Apêndice 3), sendo seus valores respectivos - 0.47 e - 0.48, para tanto, sugere-se que quando houver muito silte no solo existe a tendência diminuição dos teores de areia muito grossa bem como de areia grossa, sendo também o contrário verdadeiro, ou seja, quando no solo tem areia muito grossa ou areia grossa, existirá pouco silte no solo.

Constata-se que a areia muito grossa (A. M. G) teve forte correlação com a areia grossa (A. G), conferindo a tendência de que em um estuário com areia muito grossa, possivelmente vai haver grandes quantidades de área grossa presente no solo (Apêndice 3).

No que se refere, à correlação da argila e as demais variáveis pode-se notar que a mesma possui moderada correlação negativa entre a o silte/argila

e a areia muito fina (A. M. F.), com valores -0.66 e -0.71, respectivamente. Tais resultados ressaltam que quando em uma área estuarina existe muito silte e areia muito fina no solo, a quantidade de argila tenderá a ser menor, o raciocínio contrário também é verdadeiro, ou seja, com altos teores de argila, o silte e a (A. M. F.) tendem a diminuir no solo.

Ainda com relação à matriz de correlação (Apêndice 3) verificou-se que a argila possui moderada correlação significativa negativa com as variáveis: Dp, A. F, A. M e A. G e forte correlação negativa com: silte/argila e A. M. F.

Os resultados expostos anteriormente confirmam que existe grande influência da composição textural do solo, na quantidade de argila, indicando que, ao passo que as quantidades de areias aumentam, os teores de argila tendem a diminuir, em função de se correlacionarem negativamente.

Com relação à densidade de partícula (Dp) observou-se moderada correlação significativa positiva, com o fracionamento das areias, ou seja, A. M. F, A. F, A. M, A. G e A. M. G (Apêndice 3). Assim, comprova-se que a característica textural do solo influencia na densidade do solo, sendo assim, quanto mais areia presente na área de estuarina maior será a Dp.

Verifica-se na Tabela 6, que os três primeiros fatores contribuíram com autovalores com percentuais de explicação de 40.18, 27.32 e 13.83% respectivamente, desse modo, explicaram 81.33% da variância total dos dados.

Sendo assim, observa-se que no primeiro fator (F1), as maiores cargas fatoriais para os atributos físicos são encontradas em areia muito grossa (A. M. G.) e areia grossa (A. G.) sendo seus valores 0.95 e 0.97.

Fazendo-se a leitura do segundo fator (F2) pode-se constatar que as variáveis com maiores cargas fatoriais foram à argila e a relação silte/argila com valores respectivos de 0.78 e 0.96.

No que se refere ao terceiro fator (F3), constata-se que o silte, areia fina (A. F.) e a areia muito fina (A. M. F.) foram as variáveis que contribuíram no referido fator, com cargas fatoriais de -0.76, 0.90 e 0.66 respectivamente.

Fazendo-se a análise de F1, pode-se verificar que as maiores cargas fatoriais estão na areia muito grossa e areia grossa com autovalores de 0,95 e 0,97, estas relações podem ocorrer em função das características

mineralógicas da fração areia, que em sua constituição básica é formada pelo mineral quartzo.

Em seus estudos, Melo et al. (2002) encontraram resultados que confirmam os achados por este estudo, relatando que a fração areia teve mineralogia uniforme, composta quase que exclusivamente de quartzo.

Nesse sentido, pode-se afirmar que quando se observa o estuário em estudo a montante, ou seja, na foz, verifica-se que existe diminuição da força das correntes de marés em direção ao interior do estuário, ou seja, a jusante. Dessa maneira, na área de estudo N, encontrou-se a maior quantidade de areia muito grossa e areia grossa, indicando que estes são pouco influenciados pela força da corrente de maré, assim, é possível encontrar os maiores teores de areias grossa e muito grossa no referido ambiente.

Tabela 6. Fatores extraídos por componentes principais, destacando-se os atributos físicos do solo com cargas superiores a 0.70 (módulo), nas quatro profundidades 0.5, 1.0, 2.0 e 3.0m, nas três áreas estudadas.

Atributos Físicos	Cargas Fatoriais		
	F1	F2	F3
Silte	-0.46	0.42	-0.76
Argila	-0.31	-0.78	-0.50
Silte/Argila	-0.13	0.96	-0.02
DP	0.41	0.14	0.38
Areia muito grossa	0.95	-0.10	-0.04
Areia grossa	0.97	0.00	0.02
Areia média	0.65	0.04	0.52
Areia fina	-0.04	0.21	0.90
Areia muito fina	-0.07	0.55	0.66
Autovalores	3.61	2.24	1.24
% variância	40.18	27,32	13.82
Variância Acumulada %	40.18	67.50	81.33

Nota: Areia, Silte, Argila, Silte/Argila (g/Kg), Densidade de Partícula (DP) em g/cm³, Areia muito fina (A. M. F.), Areia fina (A. F.), Areia média (A. M.), Areia Grossa (A. G) e Areia muito Grossa (A. M. G.) (g).

De modo geral, constata-se que a dinâmica dos sedimentos marinhos e litorâneos é de jusante para montante, ou seja, é a força da maré que governa o processo de sedimentação no estuário do Rio Apodi-Mossoró, pois a

constatação de correlação negativa com silte, argila e areia muito fina, confirmam que quanto mais fortes forem as correntes existirá tendência de diminuição da sedimentação das partículas mais finas na foz.

Os estudos de Corrêa (2005), no estuário da Baía de Marajó-PA, evidenciaram comportamento similar aos achados por este estudo, indicando que apesar das características particulares de cada ambiente a granulometria é o fator importante no entendimento da dinâmica do gradiente textural nos estuários.

Desse modo, caracteriza-se o estuário do Rio Apodi-Mossoró como constituído por sedimentos fluviais tais como: areias de diferentes granulometrias, seguido por uma sedimentação de transição, ou seja, o silte que contribui para a formação do assoalho do estuário em estudo. Podendo-se então considerar a importância da investigação do solo de ambientes hipersalinos em profundidades de até 3.0m, desde que se prossiga com os métodos de fracionamento da areia total, com intuito de favorecer a compreensão da dinâmica do gradiente textural do solo, neste tipo de ambiente.

Verificou-se correlações negativas entre as variáveis silte, argila, silte/argila e areia muito fina no fator 1, com respectivos valores - 0.46, - 0.31, - 0.13 e -0.07 (Tabela 6). Estes resultados confirmam a tendência da dinâmica do gradiente textural encontrado no solo, em que, os teores de silte em conjunto com as demais variáveis em discussão, possuem comportamento semelhante, em função de apresentarem sinais iguais.

Nesse sentido, quando os teores de silte diminuem as variáveis em análise diminuem e quando os teores baixam no solo, as variáveis com sinais negativos no fator 1 baixam seguindo o gradiente textural.

Ao se avaliar a D_p , verificou-se que o aumento desta variável proporcionará a diminuição nos teores de silte e argila no solo (Tabela 6), para a ocasião deste estudo, constatou-se que os solos siltosos são um indicativo de baixo intemperismo, sendo dessa maneira, compreendido como um solo estuarino jovem (Mota et al., 2007).

Para o fator 2, os maiores autovalores encontrados foram para as variáveis argila e silte/argila, -0.78 e 0.96, respectivamente (Tabela 6), o comportamento inverso, ou seja, correlação negativa, evidencia que existe

antagonismo entre estas duas variáveis, indicando que quando os níveis de argila aumentam, e se a relação silte/argila for alta, esta tenderá a diminuir no solo.

Nesse contexto, compreende-se que solo em análise é siltoso, as suas características compreendem poros menores e mais numerosos, que permitem maior retenção de água, porém, menor taxa de drenagem, quando comparado com os teores de areia.

Analisando o resultado em função dos teores de argila do solo, infere-se que esta possui reduzido diâmetro das partículas, o que permite grande área superficial específica (ASE), fato este que ocasiona elevada retenção de água e baixo fluxo ar e água, sendo agravado ainda mais por este solo estar em ambiente saturado, os teores de argila, promovem elevada pegajosidade quando úmida, sendo extremamente dura quando seca. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Marcolin et al. (2011).

A coesão do solo em estudo quando seco, apresentou-se elevada, tal fator pode estar relacionado com a quantidade de areia muito fina na sua constituição, pois apesar de possuir baixo poder a agregação, bem como reduzida ASE, quando na presença de sais e argila, estes componentes promovem a cimentação e agregação das partículas ao reduzir drasticamente o teor de água no interior do solo.

Com relação à representação do plano fatorial formado por F1 e F2 (Figura 13A), observou-se que as variáveis que contribuiram com as maiores cargas fatoriais para a discriminação das áreas em relação aos atributos físicos do solo foram areia muito grossa (A. M. G) e areia grossa (A. G.) para o deslocamento vertical F2 as variáveis de maior peso fatorial foram à argila e silte/argila, avaliando-se as três áreas ao mesmo tempo.

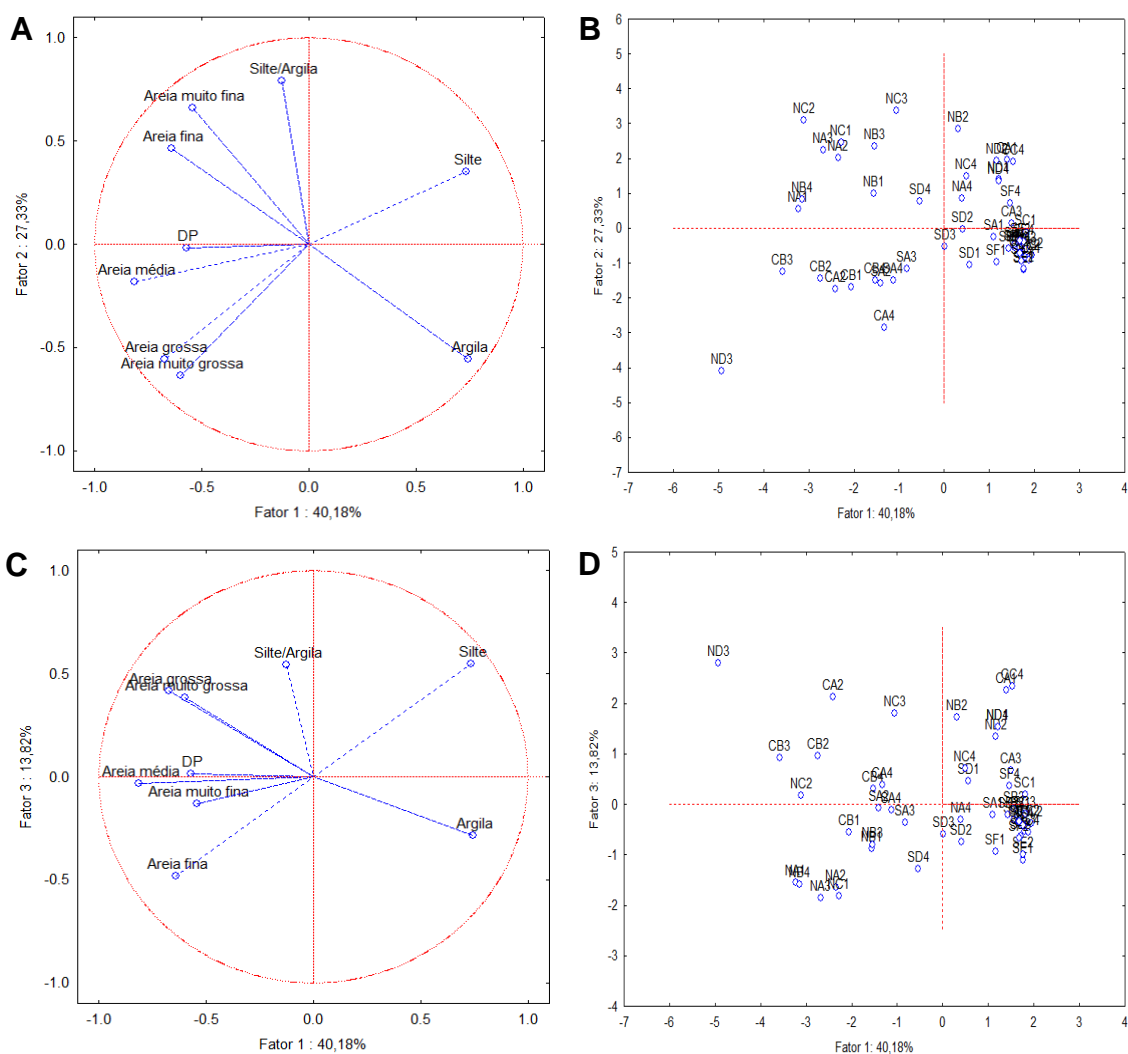
Quanto ao plano fatorial F3 as variáveis com maior peso para discriminação das áreas estudadas foram o silte, areia fina e a areia muito fina, considerando o deslocamento horizontal em relação a F3 (Figura 13C).

Confere-se também na análise dos componentes principais (Figuras 13 A e B) que a areia fina e muito fina não influenciou com cargas fatoriais altas, considerando a análise do F1 e F2, entende-se que as referidas variáveis, possuem baixa correção com os fatores que mais contribuiram na

discriminação das áreas em estudo. Nesse sentido, não sendo possível o emprego desses parâmetros com objetivo de discriminar áreas nas condições do referido estudo.

No que se refere aos pontos das áreas estudadas (Figura 13 B), de modo geral, ocorreram maiores teores de areia grossa e areia muito grossa em CB1, CB2, CB3, CA2, CA4, SA2 e ND3, conforme as variáveis analisadas, ou seja, em função da nuvem de dados plotado próximas para as mesmas, de acordo com as análises realizadas neste estudo.

Figura 13. Representação do plano fatorial F1 x F2 e F3 x F4: (A) (B), (C) e (D) dos atributos físicos com cargas fatoriais superiores a 0.70 (módulo).



Fonte: Compilação do autor (2018).

Ao se tomar como base a leitura geral da Figura 13 D, verifica-se que os pontos amostrais distribuíram-se por todo o plano fatorial, no entanto, com maior concentração de ponto próximo a variável argila, indicando que estes são capazes de fazer distinção das áreas.

Analisando-se de modo vertical o gráfico do F2, verifica-se que os pontos SD1, SF1, SA1, SC3, SB3, SB4 e SF3, foram os que influenciaram para discriminar as áreas, no que diz respeito aos teores de argila. Ainda nesta análise constata-se que os pontos, NC3, NB3, NB2 CC4, ND2 e CA1, foram às amostras que contribuíram para separar as áreas, por conter a maior relação silte/argila (Figura 13B).

Percebe-se que não existe um comportamento padrão em relação às profundidades que mais influenciam para distinção das áreas, ou seja, as áreas são bastante heterogêneas, não sendo, portanto, bons indicativos de discriminação de ambientes hipersalinos, no que se refere aos teores de da relação silte/argila.

Os pontos amostrais que não foram capazes de discriminar os ambientes foram: NA4, SD4, SD3, SD2, SA3 e SD1, constatando que para todas as variáveis dos atributos físicos em estudo, não há necessidade de sondar em profundidade acima de 3.0m, quando se necessitam de informações sobre argila e silte, nas referidas áreas N e S (Figura 13B).

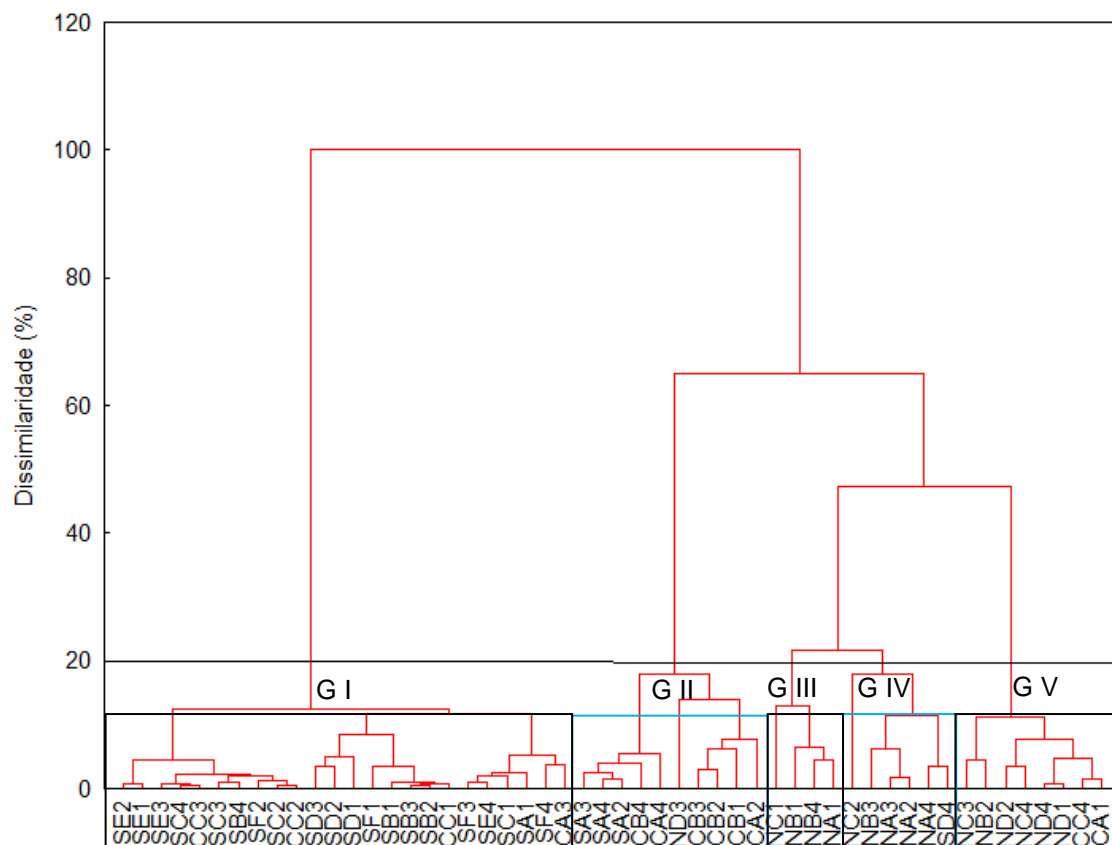
Na análise da Figura 13 D, infere-se que, de modo geral, os pontos das áreas estudadas distribuíram-se de modo radial, isso pode estar relacionado ao menor poder de explicação do fator 3. Nesse sentido, o fato das amostras possuírem alta variabilidade não é possível fazer discriminação das áreas com maior precisão, haja vista, que a menor variabilidade está contida nos primeiros dos fatores, ou seja, F1 e F2.

No que se relaciona a análise de agrupamento representada pelo dendrograma (Figura 14) para os resultados de agrupamento realizado nos atributos físicos, no grupo G I, as áreas agruparam-se com o maior número de pontos amostrais referentes à área S, possuindo comportamento constante, no referente aos teores das variáveis físicas em estudo.

Assim, os pontos amostrais que contribuíram para a formação do referido grupo foram: SB1, SB2, SB3, SB4, SC1, SC2, SC3, SC4, CC1, CC2,

CC3, SE1, SE2, SE3, SE4, SF1, SF2, SF3, SF4, SD1, SD2, SD3, SA1 e CA3 (Figura 14), por possuírem a menor distância euclidiana que os separa. Esta particularidade pode ser explicada pelo fato das áreas estudadas estarem inseridas em um estuário com características muito próximas, no que diz respeito aos constituintes físicos na foz, no médio e no baixo estuário, ocasionando menor variabilidade interna nos grupos, admitindo o agrupamento homogêneo.

Figura 14. Dendrograma das áreas agrupadas, com base na dissimilaridade e altura de corte de 20%, de acordo com os atributos físicos de cargas fatoriais a 0.70 (módulo).



Fonte: Compilação do autor (2018).

Estes resultados estão de acordo com Yemefack et al. (2005) ao citarem que esta técnica, a qual permite agrupar as variáveis com características semelhantes entre si e com aumento de variabilidade entre os agrupamentos formados.

O agrupamento formando no G II, evidencia que o conjunto de pontos coletados na área S e C, (SA2, SA3, SA4, CB1, CB2, CB3, CB4, CA2, CA4 e ND3), possuem maior semelhança em função do número de pontos agrupados (Figura 14), mesmo não possuindo dinâmica lógica nos teores dos atributos físicos em superfície e subsuperfície.

Nesse sentido, constata-se que os constituintes dos atributos físicos, não possuem alta dissimilaridade quando se analisa as amostras nas profundidades de 0.5 a 3.0 m, confirmando que os atributos físicos do solo são pouco influenciados pela ação antrópica nas áreas do estuário do Rio Apodi-Mossoró.

Na análise do grupo G III, evidencia-se o agrupamento de quatro pontos na área N: (NA1, NB1, NB4, e NC1) com destaque para os primeiros 0.5m de profundidade, comprovando que os pontos no meio estuário possuem características semelhantes em função da homogeneidade, em relação aos atributos físicos do solo em análise, indicando que os pontos coletados no médio estuário são de modo geral os que possuem características de transição entre as áreas.

Este fato pode ser explicado, em função de meandros presentes próximos a área de coleta; a presença de uma grande franja de manguezal e a diminuição da ação das correntes de marés, estes três fatores combinados, permitem que os atributos físicos analisados por este estudo, permaneçam sedimentados por um período maior de tempo no meio estuário, conseqüentemente ficando em maior concentração no solo.

Outra hipótese aceitável para entender a dinâmica dos atributos físicos no estuário do Rio Apodi-Mossoró, pode estar relacionada a grande contribuição da erosão eólica que ocorre nos meses de julho à novembro, intensificada pelo desmatamento, carreamento de sedimentos marinhos e contribuição dos sedimentos pluviais.

Ainda com a análise de agrupamento realizada nos atributos físicos, verificou-se a formação de um grande grupo o G IV percebe-se que o cluster tem características semelhantes, no que se refere aos pontos amostrais da área N (Figura 14), ou seja, os pontos coletados na referida área, possuem baixa variabilidade interna dentro do grupo, assim verifica-se que os pontos

NB1, NC2, NA2, NA3, NA4 e SD4 da área N, se agruparam em função de possuir baixa dissimilaridade em relação às concentrações dos atributos físicos na referida área.

Quanto ao ambiente mais próximo à foz, foi verificado maior homogeneidade nos atributos físicos, pois agruparam-se na sua grande maioria, tanto em superfície quanto em subsuperfície, indicando que possivelmente existem maiores contribuições na sedimentação de areias, argilas e silte, vindas do litoral e do mar.

Verifica-se também, que alguns pontos amostrais que eram para se agrupar no G II, porém, pela distância de ligação estabelecida se agruparam no G I, indicando tendência de semelhança na distribuição dos sedimentos, no que se refere ao fracionamento do gradiente textural do solo ao longo do estuário, pois as áreas C e N agruparam-se em clusters diferentes, permitindo a discriminação das áreas em estudo.

Os autores Miranda et al. (2012) mencionam que para compreender as características hidrodinâmicas de um estuário torna-se fundamental avaliar um grande conjunto de dados, em função da elevada variabilidade espacial e temporal, os gradientes de longitudinais de salinidade promovem nas águas estuarinas maior densidade, com consequência, nos processos de transporte e mistura que ocorrem no solo.

Nesse sentido, os resultados encontrados por esse estudo são distintos dos encontrados por Miranda et al. (2012), possivelmente em função da área analisada estar localizada na foz, na referida área, existem menos salinas instaladas, fato este, que contribui para a menor salinidade do rio, acelerando os processos de transporte em função da menor densidade da água.

Por sua vez, buscar compreender como funciona a dinâmica de sedimentação de materiais floculados. No estuário é de fundamental importância, pois estes podem informar quais áreas ao longo da bacia, podem ser impactadas por possíveis agentes contaminantes a montante do mesmo, pois os materiais em suspensão e/ou floculados estão associados ao carreamento de contaminantes para o mar.

O grupo V, formou-se com amostras predominantes da área N, com destaque na profundidade de 2.0m, indicando que os atributos físicos do solo

nessa região são homogêneos, confirmando que a física do solo é pouco alterada, mesmo com as intervenções antrópicas existentes na área da foz do Rio Apodi-Mossoró.

No entanto, se faz necessário compreender a dinâmica de sedimentação em função do aumento da salinidade da água, pois com a maior salinidade da água, existe o aumento da viscosidade, fenômeno este, que contribui na maior sedimentação das partículas menores presentes no estuário.

6.5 Análise conjunta dos atributos químicos, micronutrientes e metais pesados do solo

Na matriz de correlação (Apêndice 4) que contém os atributos químicos do solo, consta que existem correlações altas e significativas ($P < 0.05$) ao se considerar a análise conjunta das três áreas de coleta ao longo estuário. Quanto a matriz de correlação, verifica-se o pH, possui forte correlação negativa com o cobre e o níquel, com valores respectivos de -0.70 e -0.68, indicando que estes possuem tendência de diminuir à medida que o pH do solo aumenta (Apêndice 4).

Verifica-se que a $CE_{1:2.5}$ do solo, possui forte correlação positiva, com o cobre, níquel e chumbo, sendo seus valores respectivos 0.74, 0.92 e 0.56 sugerindo que quando os teores de cátions que contribuem para o aumento da CE no solo estão em altos teores, os referidos elementos, terão tendência de aumentar suas concentrações no solo. Dessa forma, quando no solo a $CE_{1:2.5}$ for baixa, os teores de cobre, níquel e chumbo em solos de estuário hipersalino tenderão a ser baixos (Apêndice 4).

Analisando o cloreto, pode-se observar que esta variável tem forte correlação positiva com o cobre e o níquel 0.75 e 0.92, confirmando que as variáveis que contribuem no aumento da salinidade, possuem tendência de disponibilizar metais pesados no solo.

No que se refere, à correlação com cálcio com os metais pesados cobre e níquel, constata-se que a correlação é forte, com valores de 0.63 e 0.70, respectivamente. No que se refere à correlação do magnésio com o cobre,

níquel e chumbo, observa-se que esta variável possui alta correlação positiva com valores de 0.55, 0.79 e 0.76, respectivamente.

Diante disso, comprova-se que em solos alcalinos, quando existe elevada concentração de cálcio e magnésio, o cobre e o níquel ficam em solução, sugerindo maior atenção por parte dos órgãos ambientais no que se refere aos teores dos referidos elementos no estuário.

Ainda na matriz de correlação (Apêndice 4), nota-se que as variáveis extraídas a partir dos cátions solúveis do solo como a Relação de Adsorção de Sódio ($RAS_{1:2.5}$) possui correlação positiva com Cu^{+2} e Ni^{+2} com valores de 0.79 e 0.95, respectivamente. Analisando-se a Relação de Adsorção de Potássio ($RKT_{1:2.5}$), verifica-se que a referida variável possui fraca correlação com Cu^{+2} e Ni^{+2} sendo seus valores 0.37 e 0.45, respectivamente.

Verificou-se que a ($RAS_{1:2.5}$) tem moderada correlação positiva com o Pb^{+2} com valor de 0.59 assim como a ($RKT_{1:2.5}$), se correlaciona positivamente com o Pb^{+2} , no entanto com correlação fraca com valor de 0.32, (Apêndice 4).

Consta na Tabela 7 o resumo da Análise Fatorial (AF), onde as cargas fatoriais são resultantes da análise das três áreas ao mesmo tempo. Os fatores contribuíram com autovalores com percentuais de explicação de 37.11, 15.17 e 12.27% respectivamente, desse modo, explicam 64.55% da variância total dos dados. Na ocasião da análise individual dos atributos químicos do solo, observou-se no primeiro fator (F1), autovalores acima de 0.70 referentes às seguintes variáveis: CE, Cl^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} e Ras (Tabela 4).

Com a análise conjunta das variáveis químicas, micronutrientes e metais pesados do solo ao mesmo tempo, observou-se acréscimo de uma variável que na análise individual não possuiu autovalor acima de 0.70, sendo esta variável a relação de adsorção de potássio (RAK) como descrito na (Tabela 7) com fator de carga 0.77.

Para as variáveis de pH, Cl^- , Ras, foi observado um incremento nos valores de suas cargas fatoriais (Tabela 4) quando comparadas com a análise conjunta das variáveis químicas, micronutrientes e metais pesados (Tabela 7), já o valor de RAK, aumentou. Tais resultados evidenciam que a análise multivariada é uma ferramenta importante na obtenção de respostas quanto ao comportamento dos atributos químicos e metais pesados no solo.

