

ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA E VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DA CAMADA SUPERFICIAL DOS SOLOS DO ESTADO DA PARAÍBA

Paulo Roberto Megna Francisco¹, Djail Santos², Flavio Pereira de Oliveira², George do Nascimento Ribeiro¹, Viviane Farias Silva¹, Raimundo Calixto Martins Rodrigues³

RESUMO

Este trabalho objetivou para a camada superficial dos solos do Estado da Paraíba, estimar a CTC e geoespacializar os atributos químicos utilizando técnicas de geoprocessamento. Foi criada uma planilha com dados das análises químicas do Na^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{2+} , Al^{3+} , H^+ , descritos nos perfis representativos. Utilizando-se o software QGIS[®] os solos foram classificados com os valores obtidos. A Capacidade de Troca Catiônica efetiva e Total dos solos foram estimadas por modelagem e classificados. Foi realizada a análise descritiva dos dados e o teste de normalidade utilizando o software RStudio[®] foram usados os testes de hipóteses não paramétricos. A CTC efetiva e Total seguiu a sequência dos Vertissolos>Luvisolos>Neossolos Flúvicos>Cambissolos>Plintossolos>Neossolos Quartzarênicos. A CTC efetiva distribuiu-se em 84,18% das terras na classe Média e Alta; em 15,82% na classe Baixa sob os Neossolos Litólicos e Regolíticos, Argissolos, e na região litorânea sob os Neossolos Quartzarênicos. A CTC Total apresentou-se na classe Alta em 37,17% com destaque sob os Neossolos Flúvicos. O Na^{2+} apresentou 83,35% das terras na classe Baixa; o Ca^{2+} fez em 65,84% nas classes Alta e Muito Alta sob os Vertissolos, Cambissolos, Luvisolos e Neossolos Flúvicos; o Mg^{2+} fez 57,53% nas classes Alta e Muito Alta distribuídas por toda a região semiárida; os valores de K^+ apresentou-se em 88,05% das terras na classe Baixa sob os Luvisolos, Vertissolos e Planossolos; o H^{2+} apresentou-se em 81,53% das terras na classe Baixa. A variável H^+ seguiu comportamento anormal na distribuição quanto aos quantis.

Palavras-chave: CTC, Saturação de bases, perfil do solo, geoespacialização.

ESTIMATE OF CATION EXCHANGE CAPACITY AND SPATIAL VARIABILITY OF THE CHEMICAL ATTRIBUTES OF THE SUPERFICIAL LAYER OF SOILS IN THE STATE OF PARAÍBA

ABSTRACT

This work aimed to estimate the CEC and geospatialize the chemical attributes for the surface layer of soils in the State of Paraíba using geoprocessing techniques. A spreadsheet was created with data from the chemical analyzes of Na^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{2+} , Al^{3+} , H^+ , described in representative profiles. Using the QGIS[®] software, the soils were classified with the values obtained. The effective and Total Cation Exchange Capacity of the soils were estimated by modeling and classified. A descriptive analysis of the data and a normality test were carried out using the RStudio[®] software, non-parametric hypothesis tests were used. Effective and Total CEC followed the sequence of Vertisols>Luvisols>Fluvic Neosols>Cambisols>Plintosols>Quartzarenic Neosols. The effective CTC was distributed in 84.18% of the lands in the Middle and Upper class; in 15.82% in the Lower class under Litholic and Regolitic Neosols, Argisols, and in the coastal region under Quartzarenic Neosols. CTC Total was in the Upper class at 37.17%, with emphasis on Fluvial Neosols. Na^{2+} presented 83.35% of the land in the Lower class; Ca^{2+} was 65.84% in the High and Very High classes under Vertisols, Cambisols, Luvisols and Fluvisols; Mg^{2+} made up 57.53% in the High and Very High classes distributed throughout the semi-arid region; K^+ values were present in 88.05% of the lands in the Low class under the Luvisols, Vertisols and Planosols; H^{2+} was present in 81.53% of the lands in the Lower class. The variable H^+ followed an abnormal behavior in the distribution in terms of quantiles.

Keywords: CEC, base saturation, soil profile, geospatialization.

INTRODUÇÃO

O território brasileiro é constituído por uma grande diversidade de tipos de solos, condicionados pelas diferentes formas e tipos de clima, material de origem, relevo e vegetação (COELHO et al., 2002). A abrangência das informações sobre a fertilidade dos solos do Brasil é bastante heterogênea e os dados em muitos casos relacionam-se aos levantamentos de solos, que são realizados a partir de perfis de solos (FERREIRA et al., 2008). Entretanto, os levantamentos tradicionais são ainda a principal fonte de informações sobre o solo no Brasil (LIMA et al., 2013). A amostragem do solo normalmente é realizada possibilitando conhecer os teores das bases trocáveis e outros componentes do solo a fim de permitir recomendar adubação e calagem, e também conhecer a condição do solo para armazenar e fornecer nutrientes aos vegetais (SERRAT & OLIVEIRA, 2006).