A alta carga fatorial evidenciada na (Tabela 7) para o magnésio comprova que o excesso de sais encontrados no solo hipersalino não interfere na disponibilidade do referido nutriente no solo. Os resultados encontrados por este estudo estão em acordo com os de Garcia et al. (2008).

Uma explicação para o cálcio não apresentar carga acima de 0.70, na análise fatorial (Tabela 7), pode ser um indicativo que o cálcio e o sódio foram substituídos pelo magnésio no complexo de troca, constatando que em solos hipersalinos, devido aos regimes das marés e os constantes alagamentos existe renovação permanente do solo e nutrientes das áreas estudadas.

Verifica-se que o magnésio possui correlação negativa com a PST, isso confirma o fato de que em solos alagados, mesmo com altos teores de magnésio, em função do constante alagamento, existe a diluição dos teores do referido elemento e, conseqüente diminuição da PST, o que corrobora com os resultados encontrados por Ruiz et al. (2004).

Na literatura já é elucidado que o magnésio é um elemento antagônico ao sódio e ao cloreto, pois, quando os teores desses elementos são elevados na solução do solo causam distúrbios em relação ao balanço iônico do cálcio e potássio (Tabela 7) (Leite et al., 2010; Uchôa et al., 2011).

Vale ressaltar que os altos teores de magnésio no solo (Tabela 7), dependem da quantidade de micronutrientes no mesmo, pois, quando estão em alta concentração os teores de magnésio tende a diminuir no complexo de troca, por ser menos solúvel, esta observação em conformidade com as pesquisas realizadas por Wiend (2007).

No que se refere à relação de adsorção de potássio (RAK), nota-se moderada carga fatorial (Tabela 7), sendo resultado da menor influência do cálcio do solo quando comparado com o magnésio. Este resultado pode ser explicado devido à substituição do cálcio e do magnésio no complexo de troca pelo potássio que está solúvel na solução.

Tabela 7. Fatores extraídos por componentes principais, destacando-se os atributos químicos, micronutrientes e metais pesados do solo com cargas superiores a 0.70 (módulo), nas quatro profundidades 0.5, 1.0, 2.0 e 3.0m, nas três áreas estudadas.

Atributos Químicos	Cargas Fatoriais		
	F1	F2	F3
pH	-0.42	-0.02	0.09
CE	0.96	0.03	-0.02
N	0.15	-0.04	-0.07
Mat.Org.	0.57	0.05	-0.19
P	0.14	0.12	0.50
Na ₊	0.45	0.84	0.13
K ₊	0.31	0.84	0.30
Cl ⁻	0.95	0.05	-0.09
Ca	0.68	0.11	-0.27
Mg	0.91	-0.08	0.28
CTC	0.75	0.61	0.07
PST	-0.51	0.70	0.12
RAS	0.90	-0.01	0.00
RAK	0.77	0.06	0.06
RCaT	-0.22	0.34	0.41
RMgT	-0.54	0.76	-0.02
RKT	-0.26	-0.30	-0.30
Cu ²⁺	0.65	0.09	-0.14
Fe ³⁺	0.04	0.10	0.21
Mn ²⁺	-0.19	0.27	0.75
Zn ²⁺	0.18	-0.09	0.14
Cr ³⁺	-0.08	-0.04	0.57
Ni ²⁺	0.85	0.04	-0.04
Cd ²⁺	0.49	-0.35	0.20
Pb ²⁺	0.61	-0.27	0.38
Autovalores	9.28	3.79	3.07
% variância	37.11	15.17	12.27
Variância Acumulada %	37.11	52.28	64.55

Nota: Potencial Hidrogeniônico (pH_{água}), Condutividade elétrica (CE_{es} 1: 2.5 dS m⁻¹), Nitrogênio (N g/ Kg⁻¹), Matéria Orgânica (Mat.Org. dag Kg⁻¹), Fósforo (P⁺ mg dm⁻³), Potássio (K⁺ Cmol_c dm⁻³), Sódio (Na⁺ Cmol_c dm⁻³), Cálcio (Ca²⁺ Cmol_c dm⁻³), Magnésio (Mg²⁺ Cmol_c dm⁻³), Capacidade de Troca de Cátions (CTC Cmol_c dm⁻³), Percentagem de Sódio Trocável (PST %), Cloreto (Cl⁻ g dm⁻³), Relação de adsorção de Sódio (RAS 1:2.5 mmmol_c L⁻¹), Relação de adsorção de Potássio (RAK 1:2.5 mmmol_c L⁻¹), Relação de Cálcio Trocável (RCaT 1:2.5 mmmol_c L⁻¹), Relação de Magnésio Trocável (RMgT 1:2.5 mmmol_c L⁻¹), Relação de Potássio Trocável (RKT 1:2.5 mmmol_c L⁻¹). Cobre (Cu²⁺), Ferro (Fe⁺³), Manganês (Mn⁺²), Zinco (Zn⁺²), Cromo (Cr⁺³), Níquel (Ni⁺²), Cádmiio (Cd⁺²) e Chumbo (Pb⁺²) todos expressos em mg/dm⁻³.

A carga fatorial da relação de adsorção de potássio RAK (Tabela 7) indica que o solo em estudo, possui altos teores de potássio, no entanto, este nutriente está adsorvido às argilas, necessitando de um balanço nos teores de cálcio e magnésio para promover a regulação natural dos teores do referido elemento na solução do solo.

Em solos de ambientes áridos como é o caso da planície hipersalina em estudo, o uso de equações de troca de cátions para exprimir a relação entre cátions em solução e adsorvidos, envolve alguns problemas particulares. Isso ocorre em função da presença de uma mistura de tipos diferentes de argila no solo e de espécies de cátions presentes em solução. Assim, à medida que a solução torna-se mais concentrada em potássio, existe a necessidade de uma menor relação $[Na^+] / [K^+]$, comprovando que a diluição favorece o íon de valência mais alta ou com maior raio hidratado. Os resultados obtidos por este estudo estão de acordo com os de Ferreira et al. (2016).

No que tange a análise individual dos atributos químicos do solo, observou-se no segundo fator (F2), autovalores acima de 0.70 referentes às seguintes variáveis: Na^+ , K^+ e RMgT (Tabela 4). Porém, quando analisado as variáveis químicas, micronutrientes e metais pesados do solo ao mesmo tempo, constata-se que houve acréscimo de uma variável em relação à análise individual, com autovalor de 0.70, ou seja, o potássio (K^+) com fator de carga 0.84, Tabela 7.

O K^+ é um cátion monovalente, por esse motivo é um elemento móvel no solo, sendo facilmente lixiviado, principalmente em solos arenosos (Santana, 2012). Dessa forma, conhecer o processo que garante a interação do potássio e os agentes do solo, sobretudo a adsorção, é um mecanismo importante para determinar a solução de vários problemas referentes a danos ambientais causados pela baixa disponibilidade desse elemento no solo hipersalino (Souza, et al, 2006).

No estuário, a indisponibilidade do K^+ pode trazer sérios danos aos vegetais que povoam o ecossistema de manguezal, com sérios danos a flora inserida neste ambiente. De acordo com Malavolta (2006) uma das funções do potássio é a translocação de açúcares, abertura e fechamento dos estômatos e regulação osmótica e isso se reflete na qualidade das plantas, nesse sentido,

constata-se que no solo analisado existem altos teores de K^+ , e parte desse potássio está disponível para as plantas, fato este confirmado pela alta carga fatorial do K^+ trocável.

Constata-se que análise multivariada é uma ferramenta adequada para ser empregada no monitoramento dos teores de k^+ e da alta correlação da Relação de Adsorção de Potássio (RAK), ressaltando a importância da compreensão da dinâmica de lixiviação do referido macronutriente em profundidade ao longo do estuário hipersalino do Rio Apodi-Mossoró.

No que se refere à análise de componentes principais, verifica-se que o resultado individual das variáveis, teve comportamento diferente quando comparado com a análise conjunta dos atributos químicos, micronutrientes e metais pesados representados pelo plano fatorial F1 e F2 (Figura 15 A). Observa-se que as variáveis que contribuíram com as maiores cargas fatoriais para a discriminação das áreas foram o CE e o Cl^- considerando o deslocamento horizontal para F1 na leitura vertical para F2 o potássio (K^+) e o Na^+ foram os elementos que contribuíram na discriminação dos ambientes, avaliando-se as três áreas ao mesmo tempo (Figura 15A).

Na análise conjunta das variáveis, fica evidente que os parâmetros referentes à salinidade do solo, são responsáveis pelos maiores componentes principais, indicando que é importante a manutenção de práticas de gestão, que visem à preservação dos recursos naturais presentes ao longo do estuário.

Quanto aos metais pesados analisados por este estudo, ressalta-se o Ni^{2+} que se comportou como variável importante na diferenciação das áreas, em função da sua elevada carga fatorial 0.85 (Figura 15A).

Nesse contexto, a análise dos metais pesados em associação com as variáveis químicas do solo, confirma que os metais pesados são variáveis importantes do ponto de vista ambiental e estatístico, no que se refere à distinção das áreas hipersalinas (Figura 15A).

Apenas no F3 (Figura 15B) constatou-se que o manganês pode ser considerado um variável capaz de diferenciar as áreas estudadas, indicando que existe pouca influência dos outros atributos químicos quando analisados simultaneamente, esse mesmo raciocínio pode ser aplicado em relação aos

teores de cromo no solo do estuário, ressaltando-se o baixo poder de explicação do fator 3.

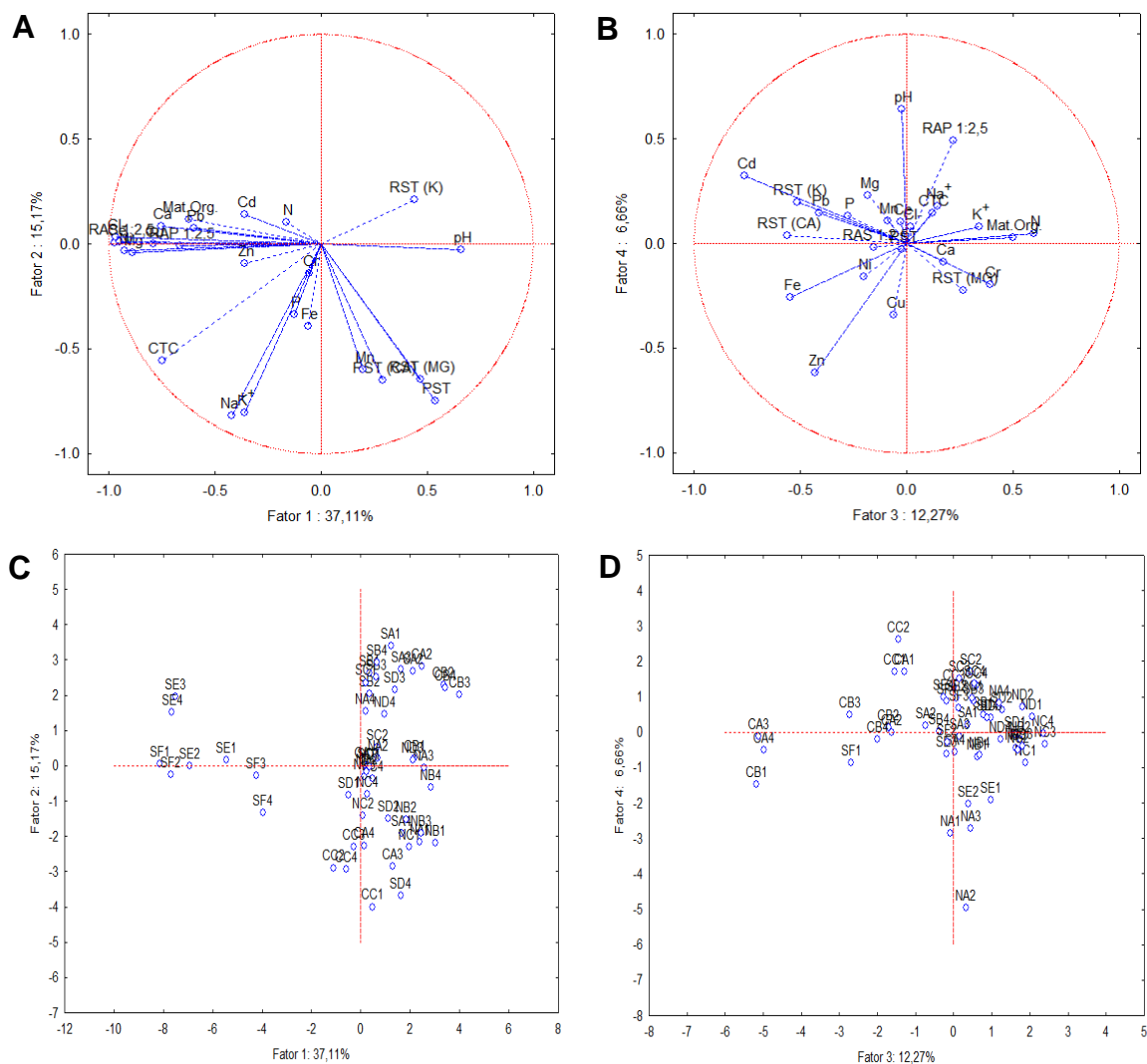
Ainda em relação às variáveis em discussão, verifica-se na Tabela 7, que algumas variáveis se comportaram de maneira antagônica, ou seja, quando a matéria orgânica aumenta, os teores de cromo no solo tendem a diminuir, em função adsorção que a matéria orgânica exerce sobre o cromo deixando-o indisponível no solo, este fato pode ser observado nos pontos SE1, SE2, SE3, SE4 SF1, SF2 e SF3 (Figura 15 C).

Quanto as variáveis e os pontos estudados (Figura 15 C), verifica-se que as áreas: SA1, CA2, SB4, SC4, NA4, ND4, CB2, CB3, e CB4 em função dos teores Na^+ e K^+ serem muito parecidos e possuírem CTC muito próxima, não foi possível discriminar as áreas, com relação ao fator 2.

Contata-se ainda que os pontos amostrais com maior teor de Ca, Cl^- e CE foram obtidos em SF1, SF2 e SE2, ou seja, na área de estudo S, localizada na porção mediana do estuário do Rio Apodi-Mossoró (Figura 15 C).

Na Figura 15D pode ser observado que os pontos amostrais estão dispostos de como nuvem no centro no plano fatorial, em função da baixa variância e conseqüentemente menor poder de explicação, nesse sentido, tornando-se incapaz de discriminar as áreas estudadas.

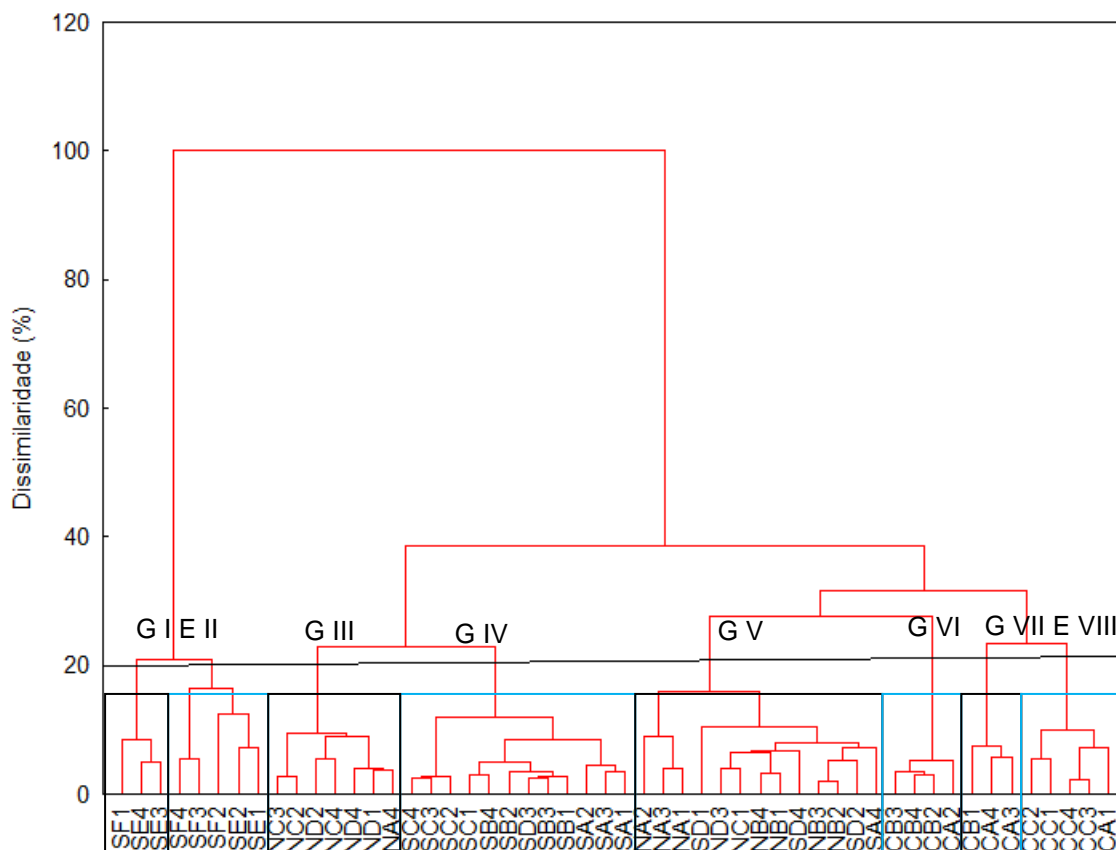
Figura 15. Representação do plano fatorial F1 x F2 e F3 x F4: (A) (B), (C) e (D) dos atributos químicos, micronutrientes e metais pesados com cargas fatoriais superiores a 0,70 (módulo).



Fonte: Compilação do autor (2018).

Quanto aos resultados da análise Cluster, verifica-se no dendrograma o resultado do agrupamento dos atributos químicos, micronutrientes e metais pesados do solo (Figura 16), considerou-se a linha de corte a 20% de alcance da dissimilaridade, nessa altura observa-se a formação de oito grupos distintos I, II, III, IV, V, VI, VII e VIII.

Figura 16. Dendrograma das áreas agrupadas, com base na dissimilaridade e altura de corte de 20%, de acordo com os atributos químicos, micronutrientes e metais pesados de cargas fatoriais a 0.70 (módulo).



Fonte: Compilação do autor (2018).

Nesse sentido, vale ressaltar que as áreas agrupadas dentro do mesmo grupo são consideradas não dissimilares, ou seja, são bastante semelhantes entre si, no que se refere ao comportamento dos atributos químicos, micronutrientes e metais pesados nas profundidades do solo nas condições dessa análise.

Contata-se que a análise fatorial (AF) (Tabela 7) e a análise de Cluster (Figura 16) evidenciaram resultados distintos, na análise fatorial formou-se seis fatores, sendo utilizados somente três fatores nas discussões dos resultados desse estudo.

No que se refere à Análise de Cluster, dividiu-se as áreas em oito grupos em função da menor semelhança entre as variáveis obtidas por esse

trabalho, destacando-se variação espacial dos atributos químicos, micronutrientes e metais pesados do solo dentro das áreas analisadas.

No G I e II, predominou os pontos amostrais referentes à área S, não sendo possível observar regularidade no que diz respeito a distribuição das variáveis ao longo do perfil de sondagem do solo, ou seja, não se verifica estratificação das variáveis ao longo perfil dos pontos amostrais (Figura 16).

Com relação ao G III, obteve-se agrupamento em particular com os pontos da área N, sendo formado pelos pontos três e quatro, ou seja, NA4, NC2, NC3, NC4; ND1, ND2 e ND4 constatando que mesmo a referida área estando localizada na foz do estuário, contém características muito semelhantes. Indicando uma tendência de que os sedimentos estão permanecendo mais tempo na calha do rio, tais resultados evidenciam que as águas das marés, possivelmente, não estão ocasionando a renovação necessária no estuário.

O G IV (Figura 16) agrupou as áreas com predominância dos pontos um, dois e três da área S, em função do comportamento regular na distribuição dos variáveis ao longo das profundidades analisadas. Esta observação pode ser atribuída aos fatores edafoclimáticos que regem a dinâmica ambiental na referida área de estudo. Evidenciando que na referida área, mesmo sendo considerada uma zona de transição entre as áreas, os atributos químicos e os micronutrientes e metais pesados do solo possuem maior semelhança em suas concentrações.

Quanto ao G V, constata-se que foi o maior grupo formado, houve variação no agrupamento das áreas, no entanto, com predominância dos pontos amostrais referentes aos da área N, sendo nove pontos da referida área. Os outros pontos amostrais que compõe o grupo são referentes à área S, com quatro pontos da referida área.

No G VI (Figura 16) constatou-se que os pontos referentes à área C, predominaram na formação do grupo que discrimina a área, em função dos pontos amostrais da área S predominar na composição do primeiro grupo, com destaque para o ponto dois da área C.

Verifica-se no grupo VII que este grupo formou-se em função dos teores dos nutrientes analisados serem diferentes, não sendo possível nesse grupo verificar um comportamento lógico na sua formação (Figura 16).

No que se refere ao grupo VIII evidencia-se a predominância dos pontos que compõe a área C destacando-se o ponto três em todas as profundidades, indicando que no referido ponto amostral as concentrações dos nutrientes são semelhantes ao longo do perfil de sondagem do solo (Figura 16).

6.6 Análise conjunta dos atributos químicos e físicos do solo

Na matriz de correlação (Apêndice 5) que correlaciona os atributos químicos e físicos do solo, constata-se que existem correlações altas e significativas ($P < 0.05$), ao se correlacionar as variáveis das três áreas de coleta no ambiente hipersalino do estuário do Rio Apodi-Mossoró

Na matriz pode ser observado que a argila possui moderada correlação positiva referente às seguintes variáveis CE, Cl^- , Mg^{2+} , RAS e RAK, com valores respectivos de 0.63, 0.64, 0.58, 0.60 e 0.66, indicando que estes valores possuem tendência de crescimento à medida que os elementos correlacionados aumentam sua concentração no solo (Apêndice 5).

Quanto ao magnésio, se observou correlação negativa com a areia média (A. M.), tendo como valor -0,52, confirmando que a dinâmica de reposição das areias no estuário não se comportam no solo como reservas de Mg^{2+} , nesse sentido, tem-se que nas áreas com menos areia média possivelmente existe mais magnésio no solo (Apêndice 5) em função da menor intemperização da areia.

No que se refere à análise das correlações confirmadas entre a relação de adsorção de potássio (RAK), verifica-se que a referida variável se correlacionou de modo antagônico com os parâmetros resultantes do fracionamento da areia, ou seja, a areia grossa e areia média, com valores da ordem de -0.53 e -0,67, respectivamente (Apêndice 5).

No Apêndice 5, observa-se que não houve correlação significativamente para as variáveis argila, silte, silte/argila, Dp, A. M. G e A. G,

quando correlacionadas com a matéria orgânica e o fósforo do solo do estuário.

Nas condições desse estudo, constatou-se que as seguintes variáveis não tiveram correlação significativa detectada: silte/argila, Dp, A. M. G, A. G, A. M, A. F, A. M. F, em função dos níveis de pH que foram encontrados nesse trabalho, indicando que as variáveis citadas anteriormente não influenciam no aumento ou na redução do pH do solo (Apêndice 5).

Contatou-se que as variáveis físicas analisadas nesse trabalho, não possuem correlação significativa com a relação de cálcio trocável (RCaT) do solo, isso por que, o sódio e o cálcio que compõem a equação são antagônicos em relação aos parâmetros físicos do solo (Apêndice 5) em especial nos solos hipersalinos.

No que se refere à análise fatorial (Tabela 8), verificou-se que os três primeiros fatores contribuíram com autovalores com percentuais de explicação de 35.61, 15.36 e 10.57 % respectivamente, desse modo, explicaram 61.54% da variância total dos dados.

Constata-se que as variáveis que contribuíram para a formação do fator 1 e a discriminação das áreas foram a areia fina (A. F) e a areia muito fina (A. M. F) com cargas fatoriais negativas de -0,89 e -0,74, respectivamente. Quando se analisa a areia fina e a areia muito fina em comparação com os teores de argila e silte, verifica-se que as referidas variáveis se comportaram de modo antagônico, ou seja, com correlações positivas tendo autovalores de 0.68 e 0.56, para a argila e silte, respectivamente (Tabela 8).

Segundo Balsinha et al. (2009), ao estudar o estuário do rio Minho verificou que o assoalho do referido estuário é essencialmente arenoso e tem sedimentos com uma dimensão de 0.59 mm, sendo caracterizado por areia cujas dimensões variam entre valores médios a muito finos. Ainda segundo o autor, a montante do estuário caracteriza-se por ser mal graduado, enquanto que na embocadura, apresenta-se moderadamente bem graduado.

Tabela 8. Fatores extraídos por componentes principais, destacando-se os atributos químicos e físicos do solo com cargas superiores a 0.70 (módulo), nas quatro profundidades 0.5, 1.0, 2.0 e 3.0m, nas três áreas estudadas.

Atributos Químicos e Físicos	Cargas Fatoriais		
	F1	F2	F3
pH	0.34	0.08	-0.16
CE	0.37	0.10	0.21
N	0.03	-0.17	0.60
Mat.Org.	0.09	-0.06	0.14
P	0.10	0.12	-0.07
Na ₊	0.10	0.89	0.24
K ₊	-0.04	0.82	0.16
Cl ⁻	0.35	0.10	0.20
Ca	0.11	0.07	0.07
Mg	0.45	0.09	0.23
CTC	0.21	0.67	0.23
PST	-0.30	0.71	-0.11
RAS	0.29	0.07	0.09
RAK	0.58	0.12	0.47
RCaT	0.01	0.47	-0.04
RMgT	-0.57	0.65	-0.07
RKT	0.19	-0.20	-0.09
Silte	0.68	0.09	0.47
Argila	0.56	-0.07	0.26
Silte/Argila	-0.12	0.15	0.14
DP	-0.39	-0.07	-0.41
Areia muito grossa	0.03	-0.19	-0.89
Areia grossa	-0.01	-0.17	-0.91
Areia média	-0.44	-0.03	-0.64
Areia fina	-0.89	0.19	0.02
Areia muito fina	-0.74	-0.02	0.11
Autovalores	9.26	3.99	2.75
% variância	35.61	15.36	10.57
Variância Acumulada %	35.61	50.97	61.54

Nota: Potencial Hidrogeniônico (pH_{água}), Condutividade elétrica (CE_{es} 1: 2.5 dS m⁻¹), Nitrogênio (N g/ Kg⁻¹), Matéria Orgânica (Mat.Org. dag Kg⁻¹), Fósforo (P⁺ mg dm⁻³), Potássio (K⁺ Cmol_c dm⁻³), Sódio (Na⁺ Cmol_c dm⁻³), Cálcio (Ca²⁺ Cmol_c dm⁻³), Magnésio (Mg²⁺ Cmol_c dm⁻³), Capacidade de Troca de Cátions (CTC Cmol_c dm⁻³), Percentagem de Sódio Trocável (PST %), Cloreto (Cl⁻ g dm⁻³), Relação de adsorção de Sódio (RAS 1:2.5 mmmol_c L⁻¹), Relação de adsorção de Potássio (RAK 1:2.5 mmmol_c L⁻¹), Relação de Cálcio Trocável (RCaT 1:2.5 mmmol_c L⁻¹), Relação de Magnésio Trocável (RMgT 1:2.5 mmmol_c L⁻¹), Relação de Potássio Trocável (RKT 1:2.5 mmmol_c L⁻¹), Areia, Silte, Argila, Silte/Argila (g/Kg), Densidade de Partícula (DP) em g/cm³, Areia muito fina (A. M. F.), Areia fina (A. F.), Areia média (A. M.), Areia Grossa (A. G) e Areia muito Grossa (A. M. G.) (g).

Na parte intermédia apresenta grande diversidade de dimensões, caracterizado por areias grossas até muito finas, e desde muito mal graduadas até razoavelmente graduadas, nesse sentido, os resultados encontrados por esse estudo corroboram com os resultados de Balsinha et al. (2009).

No entanto, outro estudo no mesmo estuário encontrou resultados diferentes dos obtidos por este estudo, ou seja, segundo LNEC (2007) cita que os sedimentos são constituídos, essencialmente, por areias médias e grossas de origem terrestre. Assim, fica evidente que a depender da época de coleta das amostras de solo, poderá haver superior percentagem de sedimentos finos, ou mais grosseiros na nascente ou na desembocadura do estuário.

No que se refere ao fator 2, (Tabela 8), verifica-se que as variáveis que contribuem no aumento da salinidade do solo foram as que colaboraram para a discriminação das áreas, na análise do Na^+ obteve-se autovalor de 0.89, e no K^+ de 0.82, as referidas bases contribuem para o aumento da CTC do solo que na ocasião obteve-se o autovalor de 0.67.

Em função do grande acúmulo de sódio no solo, constata-se alta correlação do mesmo com as variáveis Ca^{2+} e Mg^{2+} , sendo estas tidas com discriminadoras de áreas, ou seja, possuem autovalores elevados. Nesse sentido, nas variáveis PST e RMgT, obteve-se valores da ordem de 0,89 e 0,65, respectivamente, indicando que por existir muito sódio no complexo de troca, há a necessidade de maior quantidade de cálcio e magnésio para equilibrar a fase trocável do solo (Tabela 8).

Em relação ao fator 3 verificou-se que os teores das diferentes granulometrias da fração areia na área total, foram as variáveis que contribuíram para a distinção das áreas estudadas, ou seja, constatou-se teores de areia muito grossa (A. M. G) e areia grossa (A. G) com autovalores antagônicos (negativo) -0,89 e -0,91, respectivamente (Tabela 8).

O antagonismo obtido no fator 3, indica tendência de diminuição dos teores de silte (0.47) e nitrogênio (0.60), ou seja, quando os teores das referidas variáveis uma tendem a aumentar os teores de areias diminuem no estuário. No entanto, ao se considerar a densidade de partícula (D_p) verificou-se que a mesma é altamente influenciada pelos teores de areia, ou seja,

quando no solo existe muita areia a Dp é elevada, indicando que os solos são predominantemente minerais.

No que se refere à representação do plano fatorial formado por F1 e F2 (Figura 17 A), encontram-se as variáveis que contribuíram com as maiores cargas fatoriais para a discriminação das áreas, levando-se em consideração os atributos químicos e físicos do solo, destacando-se a areia fina (A. F) e a Areia muito Fina (A. M. F). Verifica-se correlação positiva levando em consideração o deslocamento horizontal para F1 e o deslocamento vertical para F2 para as variáveis de maior peso fatorial sendo o Na⁺, K⁺ e CTC analisando-se todas as três áreas conjuntamente.

Na análise da (Figura 17 A) observa-se que as variáveis areia grossa, areia muito grossa, potássio, cálcio e Mat. Org. não influenciaram com cargas fatoriais altas, compreendendo-se que estas possuem baixas correções, deste modo não sendo possível o uso destas variáveis com objetivo de discriminar as áreas nas condições do referido estudo.

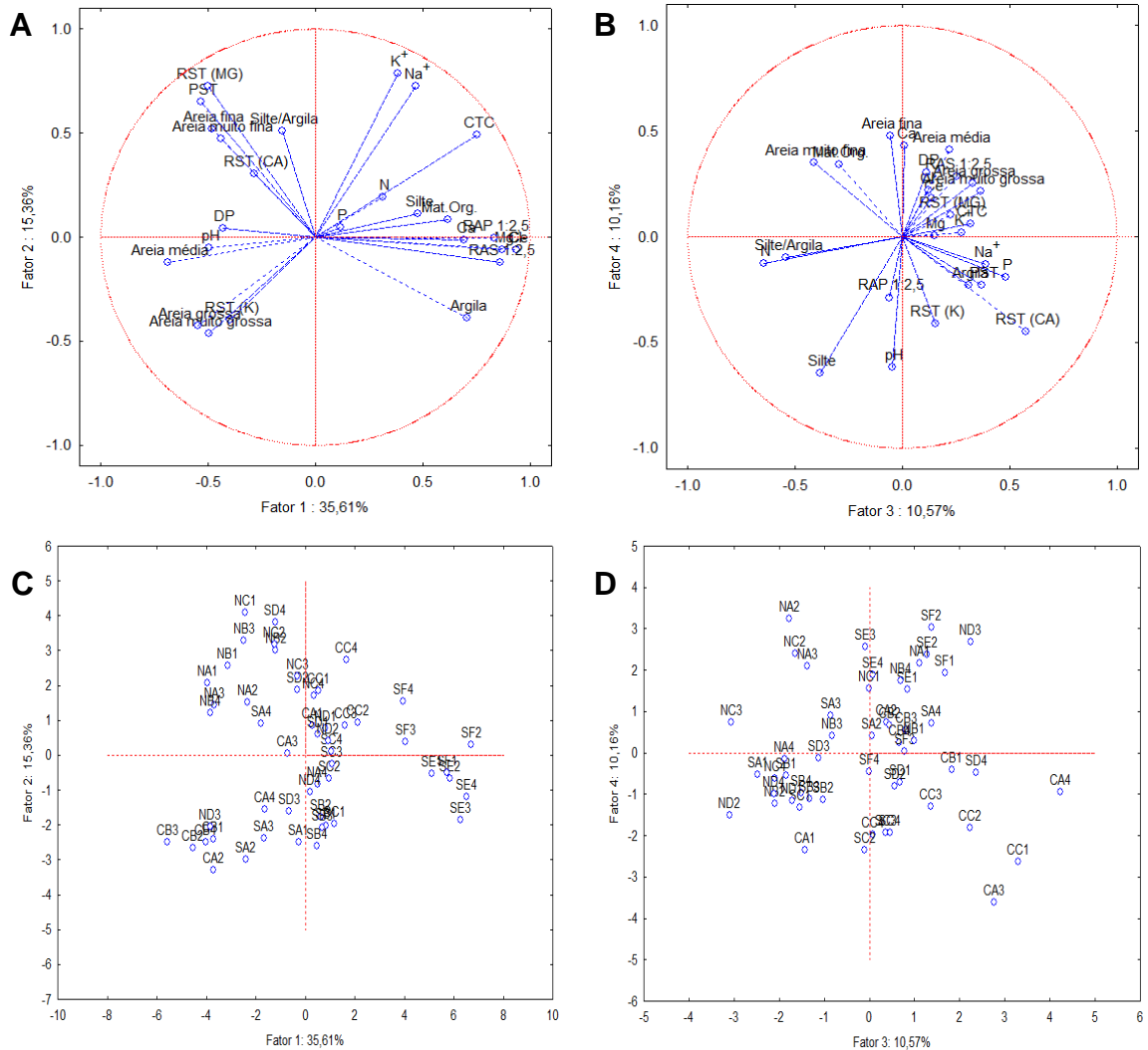
Na Figura 17 B observa-se as variáveis no plano fatorial com maior peso para discriminação das áreas estudadas, considerando o deslocamento horizontal em relação a F3, constata-se que a areia muito grossa (A. M. G) e areia grossa (A. G) possuem a maior carga fatorial.

De modo geral, a maior parte das áreas estudadas revelou não ser influenciada pelas variáveis analisadas, no entanto, os pontos amostrais que tiveram as maiores concentrações de Na⁺, K⁺ e CTC foram: CC1, CC2, CC3, CC4, CA1, NC4, ND1 e SF4 concomitantemente (Figura 17 C).

No que se refere às maiores concentrações de argila e Ca⁺², evidenciou-se nos pontos amostrais da área S, sendo: SE1, SE2, SE3, SE4, SF1 e SF2, respectivamente, confirmando que a área localizada no meio do estuário se comporta como área de transição dos sedimentos que descem do continente para o mar e dos sedimentos que vem do mar para o continente (Figura 17 C).

Verificou-se na análise multivariada dos atributos químicos e físicos do solo, que o fracionamento da areia assim como as variáveis relacionadas com a salinidade do solo, são eficientes para discriminar áreas hipersalinas quando analisadas simultaneamente.

Figura 17. Representação do plano fatorial F1 x F2 e F3 x F4: (A) (B), (C) e (D) dos atributos químicos e físicos com cargas fatoriais superiores a 0.70 (módulo).



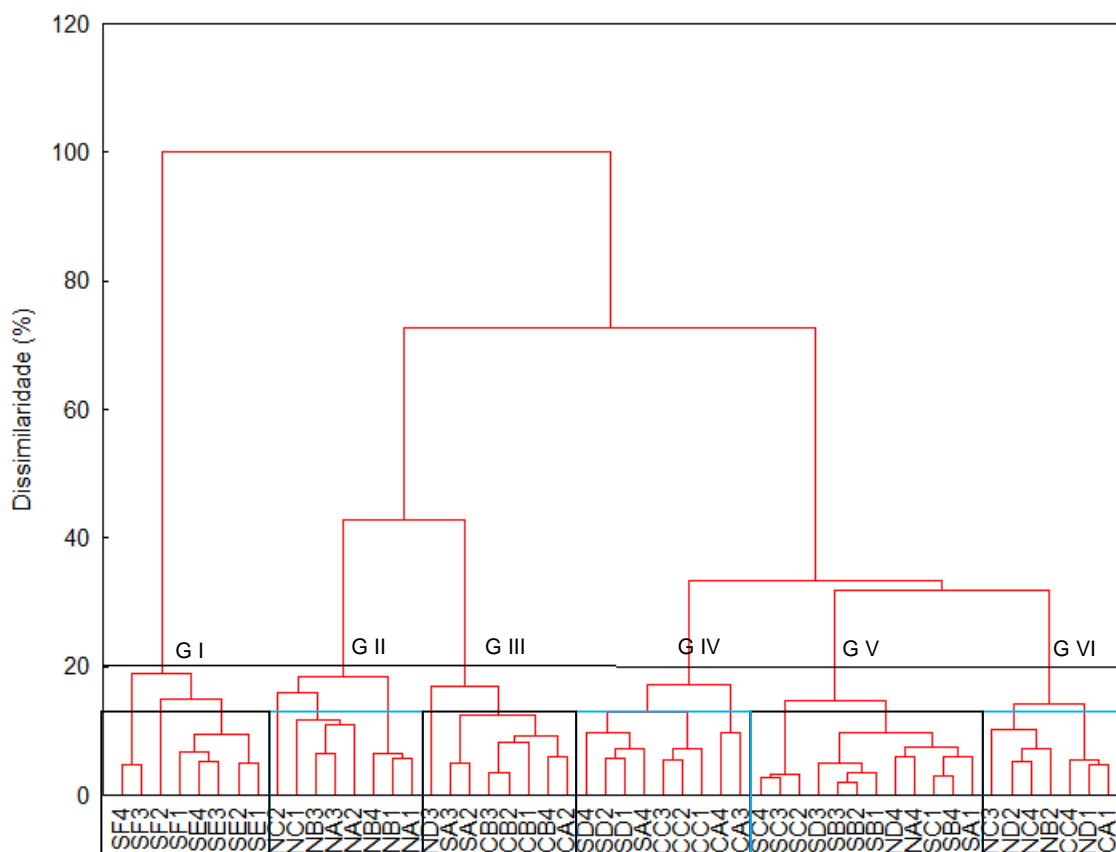
Fonte: Compilação do autor (2018).

De modo geral, considerando o deslocamento horizontal para o fator 3, constata-se que os pontos amostrais se localizam radialmente no plano fatorial (Figura 17 D) este comportamento pode estar relacionado com o menor poder de explicação dos dados em função da menor variância dos dados. Não sendo possível discriminar as áreas da planície hipersalina, evidenciado a semelhança entre as áreas de estudo ao longo do estuário.

Quanto aos resultados da análise Cluster (Análise de Agrupamento- AA) de carga fatorial superior a 0.70 dos atributos químicos e físicos do solo (Figura 18), considerou-se a linha de corte a 20% de alcance da dissimilaridade. Nessa altura observa-se a formação de seis grupos distintos I, II, III, IV, V e VI.

As áreas agrupadas no mesmo grupo são consideradas não dissimilares, ou seja, são bastante semelhantes entre si, no que se refere ao comportamento dos atributos químicos e físicos das amostras nas profundidades 1.0 e 2.0m do solo nas condições dessa análise.

Figura 18. Dendrograma das áreas agrupadas, com base na dissimilaridade e altura de corte de 20 %, de acordo com os atributos químicos e físicos de cargas fatoriais a 0.70 (módulo).



Fonte: Compilação do autor (2018).

Comparando a análise fatorial (AF) (Tabela 8) e a análise de agrupamento (AA) (Figura 18) evidenciou-se resultados distintos, na análise

fatorial, houve a formação de seis grupos, sendo utilizados somente três grupos para discussão dos resultados desse estudo.

Por se tratar uma análise exploratória, a análise de agrupamento discriminou as áreas de coletas em seis grupos distintos em função da maior semelhança entre os pontos amostrais obtidos por esse trabalho, no que diz respeito à variação espacial dos atributos químicos e físicos do solo.

No G I predominou os pontos amostrais referentes à área S, com a contribuição de oito pontos amostrais na formação do grupo, com destaque para os pontos SE1, SE2, SE3, SE4, SF1, SF2, SF3 e SF4, por serem semelhantes nos teores dos parâmetros analisados ao longo do perfil de sondagem do solo. Assim, verifica-se que em profundidade a variação de distribuição dos parâmetros possui maior regularidade (Figura 18).

Verifica-se que para a formação do G II (Figura 18) houve maior contribuição dos pontos amostrais referentes à área de estudo N, discriminando as variáveis distribuídas nos primeiros 2 metros de profundidade. Ressaltando-se que para a formação do referido grupo, constatou-se que houve maior contribuição dos pontos localizados na foz do estuário, ou seja, NA, NB e NC.

A leitura da Figura 18 evidencia-se que o grupo III formou-se com os pontos amostrais com maior representatividade da área de estudo C, tendo contribuição de pontos referentes à área S, indicando que as referidas áreas possuem atributos químicos e físicos que são muito parecidos.

Ainda no que se refere grupo III, ficaram discriminados pontos referentes à área C, com ênfase nos pontos amostrais CB1, CB2, CB3 e CB4, ou seja, o ponto de coleta dois da área C possui características que são semelhantes aos da área S, em relação aos pontos SA2, SA3 e SA4 (Figura 18).

Para a construção do grupo IV, observam-se pontos amostrais de duas áreas estudadas (Figura 18), no entanto, não é verificado regularidade na formação do grupo, isso indica que as áreas estudadas possuem características semelhantes mesmo estando em posições diferentes na paisagem que compõe o estuário do Rio Apodi-Mossoró.

O grupo V possui características da área de estudo S, bem como da área N (Figura 18), as quais estão dispostas nos extremos da área de

abrangência desse estudo. Isso indica que existe renovação constante nas características químicas e físicas ao longo do estuário analisado.

Observou-se que no grupo VI que os pontos amostrais NB2, NC3, NC4, ND2 e ND1 são similares quando analisados em relação aos dois pontos da área C que constituem o referido grupo, ou seja, CA1 e CC4 (Figura 18) indicando que estes pontos são muito semelhantes dentro do grupo, no entanto, muito diferentes quando comparados com o grupo I e II.

Nesse sentido, constatou-se variabilidade quanto à distribuição dos teores dos atributos químicos e físicos ao longo do estuário, indicando a renovação constante que as áreas estuarinas estão sujeitas em função dos regimes da maré atuante nas áreas estudadas.

6.7 Análise conjunta dos micronutrientes, metais pesados e atributos físicos do solo

Diante dos resultados existentes na matriz de correlação (Apêndice 6) que correlaciona os micronutrientes, metais pesados e os atributos físicos do solo, constata-se que existem correlações moderadas e significativas ($P < 0.05$).

Na matriz de correlação, verifica-se que a fração silte do solo possui fraca correlação negativa com o zinco (Zn^{+2}) com valor de -0.32, indicando que o valor de zinco eleva-se à medida que os teores de silte no solo diminuem, e os teores de zinco diminuem com o aumento do silte (Apêndice 6).

Ao se analisar a fração argila, verificou-se que esta possui moderada correlação positiva com as variáveis Cu^{+2} , Ni^{+2} , Cd^{+2} e Pb^{+2} , e correlação negativa com Cr^{+3} , com respectivos valores de 0.46, 0.54, 0.46, 0.35 e -0.39. Como a argila é fração ativa do solo, isso indica que esta fração é a responsável por adsorver grande parte dos metais pesados que possivelmente estejam em excesso no solo como constatado no (Apêndice 6).

Constata-se no (Apêndice 6) a correlação da argila com as seguintes variáveis: areia grossa, areia média, areia fina e areia muito fina, verifica-se que tais variáveis possuem correlação negativa com a argila com valores -0.32,

-0.54, -0.63 e -0.64 respectivamente. Indicando que se o estuário é argiloso, o mesmo tenderá a ter menores teores de areias.

Em relação aos teores de silte do solo, evidencia-se que esta variável se correlaciona negativamente com os seguintes parâmetros: densidade de partícula, areia muito grossa, areia grossa, areia média e areia fina com valores respectivos -0.39, -0.47, -0.48, -0.65 e -0.56. Nesse sentido, constata-se que o referido estuário possui maiores teores de silte, sendo, portanto, matéria prima sustentável na construção dos tanques usados para produção de sal.

No que se refere aos teores de areia muito grossa, verifica-se que está se correlaciona de forma positiva e está diretamente ligada com os teores de areia grossa que possui valor de 0.90, esta relação forte, indica que quando os teores de areia muito grossa são elevados em ambientes hipersalinos, fatalmente os teores de areia grossa também serão.

Ao se analisar a correlação entre a relação silte/argila com as variáveis Cu^{+2} , Ni^{+2} e Cd^{+2} , foi evidenciado moderada correlação negativa entre os referidos parâmetros analisados, com valores de -0.28, -0.28 e -0.34, respectivamente (Apêndice 6). Verificou-se correlação positiva entre a relação silte/argila e os metais pesados Mn^{+2} e Cr^{+3} , com valores respectivos 0.35 e 0.54, indicando que, se a relação silte argila for alta no solo, as concentrações de manganês e cromo no solo tendem a aumentar.

Quanto às variáveis areia média e areia fina, possuem fraca e moderada correlação negativa com Ni^{+2} e Cd^{+2} com valores de -0.31 e -0.47, respectivamente (Apêndice 6). Considerando que a fração areia do solo não possui carga de superfície que adsorva tais metais, torna-se importante o monitoramento dos referidos elementos no solo, levando-se em consideração as áreas com maiores teores de areia.

Vale ressaltar que o cromo possui moderada correlação positiva com areia muito fina, no entanto, ao se correlacionar a areia muito fina com o Cu^{+2} , Ni^{+2} e Cd^{+2} que possuem valores de -0.28, -0.30 e -0.42 constata-se que a correlação é negativa (Apêndice 6). Este comportamento indica que quanto maior o teor de areia muito fina no estuário, menor serão os valores de Cu^{+2} , Ni^{+2} e Cd^{+2} no solo.

Com relação aos resultados da análise fatorial observou-se que os três primeiros fatores contribuíram com autovalores com percentuais de explicação de 27.18, 19.34 e 13.28%, respectivamente (Tabela 9), desse modo, explicaram 59.81% da variância total dos dados.

Constata-se que as variáveis que contribuíram para a formação do fator 1 e a discriminação das áreas foram a areia fina (A. F) e o cádmio com cargas fatoriais negativas de 0,84 e 0,67, respectivamente (Tabela 9). Já na formação do fator 2 as variáveis que contribuíram com maiores cargas fatoriais, com correlação positiva foram as referentes ao fracionamento da areia, ou seja, a areia muito grossa, areia grossa e a areia média com escores de 0.87, 0.91 e 0.73, respectivamente. O fator 3 é formado pelas variáveis de maior carga fatorial sendo o Cu^{+2} , Zn^{+2} , Ni^{+2} e Pb^{+2} com correlação positiva com valores de 0.78, 0.72, 0.84 e 0.70 (Tabela 9).

Assim, constata-se que em áreas estuarinas os sedimentos que contribuem para a maior coesão das partículas são as areias finas e muito finas misturadas com agente cimentante, podendo ser o silte ou a argila presente no solo, conferindo uma extrema dureza quando seco.

Em relação à formação do fator 1 (Tabela 9) está dinâmica é evidenciada, pois foram os teores de areia que contribuíram para a discriminação das áreas em estudo, tais areias possivelmente podem ser consequência da erosão eólica que ocorre no continente e carrega pequenas partículas para dentro calha do rio.

Outra possibilidade que pode ser levantada é o tráfego de caminhões que existe nas salinas, quando combinado com o vento, esta ação antrópica, desagrega pequenas partículas que possivelmente irão sedimentar-se no rio.

Diante do exposto, vale ressaltar que ainda não se tem estudos que possam confirmar a contribuição do tráfego veicular nas salinas como agentes de desagregação de pequenas partículas, sendo necessário estudos que venham confirmar a hipótese levantada nesse texto.

Tabela 9. Fatores extraídos por componentes principais, destacando-se os atributos químicos e físicos do solo com cargas superiores a 0.70 (módulo), nas quatro profundidades 0.5, 1.0, 2.0 e 3.0 m, nas três áreas estudadas.

Micronutrientes e atributos físicos	Cargas Fatoriais		
	F1	F2	F3
Cu ²⁺	-0.02	-0.20	0.78
Fe ³⁺	0.03	0.05	0.21
Mn ²⁺	-0.06	-0.10	-0.24
Zn ²⁺	0.25	0.05	0.72
Cr ³⁺	0.13	-0.16	0.08
Ni ²⁺	-0.19	-0.26	0.84
Cd ²⁺	-0.67	0.20	0.44
Pb ²⁺	-0.50	0.05	0.70
Silte	-0.59	-0.63	-0.23
Argila	-0.46	-0.41	0.34
Silte/Argila	0.04	-0.12	-0.29
DP	0.18	0.54	-0.05
Areia muito grossa	-0.16	0.87	-0.11
Areia grossa	-0.12	0.91	-0.10
Areia média	0.38	0.73	-0.10
Areia fina	0.84	0.18	-0.01
Areia muito fina	0.64	0.12	-0.05
Autovalores	4.62	3.29	2.26
% variância	27.19	19.34	13.28
Variância Acumulada %	27.19	46.53	59.81

Nota: Cobre (Cu⁺²), Ferro (Fe⁺³), Manganês (Mn⁺²), Zinco (Zn⁺²), Cromo (Cr⁺³), Níquel (Ni⁺²), Cádmio (Cd⁺²) e Chumbo (Pb⁺²) todos expressos em mg/dm³, Areia, Silte, Argila, Silte/Argila (g/Kg), Densidade de Partícula (DP) em g/cm³, Areia muito fina (A. M. F.), Areia fina (A. F.), Areia média (A. M.), Areia Grossa (A. G) e Areia muito Grossa (A. M. G.) (g).

Estudos realizados por Winterwerp & Kesteren (2004) relatam que em solos estuarinos, os agentes de coesão podem estar relacionados com os teores de areia muito fina, argilominerais e a matéria orgânica do solo, neste sentido, os estudos dos referidos autores estão de acordo com os encontrados nesse trabalho.

Também é importante relatar que a argila e o silte, possuem correlação negativa com as areias de maior carga fatorial, isso significa que quanto mais areias no estuário menores serão os teores de silte e argila no solo.

No que se refere ao fator 2, observa-se que as maiores cargas fatoriais estão com sinal positivo, ou seja, quanto mais elevados os teores de areia muito grossa, areia grossa e areia média no estuário, menores serão os de Cu^{+2} , Mn^{+3} e Ni^{+2} no solo (Tabela 9). No entanto, pela pequena área superficial específica (ASE) das areias, constata-se que estas não possuem carga de superfície; nesse sentido, não são capazes de adsorver em sua superfície poluentes que possam vir acarretar danos ao meio ambiente.

No referente ao fator 3, este apresenta-se de forma complementar, porém, em função da baixa variância dos dados, as variáveis que não contribuíram para a formação dos fatores anteriores aparecem no referido fator, com destaque para o grupo dos metais pesados e micronutrientes que contribuíram com as maiores cargas fatoriais na formação do fator.

As variáveis Cu^{+2} , Zn^{+2} e Ni^{+2} possuem escores positivos de 0.78, 0.72 e 0.84 (Tabela 9) denotando tendência de que quando os teores dos referidos elementos aumentam no solo, os de Mn^{+2} e A. M. F. tendem a diminuir, nas áreas estuarinas.

Constata-se correlação negativa no fator 3 para as variáveis areia muito grossa, areia grossa e areia média quando correlacionadas com Cu^{+2} , Zn^{+2} e Ni^{+2} , nesse sentido, entende-se que as referidas variáveis não são disponibilizadas com o aumento do teor de areia no estuário (Tabela 9).

A argila é a fração ativa no solo; nesse sentido esta variável é muito importante na adsorção de metais pesados, em função da sua grande área superficial. Na Tabela 8 verifica-se que a argila tem correlação positiva com Cu^{+2} , Zn^{+2} e Ni^{+2} . Assim, é necessária a manutenção de bons níveis de argila no solo para garantir a despoluição natural de baixos níveis de metais presentes no solo estuarino.

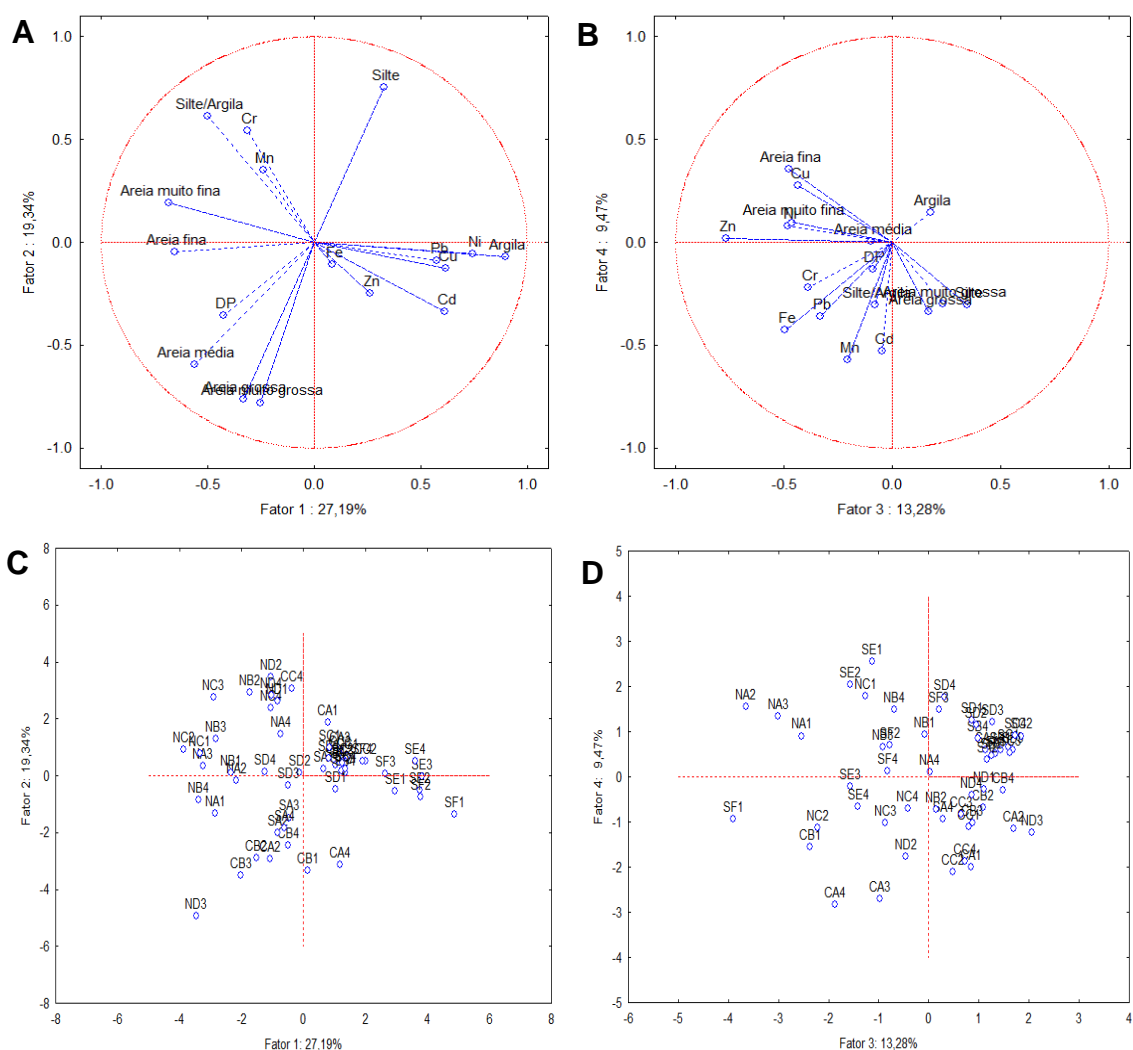
Quanto ao plano fatorial formado por F1 e F2 (Figura 19 A), verifica-se que as variáveis que contribuíram com as maiores cargas fatoriais para a discriminação das áreas em relação aos micronutrientes, metais pesados e atributos físicos foram a areia fina (A. F) e a Areia muito Fina (A. M. F).

Verificou-se correlação positiva, levando em consideração o deslocamento horizontal para F1, e o deslocamento vertical para F2 com as

variáveis de maior peso fatorial sendo a areia muito grossa, areia grossa e areia média, analisando-se todas as três áreas ao mesmo tempo.

Ao se considerar o deslocamento horizontal em relação a F3, constata-se que o cobre, zinco e níquel possuem a maior carga fatorial (Figura 19 B).

Figura 19. Representação do plano fatorial F1 x F2 e F3 x F4: (A), (B), (C) e (D) dos micronutrientes, metais pesados e atributos físicos com cargas fatoriais superiores a 0.70 (módulo).



Fonte: Compilação do autor (2018).

Levando-se em consideração as variáveis como o cromo, zinco e ferro, não influenciaram com cargas fatoriais altas e as referidas variáveis possuem baixas concentrações no solo (Figuras 19 A e B), deste modo, não sendo

possível o uso das mesmas, quando utilizadas com o intuito de discriminar áreas hipersalinas nas condições deste estudo.

De modo geral, as áreas estudadas revelaram não serem influenciadas pelas variáveis analisadas, no entanto, os pontos amostrais que tiveram as maiores concentrações de argila, níquel e o fracionamento das areias foram: SE1, SE2, SE3, SE4, SA2, CB2, CB3, CB4, SF2 e ND3 (Figura 19 C).

No que se refere às menores concentrações de areia fina, foram obtidas nos pontos amostrais: NA1, NA2, NA3, NB1, NB4, NC1 e NC2. Assim, confirma-se que a área localizada na foz do estuário analisado tem dinâmica de interiorizar os sedimentos flúvio marinhos que descem do continente para o mar e dos sedimentos que vem do mar para o continente fato este já esperado (Figura 19 C).

No geral, diante dos resultados aqui obtidos, a leitura horizontal para o fator 3 os pontos amostrais com menores concentrações de Cd^{+2} , Mn^{+2} e Fe^{+3} são: SD4, SF3, NB4, NC1, SE1, SE2, ND3 e SF2 localizando-se no sentido contrário dos componentes principais das referidas variáveis plotadas no plano fatorial (Figura 19 D), em que as áreas não discriminaram os ambientes, evidenciado a semelhança entre as áreas de estudo ao longo do estuário.

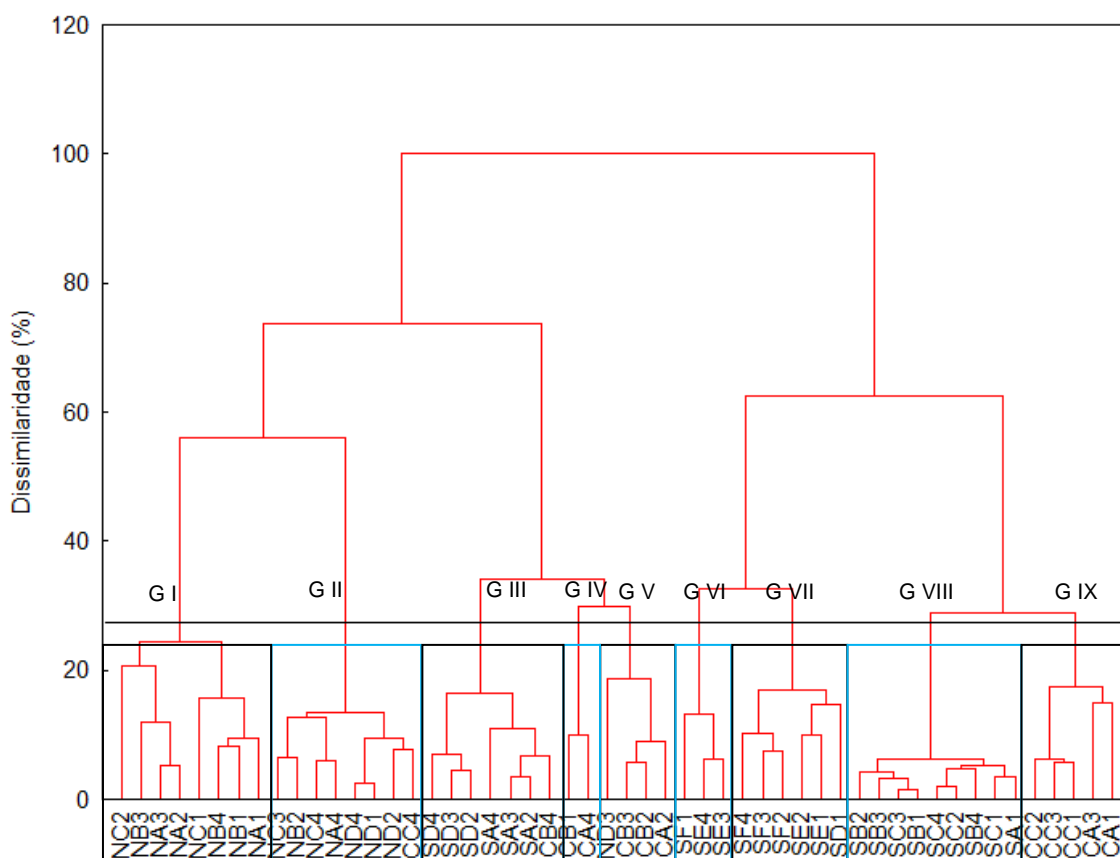
Quanto aos resultados da análise Cluster (Análise de Agrupamento- AA) de carga fatorial superior a 0.70 dos micronutrientes, metais pesados e atributos físicos do solo (Figura 20), considerou-se a linha de corte a 30% de alcance da dissimilaridade, com esse corte, observa-se a formação de nove grupos distintos I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII e IX. Nesse sentido, os pontos amostrais agrupadas no mesmo cluster são considerados muito semelhantes, ou seja, não dissimilares, homogêneos dentro do grupo, no que se refere aos teores de micronutrientes, metais pesados e atributos físicos do solo para as condições dessa análise.

Ao realizar a análise fatorial (AF) (Tabela 9) e a análise de agrupamento (AA) (Figura 20), verificaram-se resultados diferentes. Na análise fatorial houve a formação de seis grupos, no entanto, foram utilizados somente três para discussão dos resultados. Considerando-se que a análise de agrupamento, por se tratar de uma análise exploratória, observou-se discriminação das áreas em

diferentes grupos no que diz respeito à variação espacial dos micronutrientes, metais pesados e atributos físicos do solo.

Na formação do grupo I há a predominância dos pontos amostrais referentes à área N (Figura 20), com contribuição de oito pontos amostrais para a concepção do referido grupo. Nesse sentido, é possível verificar as características particulares da referida área, no que diz respeito às variáveis supracitadas.

Figura 20. Dendrograma das áreas agrupadas, com base na dissimilaridade e altura de corte de 30 %, de acordo com os micronutrientes, metais pesados e atributos físicos de cargas fatoriais a 0,70 (módulo).



Fonte: Compilação do autor (2018).

Pela predominância dos pontos da área N na formação do grupo I, este comportamento reforça a tese de que ao estudar os atributos conjuntamente, em função das particularidades de cada área, constata-se que a área S serve

como zona de transição, em função dos meandros do Rio Apodi-Mossoró serem mais acentuados nessa zona de estudo.

Para a formação do grupo II (Figura 20), constatou-se novamente predominância quanto às quantidades de pontos amostrais agrupados, os quais foram oito pontos da área N, indicando que mesmo estando no extremo do estuário, suas características são particulares no que se refere à física, micro e metais pesados no solo.

Já para o grupo III, como resultado da análise de agrupamento, pode ser observado que a área S, localizada no médio estuário, contribuiu para a distinção dos ambientes, porém, houve a contribuição de um ponto referente à área de estudo C (Figura 20).

Nos grupos IV, V e VI (Figura 20) constata-se que foram formados em função das maiores concentrações de micronutrientes, metais e atributos físicos em todas as áreas estudadas, ou seja, C, S e N, uma vez que constatou-se particularidades nas concentrações das variáveis analisadas por este estudo e equilíbrio quanto à quantidade de pontos amostrais para a formação dos grupos em discussão.

O grupo VII agrupou-se com as amostras da área S, verificando-se que as amostras mais superficiais foram as que contribuíram para a separação das áreas, pelo fato de terem uma menor distância de ligação que as une.

No que se refere ao grupo VIII evidencia-se que foi o maior grupo formado, isso permite-nos, inferir que as amostras que pertencem a área S, apesar de serem coletadas na zona de transição, em relação aos resultados dos micronutriente, metais pedados e atributos físicos, possuem concentrações muito semelhantes.

Por fim, observa-se na (Figura 20) que o grupo IX, formou-se com amostras da área C, sendo assim, verifica-se que a referida área possui particularidades que contribuíram para o agrupamento, os pontos que possuem maior semelhança nas concentrações dos micronutrientes, metais pesados e atributos físicos foram: CC1, CC2, CC3, CA1 e CA3.

6.8 Análise de correlação canônica entre os atributos químicos e físicos do solo

Na Tabela 10, constata-se as correlações e os pares canônicos estimados entre os atributos químicos e físicos do solo, sendo estes importantes na investigação das máximas correlações entre um conjunto de dados analisados aos pares.

Tabela 10. Correlação canônica e pares canônicos entre os atributos químicos e físicos do solo.

Grupos	Pares Canônicos			
	1	2	3	
Atributos Químicos	pH	-0.12	0.63	0.36
	CE (1: 2.5 dS m ⁻¹)	-0.21	0.52	0.23
	N (g/ Kg ⁻¹)	-0.16	-0.06	-0.64
	Mat.Org.(mg dm ⁻³)	0.33	-0.33	0.57
	P (mg dm ⁻³)	-0.03	-0.27	-0.32
	Na ⁺ (Cmol _c dm ⁻³)	-2.66	-3.10	-8.70
	K ⁺ (Cmol _c dm ⁻³)	0.41	-1.36	0.58
	Cl ⁻ (g dm ⁻³)	-0.65	-0.88	0.04
	Ca ²⁺ (Cmol _c dm ⁻³)	-0.34	-0.85	-1.54
	Mg ²⁺ (Cmol _c dm ⁻³)	0.05	-0.56	-1.10
	CTC (Cmol _c dm ⁻³)	1.63	5.78	7.56
	PST (%)	0.28	0.53	-0.77
	RAS 1:2,5 (mmol _c L ⁻¹)	0.60	0.12	0.74
	RAK 1:2,5 (mmol _c L ⁻¹)	-0.58	-0.10	0.15
	RCaT(mmol _c L ⁻¹)	-0.36	-0.21	0.55
	RMgT(mmol _c L ⁻¹)	0.70	-0.94	0.80
RKT(mmol _c L ⁻¹)	0.19	-0.87	0.89	
Atributos Físicos	Silte (g/Kg)	-0.11	0.53	2.78
	Argila(g/Kg)	0.06	-1.86	2.93
	Silte/Argila	0.22	-1.03	-0.06
	DP (g cm ⁻³)	0.16	0.22	0.34
	Areia muito grossa (g)	0.32	0.06	0.31
	Areia grossa (g)	0.07	-0.33	1.34
	Areia média (g)	0.25	0.04	1.35
	Areia fina (g)	0.42	-0.68	1.65
Areia muito fina	0.22	-0.41	0.76	
R	0.91**	0.73	0.69	
Significância	0.00	ns	ns	

Nota: ** significativo a 1%, ns: não significativo. Potencial Hidrogeniônico (pH_(água)), Condutividade elétrica (CE_{es}), Nitrogênio (N), Matéria Orgânica (Mat.Org.), Fósforo (P⁺), Potássio (K⁺), Sódio (Na⁺), Cálcio (Ca²⁺), Magnésio (Mg²⁺), Capacidade de Troca de Cátions (CTC), Percentagem de Sódio Trocável (PST %), Cloreto (Cl⁻), Relação de adsorção de Sódio (RAS 1:2.5), Relação de adsorção de Potássio (RAK 1:2.5), Relação de Cálcio Trocável (RCaT 1:2.5), Relação de Magnésio Trocável (RMgT 1:2.5), Relação de Potássio Trocável (RKT 1:2.), Areia, Silte, Argila, Silte/Argila, Densidade de Partícula (DP, Areia muito fina (A. M. F.), Areia fina (A. F.), Areia média (A. M.), Areia Grossa (A. G) e Areia muito Grossa (A. M. G.).

Diante dos resultados aqui encontrados, pode-se observar que apenas o primeiro par canônico é significativo a probabilidade de 0,0001. No entanto, o segundo e o terceiro par possui correlação canônica alta, mesmo não sendo significativo pelo teste de Lambda Wilk's (Tabela 10), desse modo os referidos pares não serão considerados por este estudo.

Também se verifica que a correlação canônica do primeiro par é elevada (0,91) e que os grupos em análise não são independentes. Nesse sentido, o sinal negativo nos Coeficientes Canônicos (CC) dos atributos químicos e da argila indicam que tais características são semelhantes nas áreas estudadas, sendo, portanto, considerados atributos supressores.

Nesse contexto, pode-se observar que as associações intergrupais são estabelecidas pela influência das seguintes variáveis:

i) O primeiro par canônico, com correlação de 0,91, associa os atributos químicos, então para que o solo tenha altos níveis de Na^+ (-2,66) é necessário que o solo tenha baixos teores de Areia Fina (A.F= 0,42).

ii) Verifica-se que a Capacidade de Troca de Cátions (CTC = 1,63) é a variável que possui alta correlação canônica com a areia fina (A.F= 0,42), em função do seu poder de agregação quando em contato com a argila.

iii) A Relação de Magnésio Trocável (RMgT= 0,70) comportou-se como a variável que contribuiu na maximização da correlação em função dos teores de areia fina presentes no solo do estuário em estudo (Tabela 10).

Ainda na literatura atual, são poucos os pesquisadores (Baretta et al., 2008; Costa et al., 2009; Scipioni et al., 2010) que aplicam a análise canônica como ferramenta de auxílio na interpretação das relações existentes entre as variáveis obtidas no campo.

Quando se trata do uso da referida análise aplicada a solos hipersalinos, não se tem registros de trabalhos nesse campo do conhecimento científico, sendo, nesse sentido, importante à aplicação desse método de análise como um incentivo aos futuros pesquisadores que estudam solos hipersalinos.

6.9 Análise da correlação canônica entre os atributos químicos e físicos do solo

Verifica-se que apenas o par canônico 1 é significativo (a $p < 0,0001$) pelo teste de Lambda Wilk's (Tabela 11). Sendo assim, os demais pares canônicos formados, por não serem significativos, não serão levados em consideração no decorrer das discussões geradas neste trabalho.

Tabela 11. Correlação canônica e pares canônicos entre os atributos físicos, micronutrientes e metais pesados do solo.

Grupos	Pares Canônicos			
	1	2	3	
Atributos Físicos	Silte	2.24	-0.42	2.55
	Argila	3.79	-0.03	2.67
	Silte/Argila	0.3	0.62	0.29
	DP	-0.12	0.13	-0.3
	Areia muito grossa	0.36	-0.35	-0.01
	Areia grossa	1.07	0	0.83
	Areia média	1.25	-0.16	0.76
	Areia fina	1.9	-0.6	2.15
	Areia muito fina	1.39	-0.84	1.28
Micronutrientes e metais pesados	Cu ⁺²	0.11	0.22	-0.67
	Fe ⁺³	0.14	-0.29	0.18
	Mn ⁺²	-0.26	0.6	0.19
	Zn ⁺²	0.19	-0.84	-0.22
	Cr ⁺³	-0.72	0.03	-0.22
	Ni ⁺²	0.23	0.61	1.07
	Cd ⁺²	-0.39	0.52	-1.48
	Pb ⁺²	0.43	-0.12	0.84
	R	0.72**	0.6	0.51
Significância	0.0016	ns	ns	

Nota: ** significativo a 1%, ns: não significativo. Areia, Silte, Argila, Silte/Argila (g/Kg), Densidade de Partícula (DP) em g/cm³, Areia muito fina (A. M. F.), Areia fina (A. F.), Areia média (A. M.), Areia Grossa (A. G) e Areia muito Grossa (A. M. G.) (g). Cobre (Cu⁺²), Ferro (Fe⁺³), Manganês (Mn⁺²), Zinco (Zn⁺²), Cromo (Cr⁺³), Níquel (Ni⁺²), Cádmiio (Cd⁺²) e Chumbo (Pb⁺²) expressos em mg dm⁻³.

Constou-se que a correlação canônica do primeiro par é elevada (0,72) e que os grupos formados pelos atributos físicos, micronutrientes e metais pesados, em análise, possuem dependência entre si (Tabela 11). Também se observou a presença de sinal negativo nos Coeficientes Canônicos (CC) das referidas variáveis, indicando tendência de que estas são homogêneas, ao longo das áreas estudadas, sendo, portanto, atributos que podem não ser levados à discussão.

Assim, constata-se que os resultados presentes na Tabela 11, são a expressão das associações dentro dos grupos formados possuindo contribuição das seguintes variáveis:

i) No par canônico 1, observou-se que a correlação é alta com valor de (0,72), associando os atributos físicos, micronutrientes e metais pesados, permitindo-nos inferir que em um solo com altos níveis de silte (2,24) estão associados a níveis de baixos de cobre (0,11) e a baixos níveis de cromo (-0,72);

ii) Em solos estuarinos argilosos, verifica-se que a argila (3,79), possui forte correlação positiva com os teores de cobre e negativa com os de cromo. A referida correlação é explicada pelo fato da argila possuir a capacidade de adsorver cátions que estejam no complexo de troca;

iii) Os teores baixos de cobre no solo encontram-se associados à baixa quantidade de areia muito fina, significando que o cobre pode ser transportado junto com as areias que são carregadas do continente para a calha do rio.

Ainda é necessário ressaltar que os teores de metais pesados encontrados no solo do estuário do Rio Apodi-Mossoró pode ter relação com a deposição de materiais proibidos diretamente ao longo do leito do rio, a exemplo das oficinas mecânicas localizadas praticamente dentro do mesmo, nas proximidades do centro da cidade da cidade de Mossoró, por exemplo.

6.10 Análise da correlação canônica entre os atributos químicos, micronutrientes e metais pesados do solo

As correlações canônicas e os pares canônicos presentes na Tabela 12 são resultados da maximização da correlação entre os atributos químicos, micro e metais pesados do solo. Verificou-se que todos os seis pares canônicos formados são significativos ($p < 0,0001$), indicando que as referidas variáveis obtidas em campo possuem dependência dentro de cada par canônico.

Assim, os resultados aqui encontrados (Tabela 12) são a maximização da correlação canônica dentro dos grupos formados, possuindo contribuição das seguintes variáveis:

i) Para a máxima correlação no par canônico 1, foi verificado elevado fator de explicação, com valor de 0,97, quando correlacionamos os atributos químicos, micronutrientes e metais pesados evidenciando que o Na^+ é o elemento que possui forte correlação positiva com as variáveis CTC, RAS e Ni^{+2} . Confirmando que um solo com valores baixos de Na^+ , terá menor CTC e menor RAS, pois o Ca^{+2} e Mg^{+2} são antagônicos no sítio de troca da micela da argila e o Ni ficará indisponível na solução do solo;

ii) No par canônico 2, constata-se um poder de explicação de 0,87, evidenciando que o cloreto (Cl^-) e a Relação de Cálcio Trocável (RCaT) possuem alta correlação com a disponibilização de Ferro (Fe^{+2}) e Chumbo (Pb^{+2}) na solução do solo, nas condições desse estudo;

iii) Para a formação do par canônico 3, verifica-se que houve explicação de 0,85 para a correlação entre as variáveis, observando-se maiores coeficientes canônicos nas variáveis cloreto e relação de cálcio trocável, correlacionadas positivamente com o níquel e negativamente com o chumbo, evidenciando que o cloreto e o quantidade de cálcio em solução contribuem para a diminuição dos teores de chumbo nos solos hipersalinos;

Tabela 12. Correlação canônica e pares canônicos entre os atributos químicos micro e metais pesados do solo.

Grupos		Pares Canônicos					
		1	2	3	4	5	6
Atributos Químicos	pH	0.00	0.18	-0.15	0.09	-1.02	0.43
	CE	0.41	-0.48	1.21	-1.23	-0.94	-0.64
	N	0.02	-0.03	0.20	0.21	0.03	-0.25
	Mat.Org.	0.05	0.11	-0.01	0.39	0.03	-0.06
	P	0.001	-0.19	0.20	-0.18	-0.07	0.25
	Na ⁺	0.89	-1.94	1.57	-5.53	3.36	7.95
	K ⁺	-0.09	1.24	-0.86	-0.04	0.48	-0.63
	Cl ⁻	-0.20	2.40	0.09	1.38	1.10	1.17
	Ca	0.06	0.19	0.12	-0.61	0.18	1.11
	Mg	0.15	-1.52	-1.38	0.82	0.13	0.99
	CTC	0.72	0.09	-0.12	3.59	-2.90	-6.94
	PST	0.15	-0.45	0.27	-0.28	-0.50	-0.51
	RAS 1:2,5	0.64	-0.43	-0.45	-0.55	-0.56	-0.56
	RAK 1:2,5	0.18	-0.22	0.28	-0.04	-0.62	-0.60
	RCaT	0.04	1.15	-0.48	-0.04	0.52	-0.59
	RMgT	0.03	-0.36	-0.01	1.86	-0.92	-0.38
RKT	0.10	0.86	-0.57	0.23	0.30	0.14	
Micro e metais pesados	Cu ⁺²	0.12	0.08	0.19	-0.26	0.18	-0.71
	Fe ⁺³	0.04	0.52	-0.33	0.07	0.27	-0.72
	Mn ⁺²	0.02	-0.28	-0.17	-0.90	-0.49	-0.37
	Zn ⁺²	-0.30	-0.24	-0.22	-0.14	0.96	0.36
	Cr ⁺³	0.10	-0.50	0.10	0.06	0.31	0.55
	Ni ⁺²	0.91	0.13	0.53	-0.20	-0.33	0.70
	Cd ⁺²	0.00	0.19	-0.44	-0.57	0.12	1.47
	Pb ⁺²	0.18	-0.62	-0.57	0.84	-0.38	-1.23
R	0.97**	0.87**	0.85**	0.77**	0.68**	0.59**	
Significância	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	

Nota: ** significativo a 1%, ns: não significativo. Potencial Hidrogeniônico (pH_(água)), Condutividade elétrica (CE_{es} 1: 2.5 dS m⁻¹), Nitrogênio (N g/ Kg⁻¹), Matéria Orgânica (M.O dag Kg⁻¹), Fósforo (P⁺ mg dm⁻³), Potássio (K⁺ Cmol_c dm⁻³), Sódio (Na⁺ Cmol_c dm⁻³), Cálcio (Ca²⁺ Cmol_c dm⁻³), Magnésio (Mg²⁺ Cmol_c dm⁻³), Capacidade de Troca de Cátions (CTC Cmol_c dm⁻³), Percentagem de Sódio Trocável (PST %), Cloreto (Cl⁻ g dm⁻³), Relação de adsorção de Sódio (RAS 1:2.5 mmmol_c L⁻¹), Relação de adsorção de Potássio (RAK 1:2.5 mmmol_c L⁻¹), Relação de Cálcio Trocável (RCaT 1:2.5 mmmol_c L⁻¹), Relação de Magnésio Trocável (RMgT 1:2.5 mmmol_c L⁻¹), Relação de Potássio Trocável (RKT 1:2.5 mmmol_c L⁻¹). Cobre (Cu⁺²), Ferro (Fe⁺³), Manganês (Mn⁺²), Zinco (Zn⁺²), Cromo (Cr⁺³), Níquel (Ni⁺²), Cádmio (Cd⁺²) e Chumbo (Pb⁺²) expressos em mg dm⁻³

iv) Com a formação do par canônico 4, houve explicação de 0,77, onde a CTC e a RMgT, contribuíram para discriminar o grupo dentro do referido par. Ao serem correlacionadas com Mn^{+2} e Cd^{+2} , verificou-se correlação negativa, confirmando a tendência de que em solos com alta CTC e RMgT na solução do solo em alta concentração, possivelmente ocasionará a disponibilização do Cd^{+2} no solo hipersalino;

v) O par canônico 5, é explicado com acerto de 0,68, observando-se que o pH e a RMgT, possuem correlação negativa com o Zn^{+2} , ou seja, em solos com pH alcalino e o complexo de troca saturado com RMgT, os metais pesados tendem a ficar fora do complexo sortivo, podendo se tornar um risco ao meio ambiente estuarino e;

vi) O último par canônico formando foi o 6, com explicação de 0,59. No referido grupo observa-se que o Na^+ e o Ca^{2+} possuem correlação positiva entre si e negativa com o Cu^{+2} e Pb^{+2} . Isso implica que, em solo hipersalino com altas concentrações de Na^+ é necessário muito Ca^{2+} para equilibrar a dupla camada difusa, isso por que o Na^+ tem um grande raio hidratado.

Diante do exposto, fica evidente que em função da camada com elevada concentração do sódio, se necessitará de alta concentração do cálcio para balancear o complexo sortivo e, conseqüentemente, o cobre e o chumbo ficarão livres em solução, podendo ocasionar danos ambientais.

6.11 Análise discriminante entre os atributos químicos, físicos, micronutrientes e metais pesados do solo

No presente trabalho, não havia conhecimento dos grupos que se formariam com os resultados da análise de Cluster, nesse sentido, aceitou-se os grupos obtidos em função da maior semelhança, sendo aqueles que naturalmente ocorreriam como representação das três áreas estudadas. Assim, obteve-se a matriz de classificação para os pontos amostrais analisados em cada grupo e a percentagem de acerto (Tabela 13) em relação à classificação anteriormente definida na análise de Cluster.

Tabela 13. Avaliação do grau de acerto na classificação das amostras dos três grupos por meio das funções de classificação da análise discriminante.

Grupos	Total de amostras	Classificação correta			% de acerto
		C	S	N	
C	12	12	1	0	100.00
S	24	0	23	1	95.83
N	16	0	0	16	100.00
Média geral					98.07

Nota: Área de estudo C, Área de estudo S, Área de estudo N.

Em média, 98,07% dos pontos amostrais foram agrupados nos grupos previamente definidos, aferindo-se que os grupos formados são distintos entre si, contudo, em média, 1,93% poderiam compor grupos diferentes daqueles em que foram inicialmente previamente classificados (Tabela 13).

Verifica-se que a percentagem de acerto não foi o ideal, porém, constata-se que a formação dos grupos possui consistência para a confirmação dos valores obtidos para a concentração de Nitrogênio (N), Sódio (Na^+), Cálcio (Ca^{+2}), Magnésio (Mg^{+2}), Relação de Magnésio Trocável (RMgT), Densidade de partícula (Dp) e Areia Muito Fina (A. M. F) em cada grupo (Tabela 13).

Em seus estudos, Fadigas et al. (2006), acerca dos valores de referência de atributos do solo, encontrou classificação da média geral em torno de 89.03%, no entanto, considerou esta percentagem de classificação satisfatória para a validação dos seus resultados.

As funções de classificação (Tabela 14) podem ser usadas para determinar a que grupo uma nova amostra tem maior probabilidade de pertencer e, em geral, os novos casos são classificados no grupo para o qual a função de classificação correspondente resulta no maior valor (Statsoft, 1999, apud Fadigas et al.,2006).

Tabela 14. Funções de classificação das amostras obtidas pela análise discriminante para a classificação das amostras nos grupos previamente formados.

$$Y_c = 11.54 * (N) - 0.19 * (Na^+) + 0.10 * (Ca^{+2}) + 0.83 * (Mg^{+2}) + 3.91 * (RMgT) + 0.19 * (Dp) - 2.51 * (A. M. F) - 13.05$$

$$Y_s = 24.92 * (N) - 0.33 * (Na) + 0.22 * (Ca^{+2}) + 1.58 * (Mg^{+2}) + 6.55 * (RMgT) + 0.16 * (Dp) - 6.66 * (A. M. F) - 31.70$$

$$Y_n = 26.65 * (N) - 0.44 * (Na^+) + 0.27 * (Ca^{+2}) + 1.79 * (Mg^{+2}) + 8.19 * (RMgT) + 0.14 * (Dp) - 7.71 * (A. M. F) - 39.39$$

Nota: **Yc:** Função discriminante da área C, **Ys:** Função discriminante da área S, **Yn:** Função discriminante da área N.

A rotina de utilizar a função de classificação pode ser de grande importância na avaliação de áreas sujeitas a hipersalinidade, acúmulo de metais pesados e para o monitoramento de áreas onde se desenvolvem atividades agrícolas ou salineiras em áreas de estuários.

Amostras de solo coletadas ao longo do estuário do Rio Apodi-Mossoró, caso a concentração natural não possa ser determinada em laboratório, podem ser classificadas com o auxílio das funções discriminantes citadas anteriormente (Tabela 14).

De posse dos valores de referência, para uma determinada área de estudo, pode-se utilizar as funções de classificação geradas para cada área de abrangência do estudo para comparar com os resultados obtidos em laboratório.

Esta comparação permite verificar se em determinada área há ou não motivos para desconfiar de altas concentrações de elementos acima das concentrações naturais, em função das variáveis de solo que compõem as funções discriminantes (Tabela 14) analisadas na classificação dos pontos amostrais de cada área estudada.

6.12 Comportamento espacial das variáveis analisadas

A distribuição espacial dos atributos químicos e físicos do solo em estuário hipersalino é influenciada por interações ainda não totalmente elucidadas, no que se refere aos processos de formação do solo.

Nesse contexto, ao se aplicar a geoestatística com o intuito de observar a variação espacial das variáveis pH, CE, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , Ni^{+2} , Cu^{+2} e argila

(Figuras 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 e 28), observou-se que com exceção do sódio (Figura 25) para todas as variáveis tiveram a mesma tendência de distribuição ao longo do estuário em análise. Isso pode ser verificado, quando todas as variáveis comportaram-se com maior concentração na parte mediana do estuário, ou seja, na área S, que está localizada a aproximadamente 10 km do oceano. Já nas demais áreas C e N, situadas a aproximadamente 18 e 3 km do oceano, respectivamente, a distribuição espacial foi semelhante, exceto para o sódio, como citado anteriormente.

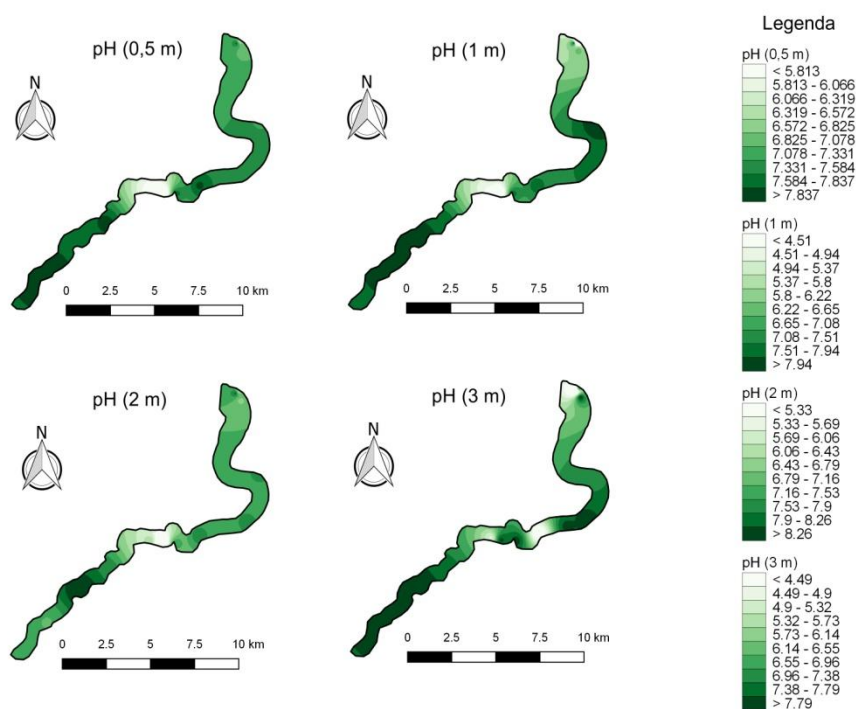
Ocorreu ainda dependência espacial entre as variáveis, constatando-se que as áreas próximas do oceano possuem dinâmica que tende a promover a diluição da concentração das mesmas e ao entrar no estuário possuem dinâmica de maior concentração dos elementos analisados por esse estudo.

Constata-se semelhança na distribuição espacial dos parâmetros em todas as profundidades analisadas, considerando, de modo geral, que existe uma pequena tendência de variação vertical ao longo do perfil do solo em profundidade. Assim, o estuário em análise possui elevada influência do regime da maré, que possibilita a entrada de água do mar em locais que só são banhados apenas nas marés de sizígia. Com o início da vazante, as águas ficam represadas e sujeitas a maior evaporação e, conseqüentemente, maior concentração de sais no solo.

Ao se analisar os mapas de krigagem (Figura 21), percebe-se a variação espacial do pH nas quatro profundidades analisadas na área do estuário do Rio Apodi-Mossoró, ou seja, há semelhança no padrão de ocorrência, comprovando que a variável possui correlação espacial na área em estudo.

Com relação aos atributos do solo referentes, à disponibilidade de elementos, o pH do solo tem alta correlação contudo, na grande maioria dos trabalhos (Cerri & Magalhães, 2012; Zonta et al., 2014) encontrados na literatura se observou menor variação no espaço. Nesse sentido, constatou-se na profundidade de três metros o menor pH com valor de 4.49. Nesse sentido, na área de pH encontrado, o solo é classificado como de alta acidez, impossibilitando o desenvolvimento de espécies vegetais, bem como a colonização da fauna típica de áreas estuarinas.

Figura 21. Variabilidade espacial do pH no estuário do Rio Apodi-Mossoró nas profundidades 0.5, 1.0, 2.0 e 3.0 metros.



Fonte: Compilação do autor (2018).

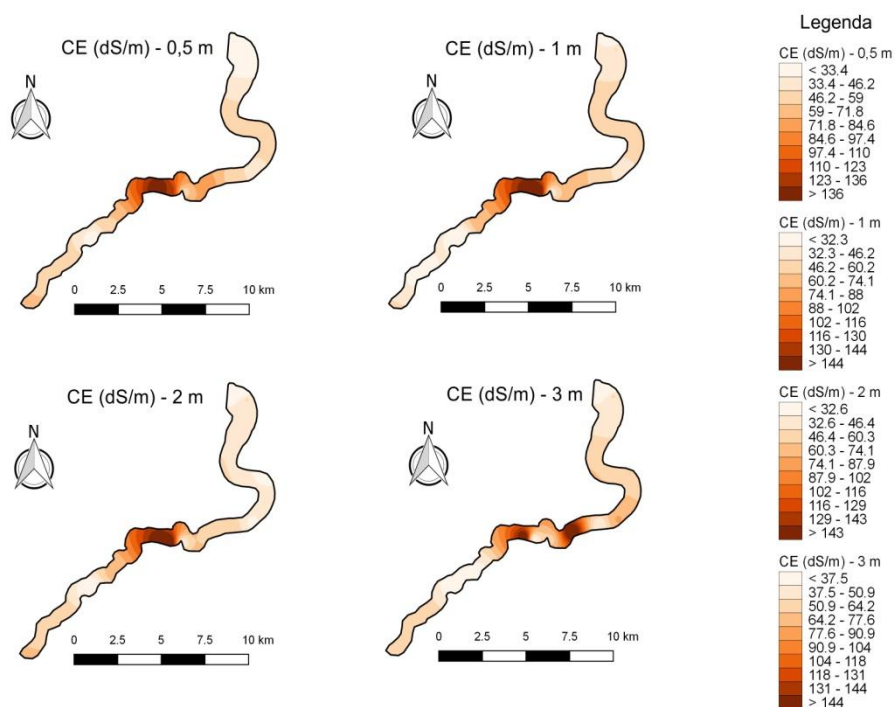
No geral, a área de estudo S, tem os maiores teores de pH (Figura 21) em todas as profundidades, dessa forma, para se compreender os motivos da variação deste no solo, é necessário ter conhecimento dos fatores que atuam na referida área.

Vale ressaltar que a diminuição do pH em profundidade pode estar relacionada a menor quantidade de bases trocáveis nessas regiões do solo (Costa et al., 2007), em função da maior concentração de cálcio e magnésio estarem em superfície, pois existe a dinâmica de redução dos teores das bases trocáveis à medida em que se aumenta a profundidade. Os resultados encontrados por este estudo concordam com Amado et al., 2009 e Dalchiavon et al., (2012).

Para a variável condutividade elétrica para o solo do estuário do Rio Apodi-Mossoró nas quatro profundidades (Figura 22), verifica-se que a menor contribuição de cátions na CE, foi constatada na profundidade de 1.0 m, com

valor de 32.3 dS/m; já a maior CE, foi evidenciado nas profundidades 1.0 e 3.0 m, com valores de 144 dS/m.

Figura 22. Variabilidade espacial da condutividade elétrica - CE no estuário do Rio Apodi-Mossoró nas profundidades 0,5, 1.0, 2.0 e 3.0 metros.



Fonte: Compilação do autor (2018).

A CE pode ser um importante parâmetro no auxílio de encontrar variação no pH como com indicativo de acidez presente no solo e disponibilidade de nutrientes nas condições preconizadas por este estudo, permitindo identificar áreas homogêneas, fomentando informações que contribuam no manejo racional de áreas estuarinas, possibilitando o uso sustentável desse ecossistema diferenciado.

Constatou-se que os maiores valores de CE, estão situados na área S, este comportamento pode estar relacionado, com a área de coleta do solo, pois existe uma grande extensão de terra desprovida de vegetação. É importante reforçar que a região que abrange a área estudada passou por um período prolongado de seca de seis anos, fato estes que contribuiu para acelerar o processo de concentração de sais nessa zona do estuário.

Outra possibilidade levantada é que na área em discussão, uns quarenta anos atrás, existia uma salina artesanal instalada, o que pode ter acelerado o processo de concentração de bases que contribuem para a alta CE, indicando que em áreas já implantadas com salinas, esta atividade é uma das mais viáveis para o aproveitamento sustentável do estuário.

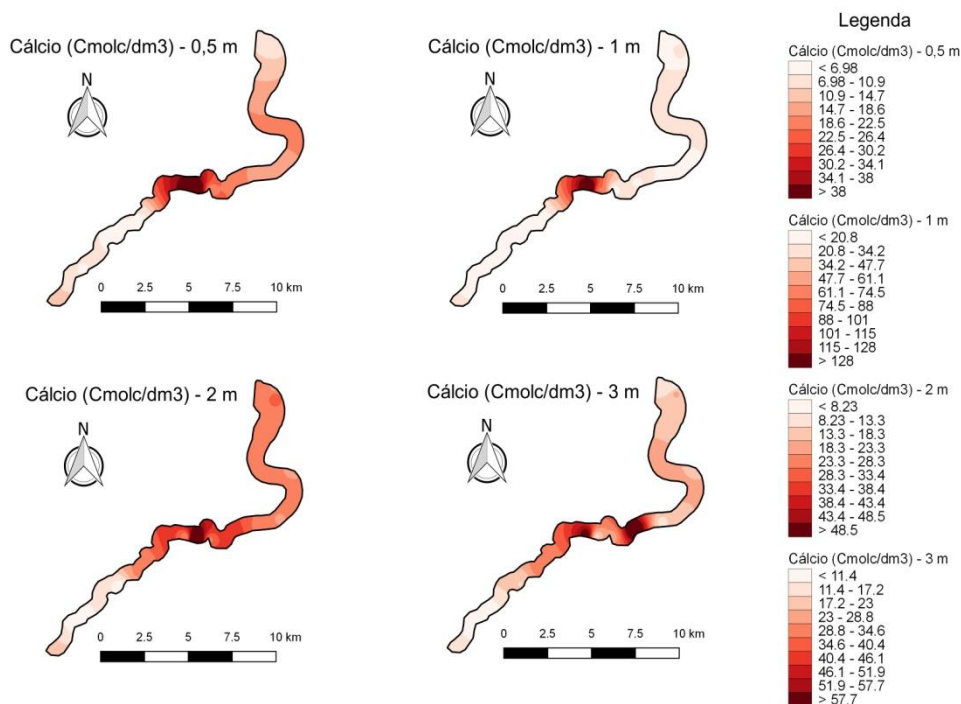
Nas zonas próximas a foz, os teores de CE comportaram-se com tendência de diminuição (Figura 22), possivelmente em função da maior capacidade da água do mar proporcionar a separação dos cátions que promovem superior valor da CE, ou seja, a água do mar dilui os sais presentes nas áreas próximas à foz. Em seus estudos por Vieira et al. (2010) e Molin & Rabello (2011), encontraram valores com tendência semelhante aos da pesquisa em estudo.

No que se refere à variabilidade espacial para o cálcio (Figura 23), de modo geral, constatou-se variação de 6,98 a 128 $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ do referido macronutriente. O cálcio é um atributo de fertilidade do solo, sendo parâmetro importante para neutralizar a acidez do solo.

Contata-se nos mapas de krigagem, que os teores de Ca^{2+} são homogêneos em toda a área de abrangência, do referido estudo. No entanto, a elevada acidez (Figura 21) para as profundidades 0,5 e 3,0 m ($4,4 < \text{pH} < 5,8$) evidenciam a necessidade de equilíbrio nas teores de bases trocáveis, com intuito de homogeneizar a fertilidade do solo, propiciando o povoamento com espécies halófitas.

Nesse sentido, os teores de Ca^{2+} encontrados podem atuar na redução da acidez do solo, melhorando o crescimento das raízes, aumento da atividade microbiana, ampliando a disponibilidade de molibdênio (Mo) e contribuir na redução da toxidez do alumínio (Al^{3+}), cobre (Cu^{+2}) e manganês (Mn^{+2}).

Figura 23. Variabilidade espacial do cálcio no estuário do Rio Apodi-Mossoró nas profundidades 0,5, 1.0, 2.0 e 3.0 metros.



Fonte: Compilação do autor (2018).

Por se tratar de um macronutriente pouco móvel no solo é evidente que os maiores teores de cálcio estão em seus primeiros centímetros (Figura 23), este fato pode estar relacionando a constante renovação natural que os estuários sofrem diariamente. Verifica-se que nas profundidades 1.0, 2.0 e 3.0 m evidenciaram-se os maiores teores do referido nutriente.

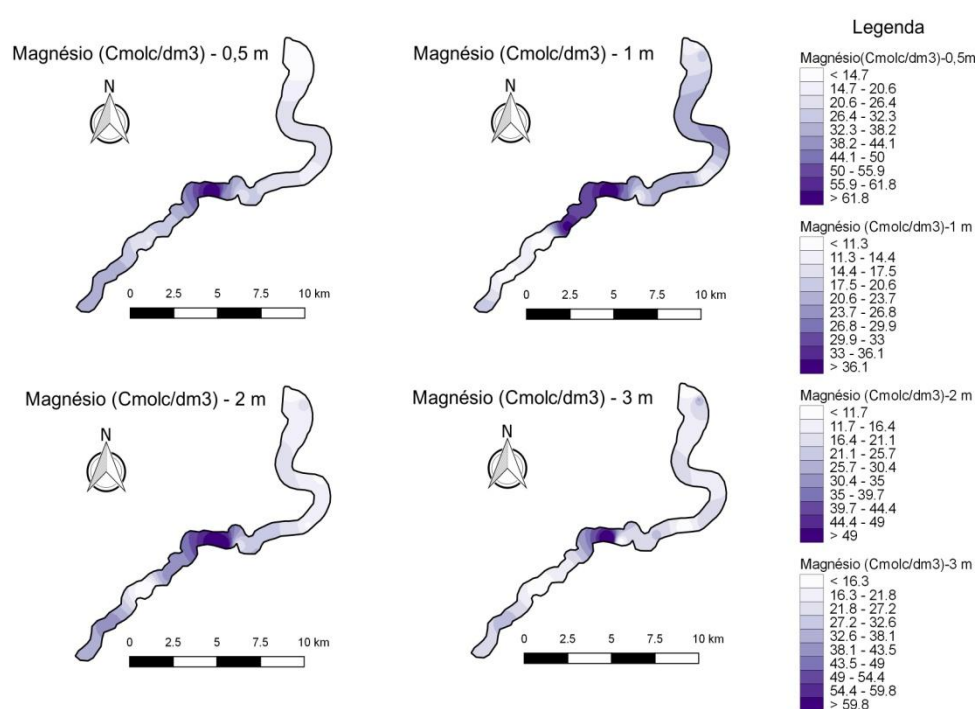
Os resultados encontrados para o cálcio neste estudo, são confirmado pelos autores Faria et al. (2009) e Motomiya et al. (2011), ao estudarem a variabilidade dos atributos químicos em solos, entretanto, diferem dos resultados encontrados pelos pesquisadores Serrano et al. (2010) e Zanão Júnior et al. (2010).

Quanto aos resultados obtidos referente a variável magnésio, verifica-se que nos primeiros 0.5m de solo existe tendência de diminuição deste na área próxima à foz (Figura 24). Da mesma forma que as demais variáveis citadas anteriormente, o magnésio possui as maiores concentrações na área central do estuário, com valores variando de 36.1 a 59.8 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$. Possivelmente, esta

grande amplitude de variação nos teores de magnésio, podem estar relacionados com a distância de coleta do solo em relação ao leito do rio.

Outro fator diz respeito, a área central não possui vegetação, ficando sujeita as intempéries naturais, sem qualquer proteção, desse modo, há possibilidade do lençol freático ascender frequentemente, e esta variação pode vir a promover a maior disponibilidade do referido elemento na camada de 1.0 m (Figura 24).

Figura 24. Variabilidade espacial do magnésio no estuário do Rio Apodi-Mossoró nas profundidades 0,5, 1, 2 e 3 metros.



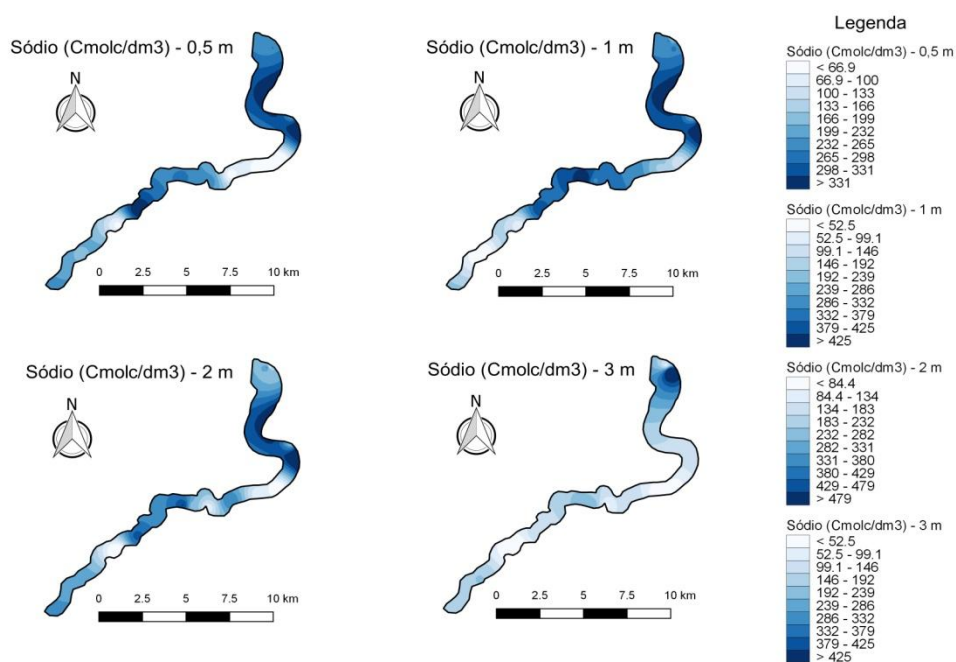
Fonte: Compilação do autor (2018).

Ainda nos mapas (Figura 24) observa-se tendência de distribuição semelhante da concentração do magnésio no solo nas profundidades de 2 e 3 m ao longo do estuário, onde os teores do referido elemento são considerados altos. Este fato pode estar relacionado com a intensa intemperização das fontes de magnésio no solo, ou seja, a calcita (Carbonato de cálcio, CaCO_3) e pela dolomita (carbonato duplo de cálcio e magnésio, CaCO_3 , MgCO_3) (Raij, 1981; Malavolta, 2006) presente nas áreas das salinas inseridas ao longo do estuário.

Nesse sentido, é evidente que o cálcio (Figura 23) possui distribuição semelhante ao magnésio (Figura 24) na totalidade da distribuição ao longo do estuário, com exceção da profundidade 0,5 m, para o cálcio e 1.0 m para o magnésio, pois, possuem no estuário variação antagônica.

Verifica-se na Figura 25 que o sódio trocável é predominante na camada de 0,5 m, com maior concentração na área próxima ao mar, este resultado é confirmando na (Figura 23), pois onde ocorrem as concentrações mais elevadas de sódio trocável do solo tende a comporta-se de modo alcalino (Costa, 2015).

Figura 25. Variabilidade espacial do sódio trocável no estuário do Rio Apodi-Mossoró nas profundidades 0,5, 1.0, 2.0 e 3.0 metros.



Fonte: Compilação do autor (2018).

Em áreas tropicais, o sódio tende a ser lixiviado para zonas mais profundas do solo; entretanto, o estuário em estudo encontra-se em ambiente semiárido, contribuindo para que o mesmo ascenda capilarmente para as camadas mais superficiais (Figura 25) em função da elevada taxa evaporativa da área de abrangência.

Verifica-se que ao longo do perfil do solo (0,5 a 3.0 m), o sódio possui característica semelhante, no que diz respeito à distribuição em profundidade, isso pode estar relacionado com o fato do lençol freático nessa zona de estudo ser próximo a superfície, fazendo com os sais precipitem na superfície, principalmente, nas áreas desprotegidas de vegetação natural.

Diante do exposto, verifica-se que os teores de sódio encontrados nas áreas estudadas estão acima dos considerados adequados pelo Código Florestal Brasileiro (Brasil, 2012) que classifica os salgados em ambientes com 100 a 150 ppm de sódio e apicum áreas com concentração de sódio acima de 150 ppm.

Nesse sentido, constata-se que grande parte do estuário do Rio Apodi-Mossoró, pode ser classificado como área de apicum, em função das concentrações de sódio encontrar-se em intervalos de 100 e 130 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Este fato se contrapõe, quando se observa o interior do estuário, por conter maior quantidade de vegetação, os teores de sódio são distribuídos de modo a possuir variabilidade espacial semelhante.

Neste sentido, verifica-se que ao se comparar a foz com o interior do estuário, confirma-se maior ação antrópica nesta, no entanto, o interior da área do estuário é menos antropizada, favorecendo o balanceamento natural dos níveis de sódio no solo, mesmo que as áreas estejam cercadas por salinas e tanques de carcinicultura.

Por outro lado, o aumento do teor deste elemento em relação aos demais cátions, no complexo de troca, pode promover a dispersão e migração dos colóides no perfil do solo, contribuindo na obstrução de poros e redução na movimentação de ar e água, dificultando o crescimento das plantas (Chaves et al., 2005).

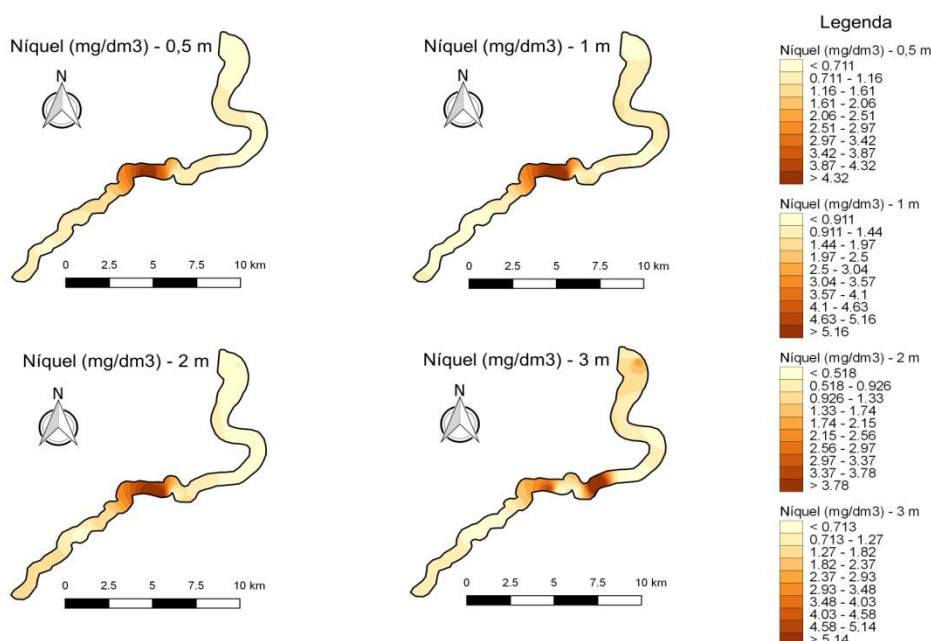
Encontra-se na Figura 26, o comportamento do níquel, metal pesado mais comum nos solos. Verifica-se que nas três primeiras camadas do solo estudado houve um comportamento semelhante para o referido metal, no entanto, sua mobilidade foi reduzida na última camada estudada 3.0 m.

Observa-se que nas extremidades do estuário, ou seja, na área C e S, os teores de níquel foram diluídos, possivelmente na foz, por causa da

dispersão que a água do mar exerce; no entanto, as causas da diluição no interior do estuário ainda são desconhecidos.

Os teores de níquel encontrados por este estudo variam de 0,5 a 5,16 mg dm⁻³ sendo considerados como normais para solos não contaminados (Caridad Cancela, 2002). Em seus estudos, o autor encontrou teores totais do referido elemento em amostras de solos não contaminadas do Estado de São Paulo que variaram de 14,8 a 50,2 mg kg⁻¹. Resultados semelhantes foram obtidos pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2001), cuja faixa foi um pouco mais ampla, de 1,55 a 73,5 mg kg⁻¹.

Figura 26. Variabilidade espacial do níquel no estuário do Rio Apodi-Mossoró nas profundidades 0,5, 1, 2 e 3 metros.



Fonte: Compilação do autor (2018).

Possivelmente a menor disponibilidade do níquel no solo do estuário pode estar relacionada com o altos valores de pH (Figura 21), pois quando o pH é alcalino o níquel fica indisponível no solo, indicando dinâmica inversa em relação ao referido índice (Uren, 1992).

No entanto, constata-se que a área S, possui as maiores concentrações das variáveis já discutidas anteriormente. Na profundidade 3.0 m, verifica-se a menor mancha com níquel, no entanto, possui a segunda maior concentração

do referido elemento em discussão, indicando a facilidade de lixiviação para as camadas mais profundas do solo.

Assim o níquel lançado no ambiente por fontes naturais ou antrópicas percorre todos os nichos ambientais por meio de processos químicos e físicos, podendo ser biologicamente transportado por organismos vivos. O transporte e distribuição do níquel por todos os nichos ambientais é fortemente influenciado pela textura do solo em condições meteorológicas (Azevedo & Chasin, 2003).

Os trabalhos encontrados na literatura discutem sobre a capacidade do níquel em causar toxidez na planta, atualmente estudos nesta temática são escassos. Nesse sentido, são poucos os pesquisadores que buscam em seus trabalhos o entendimento da variabilidade espacial do níquel (Weng et al., 2004; Berton et al., 2006).

No que se refere ao comportamento espacial do cobre (Figura 27), no estuário do Rio Apodi-Mossoró, observa-se que as maiores concentrações foram encontradas nas profundidades 0,5 e 1 m, na ordem de 4,13 e 4,99 respectivamente, sendo considerados dentro dos padrões estabelecidos pela CETESB (2001).

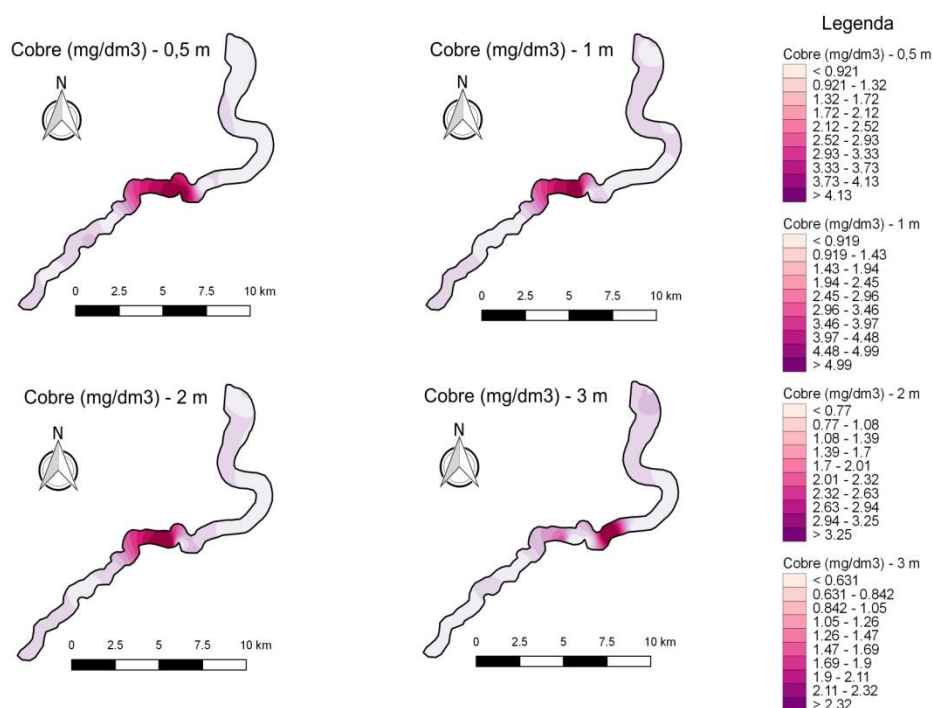
Nesse contexto, a qualidade do solo é importante ao desenvolvimento sustentável e à preservação dos ecossistemas estuarinos e da biodiversidade, sendo assim, a alta concentração no solo de cobre põe em risco a capacidade produtiva e o equilíbrio dos ecossistemas.

As menores concentrações do cobre foram observadas nas áreas C e N, possivelmente tal fator pode estar associado a menor disponibilidade do Cobre, nas referidas áreas do estuário, pode ter relação com o aumento do pH, sobretudo se ultrapassar de 6 para 7 (Figura 21) e os valores máximos encontrados foram na área S que possuem menor pH.

Em solos com pH mais elevado, existe redução da solubilidade e aumenta a força que o cobre é adsorvido às argilas e à matéria orgânica, tornando-o menos disponível. Assim com o excesso de calcário no solo indisponibiliza o cobre (Wu et al., 2002). Em áreas com solos arenosos como é o caso da área C, observou-se tendência de menor concentração de cobre quando comparado com a área S que possuem maiores teores de argila.

Este fato também pode estar relacionado ao poder da argila de adsorver cobre na forma trocável no solo, outra hipótese que pode ser levantada é a presença de componentes do solo rico em óxidos e carbonatos, que contribuem na adsorção e, conseqüente, disponibilidade do referido elemento no solo (Gaw et al., 2006).

Figura 27. Variabilidade espacial do cobre no estuário do Rio Apodi-Mossoró nas profundidades 0,5, 1.0, 2.0 e 3.0 metros.



Fonte: Compilação do autor (2018).

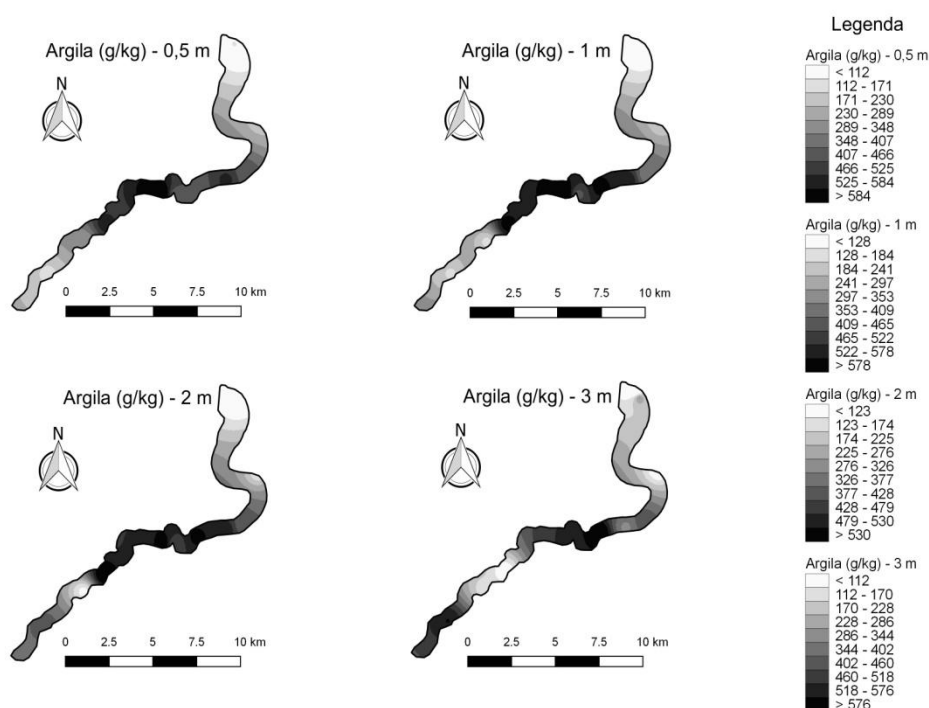
Ainda com relação ao o cobre, constatou-se na profundidade 3.0 m, os maiores teores, tal fato evidencia que o elemento possui a facilidade de ser lixiviado para camadas mais profundas do solo, e pode acarretar danos ambientais ao permanecer em concentração excessiva no solo. Ainda nesse mesmo raciocínio, torna-se importante estudos que busquem compreender o material de origem do estuário Rio Apodi-Mossoró, possibilitando o entendimento da origem do cobre encontrado, no referido estuário.

Em estudos realizados por Valladares (2009), foi constatado resultados semelhantes aos encontrados na pesquisa, entretanto, os pesquisadores

Ramos & López-Acevedo (2004) e Ramos (2006) encontraram respostas divergentes dos determinados por este trabalho.

Na Figura 28 estão os resultados das concentrações dos teores de argila nas quatro profundidades analisadas, verifica-se que houve comportamento semelhante, no que diz respeito à variação espacial da argila, demonstrando tendência de menores valores na área S.

Figura 28. Variabilidade espacial da argila no estuário do Rio Apodi-Mossoró nas profundidades 0,5, 1.0, 2.0 e 3.0 metros.



Fonte: Compilação do autor (2018).

Possivelmente, esse comportamento está relacionado com a facilidade da partícula de argila ser facilmente transportada pelas correntes de maré que atuam na foz do estuário, outro fator, que pode explicar o transporte da argila da área N para a área S (Figura 28) é a turbulência exercida pela força das águas no assoalho do estuário, tendo está a capacidade de desprender as partículas coloidais do solo.

O teor de argila comportou-se com menor variabilidade espacial em todas as profundidades na área central do estuário, este fato pode estar

relacionado com cobertura vegetal e a maior agregação do solo, deste modo reduzindo a influência da erosão das partículas mais finas na direção predominante dos ventos.

Nesse sentido, verifica-se que existe a tendência da fração argila dispersar naturalmente, ficando suspensa em água, este comportamento dar-se livremente na natureza ou ser acelerado pela intervenção antrópica.

Entretanto, como o solo reage à ação de forças que desagregam está sujeita, aos atributos químicos, físicas e mineralógicas que o compõe. Desta forma, o teor de minerais de argila, assim como a sua composição química, governam fenômenos físico-químicos que sucedem nos solos.

Dessa maneira, constata-se (Figura 22) que na área onde a CE foi menor, os teores de argila são maiores, este fenômeno pode ser explicado levando em consideração o poder dispersante que o sódio exerce sobre a argila do solo (Almeida Neto et al., 2009).

Em seus estudos, os pesquisadores et al. (2008), Gonçalves et al. (2011) e Souza et al. (2013), trabalhando com solos salinos encontraram resultados semelhantes aos encontrados por este trabalho, evidenciado que mesmo sendo um ambiente hipersalino, existe a necessidade de monitorar os teores de argila no solo, uma vez que a mesma refere-se a fração mais ativa do solo.

6.13 Grau de Flocculação da argila das áreas estudadas

De modo geral, observa-se que o grau de flocculação (GF) da argila na área C, distante da foz aproximadamente 3.0 km, possui média geral de 37.0 %, é menor em termos de percentagem quando comparada área no médio estuário S e a área localizada na foz N, 47.58 e 53.64 %, respectivamente (Tabelas 15, 16 e 17).

Tabela 15. Grau de flocculação na área de estudo C do estuário do Rio Apodi – Mossoró - RN.

Área C	Prof.	Silte	Argila em hexa	Argila em água	Relação Silte/Argila	Grau de flocculação
	cm	g kg ⁻¹				%
P1	0 - 50	726	176	152	4.13	13.29
	50 - 100	341	177	141	1.92	20.51
	100 - 200	575	369	299	1.56	19.09
	200 - 300	168	450	294	0.37	34.66
Média						21.89
P2	0 - 50	100	299	296	0.34	1.06
	50 - 100	217	293	169	0.74	42.32
	100 - 200	162	169	113	0.96	33.14
	200 - 300	259	304	173	0.85	43.23
Média						29.84
P3	0 - 50	448	526	288	0.85	45.35
	50 - 100	414	548	289	0.75	47.22
	100 - 200	389	570	247	0.68	56.60
	200 - 300	742	248	172	2.99	30.65
Média						44.95
Média geral						32.22

Nota: Área de estudo N, Área de estudo S e Área de estudo C. (Área C) e profundidade (Prof.).

Indicando que na área C, os métodos de extração de argila comprovaram baixa concentração no teor de argila (Figura 28) em todas as profundidades, entretanto, verifica-se na Tabela 15 que o grau de flocculação tende a aumentar, à medida que se aprofunda no solo, nesse sentido, a argila possui menor estabilidade na superfície em relação à ação da água, sendo, portanto, mais suscetível à erosão.

Por outro lado, quando se observa a argila em profundidade, constata-se que em todos os seis pontos amostrais o GF aumenta, ou seja, a argila é mais agregada, nesse sentido, os teores de argila comportam-se com tendência de maior estabilidade em profundidade, porém, isto é mais pronunciado no ponto amostral seis da área C, o que indica uma maior movimentação de argila no perfil do solo.

Possivelmente este comportamento do solo pode estar relacionado às mudanças nas condições químicas do solo sendo explicação para as alterações no grau de floculação de argila, conforme observou (Albuquerque et al., 2003; Gasparetto et al., 2009).

Na Tabela 16 constam os resultados do grau de floculação para a área de estudo S, verifica-se que a média geral de 47.58 %, indica que a referida área possui argila de maior estabilidade quando comparada com a área C, este fato pode estar relacionado com a maior disponibilidade de agentes agregantes como o cálcio e magnésio comprovados nas (Figuras 23 e 24).

Em solos não hidromórficos, o silte funciona como agente dispersante, no entanto, altos teores de silte (Figura, 13) em solos hidromórficos em conjunto com argila (Figura 28) promove maior agregação do solo, este fato pode estar relacionado com a localização da área em discussão, pois referida área funciona como ambiente transição, sendo, porém, área de maior deposição de agentes que atuam na floculação do solo, promovendo maior grau de floculação na área S, os resultados encontrado neste estudo corroboram com os achados de (Braidá, et al., 2011) estudando a estabilidade de agregados.

Tabela 16. Grau de flocculação na área de estudo S do estuário do Rio Apodi – Mossoró - RN.

Área S	Prof. cm	Silte	Argila em hexa	Argila em água	Relação Silte/Argila	Grau de flocculação %
P1	0 - 50	405	421	213	0.96	49.31
	50 - 100	210	328	207	0.64	36.72
	100 - 200	222	361	209	0.61	42.08
	200 - 300	223	370	209	0.60	43.39
Média						42.88
P2	0 - 50	428	515	202	0.83	60.76
	50 - 100	432	506	204	0.85	59.63
	100 - 200	465	494	233	0.94	52.97
	200 - 300	413	667	519	0.62	22.25
Média						48.90
P3	0 - 50	505	421	175	1.20	58.58
	50 - 100	418	546	175	0.76	67.90
	100 - 200	450	517	206	0.87	60.13
	200 - 300	389	583	211	0.67	63.82
Média						62.61
P4	0 - 50	417	398	212	1.05	46.66
	50 - 100	335	395	208	0.85	47.38
	100 - 200	339	406	174	0.84	57.04
	200 - 300	240	288	178	0.83	38.26
Média						47.34
P5	0 - 50	281	642	360	0.44	43.99
	50 - 100	309	634	355	0.49	44.04
	100 - 200	371	581	310	0.64	46.59
	200 - 300	412	488	309	0.84	36.65
Média						42.82
P6	0 - 50	313	595	335	0.53	43.78
	50 - 100	370	544	333	0.68	38.78
	100 - 200	429	455	243	0.94	46.65
	200 - 300	572	362	237	1.58	34.57
Média						40.94
Média geral						47.58

Nota: Área de estudo N, Área de estudo S e Área de estudo C. (Área C) e profundidade (Prof.).

Constam na Tabela 17 os resultados para o grau de flocculação da argila na área de estudo próxima a foz, ou seja, área N. Constata-se na referida área média geral de 53.64 %, este comportamento pode estar relacionado com os altos teores de sódio encontrados no solo (Figura 25), pois o referido elemento quando em alta concentração promove a dispersão da argila, no entanto, em altas concentrações o referido elemento em função do seu maior raio hidratado funciona como agente cimentante (Teixeira et al., 2017; Dias et al., 2016).

Constatou-se na análise individual quando na conjunta dos dados que a matéria orgânica (Mat. Org.) não foi uma variável que discriminou os ambientes, entretanto, a concentração de Mat. Org. é um atributo que influencia na agregação das partículas do solo, bem como no Grau de Flocculação (Muller et al., 2001; Prado & Centurion, 2001).

Nesse sentido o maior grau de flocculação encontrado por este estudo foi na área N, pode estar relacionado aos efeitos de cimentação ocasionado pela Mat. Org. em conjunto com os demais sais (Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2}) presentes em excesso no solo, resultando em agregados estáveis.

Tabela 17. Grau de flocculação na área de estudo N do estuário do Rio Apodi-Mossoró-RN.

Área N	Prof.	Silte	Argila em hexa	Argila em água	Relação Silte/Argila	Grau de flocculação
						%
		cm	g kg ⁻¹			
P1	0 - 50	92	84	23	1.09	72.22
	50 - 100	142	87	23	1.63	73.21
	100 - 200	112	108	74	1.04	31.48
	200 - 300	396	311	110	1.27	64.56
Média						60.37
P2	0 - 50	293	154	54	1.90	65.20
	50 - 100	572	122	54	4.68	55.60
	100 - 200	294	126	28	2.34	77.55
	200 - 300	133	78	28	1.70	63.86
Média						65.55
P3	0 - 50	163	54	17	3.04	67.80
	50 - 100	302	72	17	4.20	75.78
	100 - 200	451	72	69	6.25	4.68
	200 - 300	494	198	69	2.49	64.95
Média						53.30
P4	0 - 50	644	213	105	3.03	50.47
	50 - 100	592	169	109	3.51	35.40
	100 - 200	117	203	115	0.58	43.35
	200 - 300	634	212	209	3.00	1.23
Média						32.61
Média geral						52.95

Nota: Área de estudo N, Área de estudo S e Área de estudo C. (Área C) e profundidade (Prof.).

Nesse sentido o maior grau de flocculação encontrado por este estudo foi na área N, pode estar relacionado aos efeitos de cimentação ocasionado pela Mat. Org. em conjunto com os demais sais (Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2}) presentes em excesso no solo, resultando em agregados estáveis.

A área N é a parte mais baixa do estuário sendo uma zona de deposição de partículas provenientes do escoamento superficial e erosão eólica, favorecendo cimentação pela ação conjunta da areia muito fina, silte e argila no solo (Tabela 6 e 8).

7 CONCLUSÕES

- ✓ Caracteriza-se o estuário do Rio Apodi-Mossoró como constituído por sedimentos fluviais tais como: areias de diferentes granulometrias, seguido por uma sedimentação de transição, o silte contribui para a formação do assoalho do estuário.
- ✓ O estuário do Rio Apodi-Mossoró é classificado como área de apicum, pois, as concentrações de sódio encontram-se em intervalos de 100 e 130 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$.
- ✓ A salinicultura no estuário do Rio Apodi-Mossoró em áreas já implantadas com salinas é uma atividade viável para o aproveitamento sustentável do estuário.
- ✓ A análise multivariada é uma ferramenta eficiente na discriminação das três áreas estudadas.
- ✓ Nas condições deste estudo, a matéria orgânica do solo não contribuiu para a distinção das áreas estudadas;
- ✓ Os níveis de Cu^{+2} , Zn^{+2} , Ni^{+2} , Cr^{+3} , Cd^{+2} e Pb^{+2} definidos em cada grupo podem ser utilizados para a avaliação de áreas suspeitas de poluição, cujos solos possuam características semelhantes às deste estudo;
- ✓ Em altas concentrações, os metais (Cu^{+2}), (Fe^{+3}), (Zn^{+2}), (Cr^{+3}), (Ni^{+2}), (Cd^{+2}) e (Pb^{+2}) tornam-se tóxicos, principalmente nos locais onde há manguezal.
- ✓ Os pontos SF2, SF3, SF4, CA1, SD1, SA4, que possuem as maiores concentrações de Cd^{+2} e Cr^{+3} ;
- ✓ Os níveis de metais pesados no estuário estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira;
- ✓ Os mapas de krigagem, levando-se em consideração a existência de dependência espacial de atributos do solo, possuem precisão e diferentes padrões de ocorrência para estimativa de valores locais não medidos;
- ✓ O excesso de sais no solo contribui para o maior grau de floculação.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, J. A.; Bayer, C.; Ernani, P. R.; Mafra, A. L.; Fontana, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.799-806, 2003.
- Almeida Júnior, J. **Aplicações da análise multivariada em solos que podem ser utilizadas em melhorias de processos produtivos agrícolas**. In: SEPRONE, 7, 2012, Mossoró. Anais “A Engenharia de Produção frente ao novo contexto de desenvolvimento sustentável do Nordeste: coadjuvante ou protagonista?” Mossoró-RN, UFERSA, 2012.
- Almeida Neto, O. B.; Matos, A. T.; Abrahão, W. A. P.; Costa, L. M.; Duarte, A. Irrigation water quality influence on clay dispersive behavior of Oxisols. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1571-1581, 2009.
- Almeida Neto, O. B.; Matos, A. T.; Abrahão, W. A. P.; Costa, L. M.; Duarte, A. Influência da qualidade da água de irrigação na dispersão da argila de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1571-1581, 2009.
- Alongi, D. M.; Boto, K. G.; Robertson, A. I. Nitrogen and phosphorus cycles. Robertson, A. I. and Alongi, D. M. **Tropical mangrove ecosystems**, American Geophysical Union, p. 251-742, 1992.
- Alves, M. C.; Pozza, E. A.; Machado, J. C.; Araújo, D. V.; Talamini, V.; Oliveira, M. S. Geoestatística como metodologia para estudar a dinâmica espaço-temporal de doenças associadas a *Colletotrichum* spp. Transmitidos por sementes. **Fitopatologia Brasileira, Brasília**, v. 31, n. 6, p.557-563, 2006.
- Amado, T. J. C.; Pes, L. Z.; Lemainski, C. L.; Schenato, R. B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho

e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 831-843, 2009.

Andrade, M. C. **O território do sal: a exploração do sal marinho e a produção do espaço geográfico no Rio Grande do Norte**. Mossoró. Coleção Mossoroense, vol. 848, 1995.

Angelico, J. C. Desempenho da Co-Krigagem na determinação da variabilidade de atributos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30. p. 931-936, 2006.

Araújo, A. O.; Mendonça, L. A. R.; Lima, M. G. S.; Feitosa, J. V.; Silva, F. J. A.; Ness, R. L. L.; Frischkorn, H.; Simplício, A. A. F.; Kerntopf, M. R. Modificações nas propriedades dos solos de uma área de manejo florestal na Chapada do Araripe. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.754-762, 2013.

Azevedo, F.A.; Chasin, A.A.M. (eds). **Metais: Gerenciamento da toxicidade**. São Paulo: Editora Atheneu, 2003. 554p.

Baas-Becking, L. G. M. Historical notes on salt and salt-manufacture. **Scient. Mon.**, N.Y., v.32, p. 434-446, 1931.

Balieiro, F. C. et al. Qualidade do Solo em Áreas Degradadas. In: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, 30. 2005, Recife. Anais... Recife: UFRPE, Embrapa Solos, SBCS, 2005. CD ROM.

Ball, M. C.; Chow, W. S.; Anderson, J. M. Salinity-induced potassium deficiency causes loss of functional photosystem II in leaves of the grey mangrove, *Avicennia marina*, through depletion of the atrazine-binding polypeptide. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 14, p. 351-361, 1987.

- Balsinha, M. J.; Santos, A. I.; Alves, A. M. C.; Oliveira, A. T. C. Textual Composition of Sediments from Minho and Douro Estuaries (Portugal) and its Relation with Hydrodynamics. **Journal of Coastal Research**, v. 56, p.1330-1334, 2009.
- Baretta, D.; Baretta, C. R. D.; Cardoso, E. J. B. N. Análise multivariada de atributos microbiológicos e químicos do solo em florestas com Araucária angustifolia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2683-2691, 2008.
- Benites, V. de M.; Moutta, R. de O.; Coutinho, H. Luis. da C.; Balieiro, F. de C. Análise Discriminante de solos sob diferentes usos em área de Mata Atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, p.1-6, 2010.
- Bernert, M. R.; Eschemback, V.; Jadoski, S. O.; Lima, A. dos S.; Pott, C, A. Características do pH e condutividade elétrica no manejo de fertirrigação. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava-PR, v.8, p.80-87, 2015.
- Bernini, E.; Silva, M. A. B. da.; Carmo, T. M. S. do.; Cuzzuol, G. R. F. Composição química do sedimento e de folhas das espécies do manguezal do estuário do Rio São Mateus, Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, V.29, p.689-699, 2006.
- Berton, R, S.; Pires, A. M. M.; Andrade, S. A. L. de.; Abreu, C. A. de.; Ambrosano, E. J.; Silveira, A. P. D. da. Nickel toxicity in common bean plants and effects on soil microbiota. **Pesq. agropec. bras.**, v.41, n.8, p.1305-1312, 2006.
- Bezerra, F. A.; Análise Fatorial. In: Corrar, L. J.; Paulo, E.; Filho, J. M. D. **Análise Multivariada para os cursos de Administração, Ciências contábeis e Economia**. São Paulo, 2017. Cap. 2, p. 73-130.

- Bosire, J. O., Dahdouh-Guebas, F., Kairo, J. G., Kazungu, J., Dehairs, F., Koedam, N.. Litter degradation and CN dynamics in reforested mangrove plantations at Gazi Bay, Kenya. **Biological Conservation**, v. 126, p. 287 – 295, 2005
- Bouroche, J. M.; Saporta, G. **Análise de dados**. Rio de Janeiro: Zahar, 1982.
- Bower, C. A.; Wilcox, L. V. Soluble salts. In: Black, C. A. (ed). **Methods of soil analysis** – Part 2. Chemical and microbiological properties. Madison: American Society of Agronomy, 1965, p. 933-951.
- Bradl, H. B. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. **Journal of Colloid and Interface Science**. 277, 1–18, 2004.
- Brady, N. C.; Weil, R. R. **The nature and properties of soils**. 14. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008. 975p.
- Braida, J.A.; Bayer, C.; Albuquerque, J.A.; Reichert, J. M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: Klauberg Filho, O.; Mafra, A. L.; Gatiboni, L.C., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, 2011. v.7. p.221-277.
- Brasil. **Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis no 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis no 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.
- Brito, L. T. L.; Silva, A. S.; Srinivasan, V. S; Galvão, C. O.; Gheyi, H. R. Uso de análise multivariada na classificação das fontes hídricas subterrâneas da bacia hidrográfica do Salitre. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 26, n. 1, p. 36-44, 2006.

Burrough, P. A.; Webster, R. Improving a reconnaissance soil classification by multivariate methods. **Journal of Soil Science**, v.27, n. 4, p.554-571, 1976.

Callegari-Jacques, Sidia M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.

Camacho F. F. (Ed.) **Técnicas de producción en cultivos protegidos**. Almeria: Instituto Cajamar, 775 p. 2003.

Campos, M. C. C.; Júnior, J, M.; Pereira, G. T.; Montanari, R.; Siqueira, D. S. Soil texture spatial variability of different parent material in Pereira Barreto, São Paulo State. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.2, p.149-157, 2007.

Campos, M. L.; Silva, F. N da.; Furtini Neto, A. E.; Guilherme, L. R. G.; Marques, J. J.; Antunes, A. S. Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco em fosfatos de rocha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.361-367, 2005.

Caridad Cancela, R. **Contenido de macromicronutrientes, metales pesados y otros elementos en suelos naturales** de São Paulo (Brasil) y Galicia (España). 2002. 573p. Tesis (Doctorado) - Universidad de A Coruña, A Coruña, España.

Carmo Júnior, J. B. **Geografia da dominação - um estudo sobre a organização espacial da terra do sal (Macau-RN)**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte/Centro de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Natal, 2006, 173 p.

Carvalho, J. R. P.; Silveira, P. M. da.; Vieira, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo

sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, 2002.

Cascudo, L. C. **História do Rio Grande do Norte**. Rio de Janeiro: Ministério da Educação e Cultura, 1955.

Cerri, D. G. P.; Magalhães, P. S. G. Correlation of physical and chemical attributes of soil with sugarcane yield. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.613-620. 2012.

CETESB (São Paulo, SP). **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2001. 232p.

Chapman, H. D. Cation-exchange capacity. In: Black, C. A. (ed.). *Methods of soil analysis - Part 2. Chemical and microbiological properties*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.891-901.

Chaves, L. H. G.; Chaves, I. B.; Vasconcelos, A. C. F.; Leão, A. B. Avaliação da salinidade dos Neossolos dos perímetros irrigados de São Gonçalo e Engenheiro Arcoverde, PB. **Agropecuária Técnica**, v.26, n.1, p.15-21, 2005.

Cherubin, M.R.; Santi, A.L.; Basso, C.J.; Eitelwein, M.T.; Vian, A.L. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, p.196-210, 2011.

Ciotta, M.; Bayer, C.; Ernani, P. R.; Fontoura, S. M. V.; Albuquerque, J. A.; Wobeto, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V. 26, p. 1055 – 1064, 2002.

- Cohen, M. C. I.; Lara, R. J.; Ramos, J. F. da F.; Dittmar, T. Factors influencing the variability of Mg, Ca and K In Waters of a mangrove creek in Bragança, North Brazil. **Mangroves and salt Marshes**, v.3, p. 9-15, 1999.
- Corá, J. E.; Beraldo, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, v. 26, p.374-387, 2006.
- Corrêa, I. C. S. Aplicação do diagrama de Pejrup na interpretação da sedimentação e da dinâmica do estuário da Baía de Marajó-PA. **Pesquisas em Geociências**, v.32, p.109-118, 2005.
- Corrêa, R.; Freire, M. B. G. dos S.; Ferreira, R. Luiz C.; Freire. F. J.; Pessoa, L. G. M.; Miranda, M. A.; Melo, D. V. M. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p. 305-314, 2009.
- Costa, D. F. da S.; Rocha, R. de M., Barbosa, J. E. de L.; Soares, A. M. V. M.; Lillebo, A. I. Análise dos serviços ambientais prestados pelas salinas solares. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 41, p. 206-220, 2014.
- Costa, D. F. da S.; Silva, A. A.; Medeiros, D. H. M, Filho, M. A L.; Rocha, R. de M.; Lillebo, A. I.; Soares, A. M. V. M. Breve revisão sobre a evolução histórica da atividade salineira no estado do Rio Grande do Norte (Brasil). **Sociedade & Natureza**, v. 25, p. 21-34, 2013.
- Costa, D. F. S.; DE Medeiros Rocha, R.; Cândido, G. A. **Perfil de sustentabilidade e uso dos recursos naturais em salinas solares no estuário do Rio Apodi-Mossoró (RN)**. In: Cândido, G. A. (Org.). Desenvolvimento Sustentável e Sistemas de Indicadores de Sustentabilidade: formas de aplicações em contextos geográficos diversos e contingências específicas. Campina Grande - PB: Editora da Universidade Federal de Campina Grande, 2015, p. 401 - 426.

Costa, L. R. da. **Uso de águas hipersalinas na produção de mudas de mangue *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.** Mossoró: UFERSA, 2015. 98p. Dissertação de Mestrado.

Costa, M. J.; Junior, E. J. R.; Rosa, Y. B. C. J.; Souza, L. C. F.; Rosa, C. B. J. Atributos químicos e físicos de um latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 29, p. 701-708, 2007.

Costa, T. C. C. da.; Oliveira, M. A. J. de.; Accioly, L. J. de O.; Silva, F. H. B. B. Analysis of degradation of 'Caatinga' in the desertification nucleus of Seridó – Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, p.961–974, 2009.

Cunha, P.; Marques Júnior; Curi, N.; Pereira, G. T. Lepsch, I. F. Superfícies geomórficas e atributos de Latossolos em uma sequência arenítico-basáltica da região de Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.81-90, 2005.

Dalchiavon, F. C.; Carvalho, M. de P.; Andreotti, M.; Montanari, R. Spatial variability of the fertility attributes of Dystrophic Red Latosol under a no-tillage system. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 453-461, 2012.

Dantas, D. C.; Matos, J. A.; Medeiros, J. F.; Filho, F. Q. P.; Miranda, N. O. Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo a partir de extratos 1:2 pelo método do eixo principal reduzido. **Irriga**, v. 10, n. 4, p. 351-356, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2005v10n4p351-356>

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

De Medeiros Rocha, R. **Fatores determinantes na estratégia de cultivo de *Asteromonas gracilis* Artari (Chlorophyceae, Dunaliellales).** Universidade Tiradentes, Rede Nordestina de Biotecnologia, Aracajú-SE, 2011, 165 p. Tese de doutorado.

De Pascale, S.; Orsini, F.; Pardossi, A. **Irrigation water quality for greenhouse horticulture.** In: Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops; Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. p.169-204. FAO Plant Production and Protection Paper 217.

Dechen, A. R.; Nachtigall, G. R. **Elementos requeridos a nutrição de plantas.** In: Novais, R. F.; Alvarez V., V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (ed.) Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. Cap. 3, p. 92-129.

Demétrio, C. G. B. **Análise multidimensional para dados de cana-de-açúcar.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2002. 126p. (Tese de Doutorado).

Dias, N. da S.; Blanco, F. F.; Souza, E. R. de.; Ferreira, J. F. da S.; Neto, O. N. de S.; Queiroz, Í. S. R. de . **Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade.** In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de. Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016. Cap. 11, p. 151-162.

Dias, P. F.; Souto, S. M.; Costa, J. R. Análise do comportamento de espécies leguminosas arbóreas introduzidas em pastagens de gramíneas tropicais. **Pesquisa Agropecuária Tropical** (UFG), v. 37, p. 31-37, 2007.

DNPM. Brasil. **Departamento Nacional de Produção Mineral.** Sumário Mineral / Coordenadores Thiers Muniz Lima, Carlos Augusto Ramos Neves Brasília:, v. 35, p. 102-103, 2016.

DNPM. Brasil. **Departamento Nacional de Produção Mineral**. Sumário Mineral / Coordenadores Thiers Muniz Lima, Carlos Augusto Ramos Neves Brasília:, v. 33, p. 108-109, 2013.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Procedimentos Normativos de levantamentos pedológicos. Brasília, 1995. 116p.

Enani, P. R.; Almeida, J. A; Santos, F. C. Potássio In: Novais, R. F.; Alvarez V., V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (ed.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. Cap. 9, p. 551-594.

Esteves, F. A. **Fundamentos de limnologia**/ Francisco de Assis Esteves. 2ª Ed. Rio de Janeiro; Interciência, 1998, 601 p.

Fadigas, F. de S.; Sobrinho, N. M. B. do A.; Mazur, Nelson.; Dos Anjos, L. H. C.; Freixo, A. A. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.699–705, 2008.

Fadigas, F. S.; Sobrinho, N. M. B. A.; Mazur, N.; Anjos, L.H.C. & Freixo, A.A. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Bragantia**, v.61, p.151-159, 2006.

Fanning, D. S.; Fanning, M. C. B. **Soil morphology, genesis and classification**. New York: John Wiley & Sons, 1989. 395p.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements**. Rome: FAO, 2002. 150p. FAO Irrigation and drainage Papere 57.

- Faria, G. E.; Barros, N. F.; Novais, R. F.; Silva, I. R. Soil fertility, organic carbon and fractions of the organic matter at different distances from eucalyptus stumps. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.571-579, 2009.
- Fernandes, C. A. D. **Estudo ambiental preliminar do “Deserto salino” e sua influência na poluição do ar na cidade de Mossoró**. 1998. 29 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura de Mossoró, Mossoró, 1998.
- Fernandes, G. M. O sal: economia em questão. Natal: UFRN/CCHLA, 1995.
- Ferreira, D. F. **Estatística Multivariada**. 1. Ed, Lavras: UFLA, 2008, 662p.
- Ferreira, P. A.; Silva, J. B. L. da.; Ruiz, H. A. **Aspectos físicos e químicos de solos em regiões áridas e semiáridas**. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de. Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016. Cap. 3, p. 17-34.
- Ferreira, T. O.; Vidal-Torrado, p.; Otero, X. L.; Macías, F. Are mangrove Forest substrates sediments or soils? A case study in southeastern Brazil. **Catena**, v. 70, p. 79-91, 2007.
- Fidalski, J.; Tormena, C. A. & Sacapim, C. A. Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho cultivado com citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.9-19, 2007.
- FIERN. Federação das Indústrias do estado do Rio Grande do Norte. Região de Mossoró: Indicadores em destaque. Disponível em: http://www.fiern.org.br/images/pdf/monitor_economico/desempenho_industria/regiao_de_mossoro.pdf. Acesso em: 26 jan, 2018.

- Flores, H. E. Polyamines and stress. In: Alscher, R.G.; Cumming, J. R. (eds). **Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms**. Wiley-liss, New York. 217-239, 1990.
- Freddi, O.S.; Ferraudo, A.S.; Centurion, J.F. Análise multivariada na compactação de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 953-961, 2008.
- Freire, M. B. G. S.; Freire, F. J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: Novais, R. F.; Alvarez V., V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (ed.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007.1017p.
- Freire, M. B. G. S.; Pessoa, L. G. M.; Gheyi, H. R. Métodos de análises químicas para solos afetados por sais. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de. **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. Cap. 10, p. 123-148.
- Freire, M. B. G. S.; Ruiz, H. A.; Ribeiro, M. R.; Ferreira, P. A.; Alvarez V., V. H.; Freire, F. J. Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta a condutividade elétrica e RAS da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.45-52, 2003.
- Freitas, T. C. M. de; Melnikov, P. Usage and recycling of chromium at tanneries in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.11, 2006.
- Garcia, G. de O.; Martins Filho, S.; Reis, E. F. dos; Moraes, W. B.; Nazário, A. de A. Chemical changes in two soils irrigated with saline water. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, p. 7-18, 2008.

- Gasparetto, E. C.; Braida, J. A.; Carneiro, M.; Scariot, J. J.; Tabolka, C. L. Clay flocculation degree of an xisol under crop cultivation and native forest. *Synergismuss Cyentifica UTFPR*, Pato Branco, v. 4, p.23- 29, 2009.
- Gaw, S.K.; Wilkins, A.L.; Kim, N.D; Palmer, G.T.; Robinson, P. Trace element and DDT concentrations in horticultural soils from the Tasman, Wa kato and Auckland regions of New Zealand. **Science of the Total Enviro ment**, v.355, p.31-47, 2006.
- Gomes, F. H.; **Caracterização de solos de manguezais e de restinga no município de Ilhéus - BA**. Minas Gerais: UFV, 2002, p.108. Dissertação de Mestrado
- Gonçalves, I. V. C.; Freire, M. B. G. dos S.; Santos, M. A. dos; Souza, E. R. de; Freire, F. J. Alterações químicas de um Neossolo Flúvico irrigado com águas salinas. **Revista Ciência Agrônômica**, v.42, p.589-596, 2011.
- Green, P. E., and J. Douglas Carroll. *Mathematical Tools for Applied Multivariate Analysis*. New York: Academic Press, 1978.
- Grego, C. R.; Vieira, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.169-177, 2005.
- Grobe, J. R.; Marques, J. M. O método de análise fatorial aplicado ao estudo de resultados de análise de solos. **Synergismus scyentifica UTFPR**, v. 1, p. 237-243, 2006.
- Gurgel, H.C. **Variabilidade espacial e temporal do NDVI sobre o Brasil e suas conexões com o clima**. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003. (Dissertação de Mestrado)

Hair Junior, J.F.; Black, W.C.; Babin, B.J.; Anderson, R.E.; Tatham, R.L. **Análise Multivariada de Dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

Hair, J. F.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L. & Black, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593p.

Hakanson, L.; Jansson, M. **Principle de lake sedimentology**, Berlin: Springer, 1983, p. 316.

Holmer, M. mangroves in Soaty – East Asia in: Biogeochemistry in marine systems eds: Black, K. D. and Sheffield, Shimmield England 2003, 39 p.

Inoue, T.; Nohara, S.; Takagi, H.; Anzai, Y. Contrast of nitrogen contents around roots of mangrove plants. **Plant Soil**, v. 339, p. 471-483, 2011.

Jacques A. E Nenquin, "**Salt; a study in economic prehistory (Dissertationes archaeologicae Gandenses)**", De Tempel (1961).

Jahnke, R. A. **O Ciclo do fósforo**. In: Butcher, S. S.; Charlson, R. J.; Orians, G. H.; Wolfe, G. V Global Biogeochemical Cycles. Academic press, 1992, p. 301 – 313.

Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. **Trace elements in soils and plants**. 3.ed. boca raton, crc Press, 2001. 413p.

Kano, C. **Extrações de nutrientes pelo meloeiro rendilhado cultivado em ambiente protegido com adição de potássio e CO₂ na água de irrigação**, 2002. 102f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Piracicaba, 2002.

Korndorfer, G. H. **Elementos benéficos**. In: Fernandes, M. S. (Ed.) Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 355-374.

Larcher, W. **Ecofisiologia vegetal**. 1.ed. São Carlos: Rima, 2000. 531p.

Lebigre, J. M. Les marais à mangrove et lês tannes. 2007. Disponível em: < http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/geographie/d/les-marais-a-mangrove-et-les-tannes_683/c3/221/p5/ >. Acesso em: 28 Jan. 2018.

Leinz, V.; Amaral, S. E. **Geologia Geral**. São Paulo, National, 2001. 399p.

Leite, E. M.; Diniz, A. A.; Cavalcante, L. F.; Gheyi, H. R.; Campos, V. B.. Reduction of the sodicity in an irrigated soil with utilization of sulphuric acid and agricultural gypsum. **Revista Caatinga**, v. 23, p. 110-116, 2010.

Libes, S. M. **Introduction to marine biogeochemistry**. Amsterdam: Academic Press, 2009. 909 p.

Lima, J. S. de S.; Silva, S. de A.; Silva, J. M. Spatial variability of chemical attributes of a Red-Yellow Latosol under no-tillage cultivation. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 16-23, 2013.

Lira, S. A. **Análise de Correlação: Abordagem Teórica e de construção dos coeficientes com aplicações**. Curitiba: UFP, 2004. 209f. Dissertação de Mestrado.

LNEC (2007). **Estudo dos Problemas de Assoreamento e Erosão no Estuário do Rio Minho**. Relatório 2: Modelação da Hidrodinâmica, da Salinidade e da Dinâmica Sedimentar, Lisboa.

López, E.; Aguilera, P.A.; Schmitz, M.F.; Castro, H.; Pineda, F.D. Selection of ecological indicators for the conservation, management and monitoring of

Mediterranean coastal salinas. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, n. 3, p. 241-256, 2010.

Maia, Geraldo. **O sal para o Rio Grande do Norte**. O Mossoroense, Mossoró, p.1. Ago. 2005. Disponível em: http://www2.uol.com.br/o_mossoroense/090605/nhistoria.htm. Acesso em: 26 jan. 2018.

Malavolta, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

Malavolta, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba, 1989. p. 201.

Maluche-Baretta, C. R. D.; Amarante, C. V. T. & Klauberg-Filho, O. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.10, p.1531-1539, 2006.

Marcolin, C. D; Klein, V. A. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. **Acta Scientiarum Agronomy Maringá**, v. 33, p. 349-354, 2011.

Mário, P. C. **Análise Discriminante**. In: Corrar, L. J; Paulo, E; Dias Filho, J. M. Análise Multivariada para cursos de administração, Ciências Contábeis e Economia. São Paulo, 2017. Cap. 4, p. 232-268.

Marques, A. G. B.; Ferreira, T. O.; Nóbrega, G. N.; Romero, R. E.; Souza Junior, V.S.; Meireles, A. J. A.; Otero, X. L. **Soil genesis on hyper Saline tidal flats (*apicum* ecosystem) in a tropical semiarid estuary (Ceará, Brazil)**. Soil Research, 2014a. <http://dx.doi.org/10.1071/SR13179>.

Maser, P.; Gierth, M.; Schroeder, J. I. Molecular mechanisms of potassium and sodium uptake in plants. **Plant Soil**, V. 247, p. 43-54, 2002.

Medeiros, Rostand. O sal no Rio Grande do Norte. 2013. Disponível em: <<http://tokdehistoria.wordpress.com/2018/01/01/o-sal-no-rio-grande-do-norte/>>. Acesso em: 26 jan 2018.

Meireles, A. J. A.; Silva, E. V.; Thiers. Impactos ambientais das atividades de carcinicultura no ecossistema Manguezal do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. Número Especial 2: Manguezais do Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 2, p. 1 - 11, 2010.

Meireles, A. J.A.; Gorayebe, A.; Thiers. Integração dos indicadores geoambientais de flutuação do nível relativo do mar e de mudanças climáticas no litoral cearense. Mercator. **Revista de Geografia da UFC**, v.8, p. 109-134, 2005.

Melém JR., N.J.; Fonseca, I.C.B.; Brito, O.R.; Decaens, T.; Carneiro, M.M.; Matos, M.F.A.; Guedes, M.C.; Queiroz, J.A.L.; Barroso, K.O. Análise de componentes principais para avaliação de resultados analíticos da fertilidade de solos de Amapá. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, p. 499-506, 2008.

Melloni, R.; Melloni, E. G. P; Alvarenga, M. I. N. & Vieira, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.2461-2470, 2008.

Melo, E. V. F.; Alleoni, L. R. F. **Química e mineralogia do solo**. Viçosa-MG: SNCS. 2v, p. 250, 2009.

- Melo, H. F. **Status hídrico em solo e *Atriplex nummularia* Lind. Sob condições de estresse salino e hídrico.** Recife: UFRPE, 2014. 82p. Dissertação Mestrado.
- Melo, P. R. C.; Carvalho, R. S.; Pinto, D. C. Halita. In: Cetem. **Rochas Minerais Industriais: usos e especificações.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008, p. 551- 584.
- Melo, V. F.; Novais, R. F.; Schaefer, C. E. G. R.; Fontes, M. P. F.; Singh, B. Mineralogia das frações areia, silte e argila de sedimentos do grupo Barreiras no município de Aracruz, estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.29-41, 2002.
- Mendes, A. M. A.; Fontes, R. L. F.; Oliveira, M. Variabilidade espacial da textura de dois solos do Deserto Salino, no Estado do Rio Grande do Norte **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, p. 19-27, 2008.
- Michael Grabner, "Bronze age dating of timber from the salt-mine at Hallstatt, Áustria", **Dendrochronologia**, v. 24, p. 61-68, 2007.
- Mingoti, S.A. **Análise de Dados Através de Métodos de Estatística Multivariada: uma abordagem aplicada.** Belo Horizonte: UFMG, 2007. p. 297.
- Miranda, L. B.; Castro, B. M.; Kjerfve, B. **Princípios de oceanografia física de estuários.** 2^a.ed. São Paulo: USP, 2012. 426p.
- Miranda, M. F. A.; Pessoa, L. G. M.; Freire, M. B. G. dos S.; Freire, F. J. Correção de solo salino-sódico com soluções de cloreto de cálcio cultivado com sorgo sudanense. **Revista Caatinga**, v.21, p.18-25, 2008.

- Miranda, M. F. A.; Pessoa, L. G. M.; Freire, M. B. G. dos S.; Freire, F. J. Correção de solo salino-sódico com soluções de cloreto de cálcio cultivado com sorgo sudanense. **Revista Caatinga**, v.21, p.18-25, 2008.
- Moita Neto, J. M. & Moita, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, n. 21, v.4, p. 467-469, 1998.
- Molin, J. P.; Rabello, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Engenharia Agrícola**, v.31, p.90-101, 2011.
- Montezano, Z. F.; Corazza, E. J.; Muraoka, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homoganeamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.839-847, 2006.
- Morais, J.O.; Pinheiro, L.S. **Rochas e Minerais Industriais do Mar e em Zonas Costeiras**. In: Vidal, F.W.H.; Branco, F.A.C.; Souza, J.F.; Matos, I.C.; Roberto, F.A.C. (Org.). Rochas e Minerais Industriais do Estado do Ceará. Realce, Fortaleza/CE, v. 1, p. 148-161, 2005.
- Morrison, D.F. **Multivariate statistical methods**. 4 ed. New York: Duxbury Press, 2003. 415 p.
- Mota, J. C. A; Assis Júnior, R. N.; Amaro Filho, J. ; Romero, R. E. ; Mota, F. O. B.; Libardi, P. L. Atributos mineralógicos de três solos explorados com a cultura do melão na Chapada do Apodi - RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p. 445-454, 2007.
- Motomiya, A. V. A.; Molin, J. P.; Motomiya, W. R.; Vieira, S. R. Spatial variability of soil properties and cotton yield in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.996–1003, 2011.
- Moura, G. **Um Rio Grande e Macau**. Natal (RN): G. Moura, 2003.

- Muller, M. M. L. et al. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.11, p.1409-1418, 2001.
- Nogara Neto, F.; Roloff, G.; Dieckow, J.; Motta, A.C.V. Atributos de solo e cultura espacialmente distribuídos relacionados ao rendimento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1025-1036, 2011.
- Oliveira I.A; Campos, M. C. C; Marques Junior, J; Aquino, R.E; Texeira, D. B; Silva, D. M. P. Use of Scaled Semivariograms in the Planning Sample of Soil Physical Properties in Southern Amazonas, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.31-39, 2015.
- Oliveira, R. H.; Rosolem, C. A.; Trigueiro, R. M. Importância do fluxo de massa no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V. 28, p. 439 – 445, 2004.
- Oren, A. Saltern evaporation ponds as model systems for the study of primary production processes under hypersaline conditions. **Aquatic Microbial Ecology**, v. 56, p. 193- 204, 2009.
- Panitz, C. M. N. **Produção e decomposição de serrapilheira no manguezal do Itacorubi, Ilha de Santa Catarina, Brasil**. São Paula: Universidade Federal de São Carlos, 1986, p. 601. Tese de Doutorado.
- Parida, A, K.; JHA, B. Sal tolerance mechanisms in mangroves: a review. **Trees**, New York, v. 24, p. 199-217, 2010.
- Paye, H. de Sá.; Mello, J. W. V. de.; Melo, S. B. Métodos de Análise Multivariada no estabelecimento de valores de referência de qualidade para elementos-traço em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1031-1041, 2012.

- Pendleton R. L. Are soils mapped under a given type name by the Bureau of Soils method closely similar to one another? Univ. Calif. Publ. **Agricultural Science**. 1919. v. 3, p. 369-498.
- Perez-Hurtado, A.; Hortas, F.; Ruiz, F.; Solis, F. Importância de la Bahía de Cádiz para las poblaciones de limícolas invernantes e influencia de las transformaciones humanas. **Ardeola**, v. 40, p. 133–142, 2000.
- Pinheiro, M. V. A. **Evolução geoambiental e geohistórica das dunas costeiras de município de Fortaleza-CE**. Dissertação (Mestrado em geografia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2009. 182p.
- Pontes, J. M. **A geoestatística: aplicação em experimentos de campo**. 2002. 2 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária). Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Prado, R. M.; Centurion, J. F. Alterações da cor e no grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n1, p.197-203. 2001.
- Queiroz, S. O. P.; Testezlaf, R.; Matsura, E. E. Metodologia Para Avaliação da Salinidade do Solo em Ambiente Protegido. **Irriga**, v.14, n.3, p.383-397, 2009.
- Raij, B. V. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p.
- Ramos, M. C.; López-Acevedo, M. Zinc levels in vineyard soils from the Alt Penedès-Anoia region (NE Spain) after compost application. **Advances in Environmental Research**, v.8, p.687-696, 2004.

- Ramos, M.C. Metals in vineyard soils of the Penedès area (NE Spain) after compost application. **Journal of Environmental Management**, v.78, p.209-215, 2006.
- Reef, R.; Feeler, I. C.; Lovelock, C.E. **Nutrition of mangroves**. *Tree Physiology*, V.30, p. 1148-1160, 2010.
- Regazzi, A. J. INF 766 - Análise multivariada. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Departamento de Informática, 2001. 166p. **Apostila de disciplina**.
- Resende G. M.; Alvarenga, M. A. R.; Yuri, J. E.; Souza, R. J. Rendimento e teores de macronutrientes em alface americana em função de doses de nitrogênio e molibdênio. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 373-378. 2012.
- Rhoades, J. D.; Miyamoto, S. testing Soil for Salinity and Sodicity. In: Westerman, R. L.; Baird, J. V.; Christensen, N.W.; Fixen, P.E.; Whitney, D. A. **Soil testing and Plant Analysis**. Madisan, Wisconsin,USA, 1990. Cap. 12, p. 299-335.
- Ribeiro, M. R.; Barros, M. F. C.; Freire, M. B. G. S. **Química dos solos salinos e sódicos**. In: Melo, V. F.; Alleoni, L. R. F. (ed.). Química e mineralogia do solo. Parte II – Aplicações. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p.449-484.
- Ribeiro, M. T.; Filho, M. R. R.; Jacomine, P. K. T. **Origem e classificação dos solos afetados por sais**. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de. Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016. Cap. 1, p. 9-16.
- Richards, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington DC, US Department of Agriculture, 1954,160p. USDA Agricultural Handbook, 60.

RIO GRANDE DO NORTE (Estado). Assembléia Legislativa. **Lei Nº 8.299, de 29 de janeiro de 2003**. Dispõe sobre formas de escoamento do sal marinho produzido no Rio Grande do Norte e dá outras providências. Natal, Secretaria de Informática, 2003.

Robinson G. W., Lloyd W. E. On the probable error of sampling in soil surveys. **Journal of Agricultural Science**, 1915. v. 7, p. 144-153.

Rodrigues, C. R. F.; Silveira, J. A. G.; Silva, E. N.; Dutra, A. T. B.; Viegas, R. A. Transporte e distribuição de potássio atenuam os efeitos tóxicos do sódio em plantas jovens de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.223-232, 2012.

Rovai, A. S.; Menghini, R. P.; Schaeffer-Novelli, Y.; Cintron, G.; Coelho-Jr, C. Protecting Brazil's Coastal Wetlands. **Science Magazine** (Paris), v. 335, p. 1571-1572, 2012.

Ruiz, H. A.; Sampaio, R. A.; Oliveira, M. de.; Venegas, V. H. A. Características químicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, v.39, p.1119-1126, 2004.

Ruttenberg, K. C. The Global Phosphorus Cycles. In: Holland, H. D.; Turekian, K. K. **Treatise on Geochemistry**, local: Elsevier publishers, 2003, v.8, p. 583-643.

Samuel Adrian M., **Adshead. Palgrave Macmillan**, ed. Salt and Civilization, 1992.

Santana, J. S. **Formas de potássio e poder tampão potássico em solos com diferentes teores de argila**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2012, 77p.

- Santos, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- Santos, P. P. **Evolução econômica do Rio Grande do Norte (Século XVI a XXI)**. 3 ed. Natal: Departamento Estadual de Imprensa, 2010.
- Santos, P. R. **Atributos do solo em função dos diferentes usos em perímetro irrigado do sertão de Pernambuco**. 2010. 112f. Tese (Doutorado Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE.
- Schaeffer-Novelli, Y. **Manguezal ecossistema entre a terra e o mar**. Caribbean Ecological Research, 1996. 64p.
- Schloeder, C. A.; Zimmerman, N. E.; Jacobs, M. J. Comparison of methods for interpolating soil properties using limited data. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.65, p. 470-9, 2001.
- Scipioni, M. C.; Longhi, S. J.; Reinert, D. J.; Araújo, M. M.; Pedron, F. A. Tree distribution along a relief and soil gradient on the Southern of Serra Geral, Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, p.1295-1301, 2010.
- Serrano, J. M.; Peça, J. O.; Silva, J. R.; Shahidian, S. Medição e mapeamento da condutividade elétrica aparente do solo em pastagens. **Revista Ciências Agrárias**, v.33, p.5-14, 2010.
- Sherman, R. E.; Fahey, T. J. Soil-plant interactions in a Neotropical mangrove forest: iron, phosphorus and sulfur dynamics, **Ecologia**, v. 115, p. 553-563, 1998.
- SIESAL. Sindicato da Indústria da Extração do Sal no Estado do Rio Grande do Norte. **Atas das assembleias ordinárias**. Mossoró-RN, 2010.

- Silva, R. G.; Ribeiro, C. G. Análise da degradação ambiental na Amazônia Ocidental: um estudo de caso dos municípios do Acre. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 42, p. 93-112, 2004.
- Smith, A. P.; Chen, D.; Chalk, P. M. N₂ fixation by faba bean (*Vicia faba* L.) in a gypsum-amended sodic soil. **Biology and Fertility of Soils**, v.45, p.329-333, 2009.
- Sousa, F. C. O. A cidade e os homens das salinas. In: XXIV Simpósio Nacional de História, Associação Nacional de História – ANPUH, **Anais...** São Paulo, 17 e 22 de julho, 2007.
- Sousa, J. R. de; Queiroz, J. E.; Gheyi, H. R. Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo aluvial no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 03, n. 02, p.140-144, 1999.
- Souza Júnior, V. S.; Ribeiro, M. R.; Oliveira, L. B. Caracterização e Classificação de Solos Tiomórficos da Várzea do Rio Coruripe, no estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 25:977-986, 2001.
- Souza, E. R. de; Melo, H. F. de; Almeida, B. G. de; Melo, D. V. M. de. Comparação de métodos de extração da solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.510-517, 2013.
- Souza, H. **Teores e Concentrações de Cálcio e Magnésio no Cafeeiro Ressecado em Funções de doses e Fontes de P₂O₅**. Minas Gerais: 2008, 49f. Monografia (Tecnólogo em Cafeicultura) - Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, Minas Gerais. 2008.

- Souza, R. F. et al. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.953-964, 2006.
- Sparks, D. L. **Bioavailability of soil potassium**. In: Sumner, M. E. ed. Handbook of soil science. Boca Raton, CRC Press, 2000, Section D. p 48.
- Splechtna, B.E.; Klinka, K. Quantitative characterization of nutrient regimes of high-elevation forest soils in the Southern coastal region of British Columbia, Canada. **Geoderma**, Amsterdam, v. 102, n. 1-2, p. 153-174, 2001.
- Statsoft, INC. **Statistica for Windows – computer program manual**. Tulsa (OK): StatSoft, 1999.
- Teixeira, P. C.; Donagemma G. K.; Wenceslau, A. F.; Teixeira, G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017, 573 p.
- Tekest, M. Z.; Raper, R. L.; Schwab, E. B.; Seymour, L. Soil drying effects on spatial variability of soil hardpan attributes on pacolet sandy loam soil. **Transactions of the ASABE**. v. 52, p. 697-705, 2009.
- Ucha, J. M.; Hadlich, G. M.; Celino, J. J. *Apicum*: transição entre solos de encosta e manguezais. 2010. **Revista Educação Tecnologia e Cultura**, p 58-63. Disponível em: <http://www.nea.ufba.br/apicum/UCHA_ETC2008.pdf>. Acesso em 30 jan. 2018.
- Uchôa, C. do N.; Pozza, E. A.; Pozza, A. A. A.; Moraes, W. da S. Geostatistical Modeling of black-sigatoka and relation to soil fertility. **Bioscience Journal**, v. 27, p. 357-362, 2011.

Uren, N.C. Forms, reaction and availability of nickel in soils. **Advances in Agronomy**, v.48, p.141-203, 1992.

USSL STAFF - **United States Salinity Laboratory**. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1954. 160p. Handbook 60.

Valentin, J. L. **Ecologia numérica – uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2000. 117p.

Valladares, G. S.; Azevedo, E. C. de.; Camargo, O. A. de.; GREGO, C. R.; Rastoldo, A. M. C. S. SPATIAL Variability and copper and zinc availability in vineyards and nearby soils. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.3, p.733-742, 2009.

Vicini, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. 2005. 215 f. Monografia (Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS.

Vieillefon, J. Les sols des mangroves et des tannes de Basse-Casamance (Senegal). Importance du comportement geochemique du soufre dans leur pedogenese, **ORSTOU**, *Mem. n. 83*, p. 291. 1977.

Vieira, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, R. F.; Alvarez, V. V. H.; Schaefer, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.1-54.

Vieira, S. R.; Guedes Filho, O.; Chiba M. K.; Mellis, E. V.; Dechen, S. C. F.; Maria, I. C. de. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34. p.1503-1514, 2010.

- Villa, M. R.; Fernandes, L. A.; Faquin, V. Formas de potássio em solos de várzea e sua disponibilidade para o feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V. 28, p. 649 – 658, 2004.
- Villalobos, C. A.; Menanteau, L.; Domínguez, M. N.; Mille, S.; Prieto, F. J. G. Antropización histórica de um espacio natural Las salinas de la Bahía de Cádiz. **Revista Patrimônio Histórico**, V.35, p.172-185, 2001.
- Vila Nova, F. V. P.; Coelho, M. P.; Torres, M. F. A. Relação das espécies arbóreas do ecossistema manguezal com os padrões físico- químico de solo: estuário do Rio Macaípe, Ipojuca – PE. **Revista de Ciências Ambientais - RCA**, Canoas, vol. 10, n.1, 2016. <http://dx.doi.org/10.18316/1981-8858.16.25>.
- Vita, S.; Luna, F. J.; Teixeira, S. Descrições de técnicas da química na produção de bens de acordo com os relatos dos naturalistas viajantes no Brasil colonial e imperial. **Química. Nova**, V. 30, p. 1381- 1386, 2007.
- Weng, L.P.; Wolthoorn, A.; Lexmond, T.M.; Temminghoff, E.J.M.; Riemsdijk, W.H. van. Understanding the effects of soil characteristics on phytotoxicity and bioavailability of nickel using speciation models. **Environmental Science and Technology**, v.38, p.156-162, 2004.
- Wiend, Toni. **Otimização da Produção**. Informações Agronômicas n.117, março, p.19- 21, 2007.
- Winterwerp, J. C.; Kesteren, W. G. M. **Introduction to the physics of cohesive sediment in the marine environment**. Amsterdam: Elsevier, p.466, 2004.
- Wu, J; West, L.J.; Stewart, D.I. Effect of humic substances on Cu(II) solubility in kaolin-sand soil. **Journal of Hazardous Materials**, v.94, p.223-238, 2002.

- Yemefack, M.; Rossiter, D. G.; Njomgang, R. Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon. **Geoderma**, v. 125, p. 117-143, 2005.
- Yongming, H.; Peixuan, D.; Junji, C. Posmentier, E.S. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of XI'an, Central China. **Science Total Environment**, v.355, p.176-186, 2005.
- Yoshida, K. Plant biotechnology genetic engineering to enhance plant salt tolerance. **Journal Bioscience Bioengineering**, v.94, p.585–590, 2002.
- Zanão Júnior, L. A.; Lana, R. M. Q.; Carvalho-Zanão, M. P.; Guimarães, E. C. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um Latossolo em sistema de plantio direto. **Revista Ceres**, v.57, p.429- 438, 2010.
- Zimback, C. R. L. **Geoestatística**. Grupo de estudos e pesquisas agrárias geo referenciadas. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2003. p.1-25.
- Zonta, J. H.; Brandão, Z. N.; Medeiros, J. da C.; Sana, R. S.; Sofiatti, V. Variabilidade espacial do solo em área cultivada com algodoeiro no Cerrado do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.595-602, 2014.

APÊNDICE A

Apêndice A

Apêndice 1 – Matriz de correlação linear simples entre os atributos químicos do solo ao longo estuário do Rio Apodi-Mossoró/RN.

	pH	Ce	N	Mat.Org.	P	Na+	K+	Cl-	Ca	Mg	CTC	PST	RAS 1:2,5	RAK1:2,5	RCaT	RMgT	RKT
pH	1.00																
Ce	-0.56	1.00															
N	-0.09	0.15	1.00														
Mat.Org.	-0.42	0.60	0.47	1.00													
P	0.02	0.11	-0.13	-0.05	1.00												
Na+	-0.16	0.43	0.10	0.26	0.17	1.00											
K+	-0.15	0.32	0.11	0.26	0.25	0.86	1.00										
Cl-	-0.57	0.99	0.16	0.62	0.07	0.43	0.32	1.00									
Ca	-0.53	0.68	0.11	0.49	-0.04	0.30	0.25	0.70	1.00								
Mg	-0.45	0.89	0.12	0.48	0.17	0.40	0.30	0.87	0.49	1.00							
CTC	-0.39	0.73	0.12	0.45	0.16	0.89	0.77	0.73	0.66	0.67	1.00						
PST	0.34	-0.51	-0.19	-0.40	0.04	0.45	0.40	-0.51	-0.53	-0.46	0.03	1.00					
RAS 1:2,5	-0.63	0.95	0.01	0.50	0.16	0.36	0.25	0.95	0.71	0.84	0.67	-0.50	1.00				
RAK1:2,5	-0.19	0.69	0.31	0.48	0.10	0.39	0.33	0.69	0.41	0.68	0.55	-0.38	0.59	1.00			
RCaT	0.21	-0.25	-0.33	-0.47	0.39	0.32	0.16	-0.31	-0.43	-0.09	0.06	0.64	-0.18	-0.24	1.00		
RMgT	0.18	-0.49	-0.14	-0.31	-0.02	0.38	0.44	-0.47	-0.26	-0.54	0.06	0.81	-0.45	-0.40	0.33	1.00	
RKT	0.39	-0.37	-0.15	-0.40	-0.07	-0.26	-0.61	-0.38	-0.35	-0.30	-0.38	0.19	-0.33	-0.25	0.34	-0.08	1.00

Nota: Em vermelho, valores significativos no nível de significância = 0,05 (teste bicaudal)

Nota: Potencial Hidrogeniônico (pH_(água)), Condutividade elétrica (Ce_{es} 1: 2,5 dS m⁻¹), Nitrogênio (N g/ Kg⁻¹), Matéria Orgânica (M.O dag Kg⁻¹), Fósforo (P⁺ mg dm⁻³), Potássio (K⁺ Cmol_c dm⁻³), Sódio (Na⁺ Cmol_c dm⁻³), Cálcio (Ca²⁺ Cmol_c dm⁻³), Magnésio (Mg²⁺ Cmol_c dm⁻³), Capacidade de Troca de Cátions (CTC Cmol_c dm⁻³), Percentagem de Sódio Trocável (PST %), Cloreto (Cl⁻ g dm⁻³), Relação de adsorção de Sódio (RAS 1:2,5 mmol_c L⁻¹), Relação de adsorção de Potássio (RAK 1:2,5 mmol_c L⁻¹), Relação de Cálcio Trocável (RCaT 1:2,5 mmol_c L⁻¹), Relação de Magnésio Trocável (RMgT 1:2,5 mmol_c L⁻¹), Relação de Potássio Trocável (RKT 1:2,5 mmol_c L⁻¹).

Apêndice 2 – Matriz de correlação linear simples entre os micronutrientes e metais pesados do solo ao longo estuário do Rio Apodi-Mossoró/RN.

	Cu⁺²	Fe⁺³	Mn⁺²	Zn⁺²	Cr⁺³	Ni⁺²	Cd⁺²	Pb⁺²
Cu⁺²	1.00							
Fe⁺³	0.11	1.00						
Mn⁺²	-0.28	0.32	1.00					
Zn⁺²	0.44	0.38	0.03	1.00				
Cr⁺³	-0.06	0.03	0.37	0.01	1.00			
Ni⁺²	0.81	0.21	-0.17	0.48	-0.06	1.00		
Cd⁺²	0.19	0.26	-0.05	0.23	-0.33	0.41	1.00	
Pb⁺²	0.34	0.06	-0.06	0.35	0.09	0.54	0.70	1.00

Nota: Em vermelho, valores significativos no nível de significância = 0,05 (teste bicaudal).

Nota: Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Cádmio (Cd) e Chumbo (Pb) todos expressos em mg dm⁻³.

Apêndice 3 – Matriz de correlação linear simples entre os atributos físicos do solo ao longo estuário do Rio Apodi-Mossoró/RN.

	Silte	Argila	Silte/Argila	Dp.	A. M. G.	A. G.	A. M.	A. F.	A. M. F.
Silte	1.00								
Argila	0.17	1.00							
Silte/Argila	0.45	-0.66	1.00						
Dp.	-0.39	-0.29	0.08	1.00					
A. M. G.	-0.47	-0.20	-0.22	0.33	1.00				
A. G.	-0.48	-0.32	-0.14	0.33	0.90	1.00			
A. M.	-0.65	-0.54	-0.04	0.27	0.50	0.60	1.00		
A. F.	-0.56	-0.63	0.22	0.27	-0.06	-0.02	0.44	1.00	
A. M. F.	-0.27	-0.71	0.45	0.31	-0.11	-0.02	0.21	0.57	1.00

Nota: Em vermelho, valores significativos no nível de significância = 0,05 (teste bicaudal).

Nota: Areia, Silte, Argila, Silte/Argila (g/Kg); Densidade de Partícula (DP) em g cm⁻³; Areia muito fina (A. M. F.), Areia fina (A. F.), Areia média (A. M.), Areia Grossa (A. G.) e Areia muito Grossa (A. M. G.) (g).

Apêndice 4 – Matriz de correlação linear simples entre os atributos químicos, micronutrientes e metais pesados do solo longo estuário do Rio Apodi-Mossoró/RN.

	pH	Ce	N	Mat.Org.	P	Na+	K+	Cl-	Ca	Mg	CTC	PST	RAS 1:2,5	RAK1:2,5	RCaT	RMgT	RKT	Cu ⁺²	Fe ⁺³	Mn ⁺²	Zn ⁺²	Cr ⁺³	Ni ⁺²	Cd ⁺²	Pb ⁺²	
pH	1.00																									
Ce	-0.56	1.00																								
N	-0.09	0.15	1.00																							
Mat.Org.	-0.42	0.60	0.47	1.00																						
P	0.02	0.11	-0.13	-0.05	1.00																					
Na _s	-0.16	0.43	0.10	0.26	0.17	1.00																				
K _s	-0.15	0.32	0.11	0.26	0.25	0.86	1.00																			
Cl-	-0.57	0.99	0.16	0.62	0.07	0.43	0.32	1.00																		
Ca	-0.53	0.68	0.11	0.49	-0.04	0.30	0.25	0.70	1.00																	
Mg	-0.45	0.89	0.12	0.48	0.17	0.40	0.30	0.87	0.49	1.00																
CTC	-0.39	0.73	0.12	0.45	0.16	0.89	0.77	0.73	0.66	0.67	1.00															
PST	0.34	-0.51	-0.19	-0.40	0.04	0.45	0.40	-0.51	-0.53	-0.46	0.03	1.00														
RAS 1:2,5	-0.63	0.95	0.01	0.50	0.16	0.36	0.25	0.95	0.71	0.84	0.67	-0.50	1.00													
RAK1:2,5	-0.19	0.69	0.31	0.48	0.10	0.39	0.33	0.69	0.41	0.68	0.55	-0.38	0.59	1.00												
RCaT	0.21	-0.25	-0.33	-0.47	0.39	0.32	0.16	-0.31	-0.43	-0.09	0.06	0.64	-0.18	-0.24	1.00											
RMgT	0.18	-0.49	-0.14	-0.31	-0.02	0.38	0.44	-0.47	-0.26	-0.54	0.06	0.81	-0.45	-0.40	0.33	1.00										
RKT	0.39	-0.37	-0.15	-0.40	-0.07	-0.26	-0.61	-0.38	-0.35	-0.30	-0.38	0.19	-0.33	-0.25	0.34	-0.08	1.00									
Cu ⁺²	-0.70	0.74	0.02	0.39	0.18	0.25	0.28	0.75	0.63	0.55	0.52	-0.39	0.79	0.37	-0.21	-0.29	-0.38	1.00								
Fe ⁺³	-0.11	0.06	-0.15	-0.12	0.16	0.22	0.04	0.03	0.00	0.10	0.17	0.21	0.15	-0.18	0.62	0.01	0.24	0.11	1.00							
Mn ⁺²	0.22	-0.20	-0.07	-0.28	0.25	0.28	0.36	-0.26	-0.26	-0.04	0.10	0.39	-0.20	-0.04	0.46	0.19	-0.12	-0.28	0.32	1.00						
Zn ⁺²	-0.61	0.29	-0.07	-0.03	0.11	0.07	0.03	0.28	0.10	0.35	0.16	-0.09	0.35	-0.05	0.14	-0.15	-0.05	0.44	0.38	0.03	1.00					
Cr ⁺³	-0.16	-0.01	0.40	0.22	0.03	0.02	0.16	-0.03	0.00	0.12	0.03	-0.06	0.01	0.04	-0.07	0.05	-0.39	-0.06	0.03	0.37	0.01	1.00				
Ni ⁺²	-0.68	0.92	-0.01	0.46	0.13	0.38	0.26	0.92	0.70	0.79	0.68	-0.43	0.95	0.45	-0.16	-0.41	-0.31	0.81	0.21	-0.17	0.48	-0.06	1.00			
Cd ⁺²	-0.02	0.36	-0.38	-0.16	0.18	-0.02	-0.15	0.33	0.18	0.51	0.17	-0.29	0.43	0.13	0.17	-0.49	0.22	0.19	0.26	-0.05	0.23	-0.33	0.41	1.00		
Pb ⁺²	-0.34	0.56	-0.11	0.16	0.10	0.11	0.07	0.51	0.26	0.76	0.34	-0.35	0.59	0.32	-0.02	-0.40	-0.17	0.34	0.06	-0.06	0.35	0.09	0.54	0.70	1.00	

Nota: Em vermelho, valores significativos no nível de significância = 0,05 (teste bicaudal).

Nota: Potencial Hidrogeniônico (pH_{agua}), Condutividade elétrica (Ce_{es} 1: 2,5 dS m⁻¹), Nitrogênio (N g/ Kg⁻¹), Matéria Orgânica (M.O dag Kg⁻¹), Fósforo (P⁺ mg dm⁻³), Potássio (K⁺ Cmol_c dm⁻³), Sódio (Na⁺ Cmol_c dm⁻³), Cálcio (Ca²⁺ Cmol_c dm⁻³), Magnésio (Mg²⁺ Cmol_c dm⁻³), Capacidade de Troca de Cátions (CTC Cmol_c dm⁻³), Percentagem de Sódio Trocável (PST %), Cloreto (Cl g dm⁻³), Relação de adsorção de Sódio (RAS 1:2,5 mmol_c L⁻¹), Relação de adsorção de Potássio (RAK 1:2,5 mmol_c L⁻¹), Relação de Cálcio Trocável (RCaT 1:2,5 mmol_c L⁻¹), Relação de Magnésio Trocável (RMgT 1:2,5 mmol_c L⁻¹), Relação de Potássio Trocável (RKT 1:2,5 mmol_c L⁻¹). Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Cádmio (Cd) e Chumbo (Pb) todos expressos em mg dm⁻³.

Apêndice 5 – Matriz de correlação linear simples entre os atributos químicos e físicos do solo longo estuário do Rio Apodi-Mossoró/RN.

	pH	Ce	N	Mat.Org.	P	Na+	K+	Cl-	Ca	Mg	CTC	PST	RAS 1:2,5	RAK1:2,5	RCaT	RMgT	RKT	Silte	Argila	Silte/Argila	Dp.	A. M. G.	A. G.	A. M.	A. F.	A. M. F.	
pH	1.00																										
Ce	-0.56	1.00																									
N	-0.09	0.15	1.00																								
Mat.Org.	-0.42	0.60	0.47	1.00																							
P	0.02	0.11	-0.13	-0.05	1.00																						
Na _s	-0.16	0.43	0.10	0.26	0.17	1.00																					
K _s	-0.15	0.32	0.11	0.26	0.25	0.86	1.00																				
Cl-	-0.57	0.99	0.16	0.62	0.07	0.43	0.32	1.00																			
Ca	-0.53	0.68	0.11	0.49	-0.04	0.30	0.25	0.70	1.00																		
Mg	-0.45	0.89	0.12	0.48	0.17	0.40	0.30	0.87	0.49	1.00																	
CTC	-0.39	0.73	0.12	0.45	0.16	0.89	0.77	0.73	0.66	0.67	1.00																
PST	0.34	-0.51	-0.19	-0.40	0.04	0.45	0.40	-0.51	-0.53	-0.46	0.03	1.00															
RAS 1:2,5	-0.63	0.95	0.01	0.50	0.16	0.36	0.25	0.95	0.71	0.84	0.67	-0.50	1.00														
RAK1:2,5	-0.19	0.69	0.31	0.48	0.10	0.39	0.33	0.69	0.41	0.68	0.55	-0.38	0.59	1.00													
RCaT	0.21	-0.25	-0.33	-0.47	0.39	0.32	0.16	-0.31	-0.43	-0.09	0.06	0.64	-0.18	-0.24	1.00												
RMgT	0.18	-0.49	-0.14	-0.31	-0.02	0.38	0.44	-0.47	-0.26	-0.54	0.06	0.81	-0.45	-0.40	0.33	1.00											
RKT	0.39	-0.37	-0.15	-0.40	-0.07	-0.26	-0.61	-0.38	-0.35	-0.30	-0.38	0.19	-0.33	-0.25	0.34	-0.08	1.00										
Silte	0.20	0.30	0.35	0.19	-0.02	0.24	0.18	0.26	0.09	0.39	0.29	-0.20	0.15	0.57	-0.01	-0.35	-0.12	1.00									
Argila	-0.24	0.63	0.07	0.24	0.21	0.21	0.06	0.64	0.39	0.58	0.40	-0.44	0.60	0.66	-0.10	-0.52	0.05	0.17	1.00								
Silte/Argila	0.17	-0.21	0.28	0.16	-0.12	0.10	0.20	-0.23	-0.13	-0.15	0.00	0.21	-0.27	-0.12	0.02	0.20	-0.21	0.45	-0.66	1.00							
DP	0.09	-0.35	-0.27	-0.03	0.01	-0.15	-0.08	-0.35	-0.20	-0.32	-0.23	0.22	-0.28	-0.41	0.09	0.23	0.09	-0.39	-0.29	0.08	1.00						
A. M. G.	0.23	-0.35	-0.38	-0.22	0.11	-0.39	-0.33	-0.34	-0.24	-0.34	-0.41	0.08	-0.23	-0.51	0.06	0.00	0.24	-0.47	-0.20	-0.22	0.33	1.00					
A. G.	0.24	-0.37	-0.44	-0.23	0.03	-0.41	-0.34	-0.37	-0.25	-0.36	-0.44	0.12	-0.26	-0.53	0.08	0.03	0.26	-0.48	-0.32	-0.14	0.33	0.90	1.00				
A. M.	0.14	-0.49	-0.51	-0.37	-0.15	-0.36	-0.30	-0.47	-0.29	-0.52	-0.46	0.30	-0.38	-0.67	0.06	0.36	0.20	-0.65	-0.54	-0.04	0.27	0.50	0.60	1.00			
A. F.	-0.14	-0.40	-0.07	-0.13	-0.12	0.01	0.13	-0.39	-0.19	-0.45	-0.16	0.44	-0.34	-0.51	0.10	0.67	-0.14	-0.56	-0.63	0.22	0.27	-0.06	-0.02	0.44	1.00		
A. M. F.	-0.04	-0.40	0.20	-0.04	-0.19	-0.07	0.04	-0.39	-0.18	-0.40	-0.20	0.29	-0.41	-0.51	-0.04	0.44	-0.15	-0.27	-0.71	0.45	0.31	-0.11	-0.02	0.21	0.57	1.00	

Nota: Em vermelho, valores significativos no nível de significância = 0,05 (teste bicaudal). Nota: Potencial Hidrogeniônico ($\text{pH}_{\text{(águas)}}$), Condutividade elétrica (Ce_{es} 1: 2,5 dS m^{-1}), Nitrogênio (N g/ Kg^{-1}), Matéria Orgânica (M.O dag Kg^{-1}), Fósforo ($\text{P}^+ \text{mg dm}^{-3}$), Potássio ($\text{K}^+ \text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$), Sódio ($\text{Na}^+ \text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$), Cálcio ($\text{Ca}^{2+} \text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$), Magnésio ($\text{Mg}^{2+} \text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$), Capacidade de Troca de Cátions ($\text{CTC Cmol}_c \text{dm}^{-3}$), Percentagem de Sódio Trocável (PST %), Cloreto ($\text{Cl}^- \text{g dm}^{-3}$), Relação de adsorção de Sódio (RAS 1:2,5 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), Relação de adsorção de Potássio (RAK 1:2,5 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), Relação de Cálcio Trocável (RCaT 1:2,5 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), Relação de Magnésio Trocável (RMgT 1:2,5 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), Relação de Potássio Trocável (RKT 1:2,5 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$). Areia, Silte, Argila, Silte/Argila (g/Kg); Densidade de Partícula (DP) em g cm^{-3} ; Areia muito fina (A. M. F.), Areia fina (A. F.), Areia média (A. M.), Areia Grossa (A. G) e Areia muito Grossa (A. M. G.) (g).

Apêndice 6 – Matriz de correlação linear simples entre os micronutrientes, metais pesados e atributos físicos do solo longo estuário do Rio Apodi-Mossoró/RN.

	Cu^{+2}	Fe^{+3}	Mn^{+2}	Zn^{+2}	Cr^{+2}	Ni^{+2}	Cd^{+3}	Pb^{+2}	Silte	Argila	Silte/Argila	Dp.	A. M. G	A. G	A. M	A. F	A. M. F
Cu^{+2}	1.00																
Fe^{+3}	0.11	1.00															
Mn^{+2}	-0.28	0.32	1.00														
Zn^{+2}	0.44	0.38	0.03	1.00													
Cr^{+3}	-0.06	0.03	0.37	0.01	1.00												
Ni^{+2}	0.81	0.21	-0.17	0.48	-0.06	1.00											
Cd^{+2}	0.19	0.26	-0.05	0.23	-0.33	0.41	1.00										
Pb^{+2}	0.34	0.06	-0.06	0.35	0.09	0.54	0.70	1.00									
Silte	-0.06	-0.10	0.19	-0.32	0.20	0.06	0.06	0.10	1.00								
Argila	0.46	0.02	-0.25	0.13	-0.39	0.54	0.46	0.35	0.17	1.00							
Silte/Argila	-0.28	-0.03	0.35	-0.26	0.54	-0.28	-0.34	-0.16	0.45	-0.66	1.00						
Dp.	-0.21	0.10	-0.06	-0.05	0.00	-0.26	-0.02	-0.08	-0.39	-0.29	0.08	1.00					
A. M. G	-0.11	0.02	-0.12	-0.04	-0.25	-0.21	0.15	-0.09	-0.47	-0.20	-0.22	0.33	1.00				
A. G	-0.16	0.03	-0.07	-0.01	-0.20	-0.23	0.13	-0.08	-0.48	-0.32	-0.14	0.33	0.90	1.00			
A. M	-0.19	0.01	-0.01	0.04	-0.11	-0.31	-0.14	-0.18	-0.65	-0.54	-0.04	0.27	0.50	0.60	1.00		
A. F	-0.17	0.05	0.09	0.14	0.20	-0.25	-0.47	-0.26	-0.56	-0.63	0.22	0.27	-0.06	-0.02	0.44	1.00	
A. M. F	-0.28	0.04	0.16	0.15	0.45	-0.30	-0.42	-0.26	-0.27	-0.71	0.45	0.31	-0.11	-0.02	0.21	0.57	1.00

Nota: Em vermelho, valores significativos no nível de significância = 0,05 (teste bicaudal).

Nota: Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Cádmi (Cd) e Chumbo (Pb) todos expressos em mg dm^{-3} . Areia, Silte, Argila, Silte/Argila (g/Kg); Densidade de Partícula (DP) em g cm^{-3} ; Areia muito fina (A. M. F.), Areia fina (A. F.), Areia média (A. M.), Areia Grossa (A. G) e Areia muito Grossa (A. M. G.) (g).

Apêndice 7 – Função de classificação dos três ambientes analisados

Identificação das amostras	Observado no campo	Grupo C	Grupo S	Grupo N
CA1	C	C	S	N
CA2	C	C	S	N
CA3	C	C	S	N
CA4	C	C	N	S
CB1	C	C	S	N
CB2	C	C	S	N
CB3	C	C	S	N
CB4	C	C	S	N
CC1	C	C	N	S
CC2	C	C	N	S
CC3	C	C	N	S
CC4	C	C	S	N
SA1	S	S	N	C
SA2	S	S	N	C
SA3	S	S	N	C
*SA4	S	N	S	C
SB1	S	S	N	C
SB2	S	S	C	N
SB3	S	S	N	C
SB4	S	S	N	C
SC1	S	S	N	C
SC2	S	S	N	C
SC3	S	S	N	C
SC4	S	S	N	C
SD1	S	S	N	C
SD2	S	S	N	C
SD3	S	S	N	C
SD4	S	S	N	C
SE1	S	S	N	C
SE2	S	S	N	C
SE3	S	S	N	C
SE4	S	S	N	C
SF1	S	S	N	C
SF2	S	S	N	C
SF3	S	S	N	C
SF4	S	S	N	C
NA1	N	N	C	S
NA2	N	N	S	C
NA3	N	N	S	C
NA4	N	N	S	C
NB1	N	N	S	C
NB2	N	N	S	C
NB3	N	N	S	C
NB4	N	N	S	C
NC1	N	N	S	C
NC2	N	N	S	C

NC3	N	N	S	C
NC4	N	N	S	C
ND1	N	N	S	C
ND2	N	N	S	C
ND3	N	N	S	C
ND4	N	N	S	C

Nota: Área de estudo N, Área de estudo S e Área de estudo C. Onde contiver um *, significa que a função discriminante classificou a amostra de modo diferente do que foi definido previamente classificado pelo pesquisador.