Nos últimos anos, abordagens quantitativas vêm sendo desenvolvidas, objetivando melhorar a precisão e a qualidade do mapeamento do solo e seus atributos (McBRATNEY et al., 2000, 2003; MENDONÇA-SANTOS; SANTOS, 2003; LAGACHERIE et al., 2007).

De acordo com Carvalho et al. (2002), cientistas da área de solos se preocupam com o problema de variação espacial e temporal dos solos desde o começo do século. Somente nas décadas de 50 e 60, com o avanço na teoria de estatística espacial, é que começaram a perceber a potencialidade deste instrumento para o manuseio de dados quantitativos, facilitando a compreensão da variabilidade do solo (BURROUGH et al., 1994). De acordo com Mcbratney et al. (2003), a variabilidade espacial e temporal dos nutrientes dos solos pode ser identificada e modelada através de métodos geoestatísticos ou de mapeamento digital de solos.

No Brasil, a demanda pelo mapeamento de solos é constante, ressaltando a necessidade de detalhamento nas informações e dados para a produção dos mapas pedológicos, requeridos para o desenvolvimento social e econômico planejado aliado ao uso sustentável dos recursos naturais (LIMA et al., 2013).

Pesquisas como a de Prado et al. (2008), onde realizaram o mapeamento da disponibilidade de potássio (K) a partir de dados limitados do perfil do solo para o território brasileiro onde afirmam que, o mapeamento da disponibilidade de K no solo é relevante porque o potássio é o segundo maior nutriente vegetal absorvido pelas principais culturas cultivadas no Brasil, como soja, café, feijão, algodão (BERNARDI et al., 2002). Ainda Prado et al. (2008), quanto aos níveis de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), observaram estarem relacionados aos níveis de K, enquanto o alumínio (Al) do solo apresentou-se negativamente correlacionado com o K.

Pela capacidade de troca catiônica (CTC), ser uma importante propriedade do solo e considerada como um indicador vital de sua qualidade, Chagas et al. (2015), elaboraram um mapeamento digital da CTC em solos do semiárido brasileiro utilizando a cokrigagem e concluíram que apresenta uma forte dependência espacial na área. Andrade (2010) realizando mapeamento digital da fertilidade do solo do Estado do Rio de Janeiro, utilizando análise espacial, elaboraram mapas indicativos de nutrientes do solo, que podem auxiliar no planejamento adequado e eficaz da aplicação de fertilizantes.

Vettorato (2003), realizou o mapeamento da fertilidade do solo utilizando sistema de informação geográfica e observou que os métodos de interpolação foram eficientes; Alves et al. (2011) em mapeamento e interpretação de atributos físico-químicos do solo utilizou análise de componentes principais; Scalon (2020), avaliando a variabilidade espacial da fertilidade do solo utilizando estatística pôde elaborar mapas de recomendação.

A estatística descritiva compreende técnicas que se usam para resumir e descrever dados. A estatística descritiva, de acordo com Silvestre (2007), é constituída pelo conjunto de métodos destinados à organização e descrição dos dados através de indicadores sintéticos ou sumários. Várias pesquisas em diversas áreas e com variadas ferramentas a utilizaram, como Lima et al. (2009) em variabilidade espacial da textura de solo e vegetação.

Neste sentido, as geotecnologias oferecem um vasto conjunto de ferramentas para

subsidiar tomada de decisões sobre os diversos recursos naturais. Através dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é possível conhecer a comportamento espacial de elementos, além de possibilitar a integração de diferentes informações entre si a partir da localização espacial (BARBOSA, 1997).

Portanto, propõe-se neste trabalho, para a camada superficial dos solos do Estado da Paraíba, estimar a CTC e geoespacializar os atributos químicos utilizando técnicas de geoprocessamento.

MATERIAL E MÉTODOS

O Estado da Paraíba, localizado na região Nordeste do Brasil, apresenta uma área de 56.467,24 km² (IBGE, 2021). Seu posicionamento encontra-se entre os paralelos 6°02'12" e 8°19'18"S, e entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45"W. Ao Norte, limita-se com o Estado do Rio Grande do Norte; ao Leste,

com o Oceano Atlântico; a Oeste, com o Estado do Ceará; e ao Sul, com o Estado de Pernambuco (FRANCISCO, 2010).

As classes predominantes de solos área de estudo estão descritas no Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978), e estas diferem pela diversidade geológica, pedológica e geomorfológica; atendendo também a uma diversidade de características de solo, relacionadas à morfologia, cor, textura, estrutura, declividade e pedregosidade e outras características (FRANCISCO et al., 2013). De uma forma geral os solos predominantes são os Luvisolos crômicos, Neossolos Litólicos, Planossolos Solódicos, Neossolos Regolíticos Distróficos e Eutróficos distribuídos pela região do sertão e nos cariris, os Vertissolos na região de Souza, e os Argissolos Vermelho Amarelo e os Neossolos Quartzarênicos no litoral do Estado (FRANCISCO, 2010) (Figura 1).

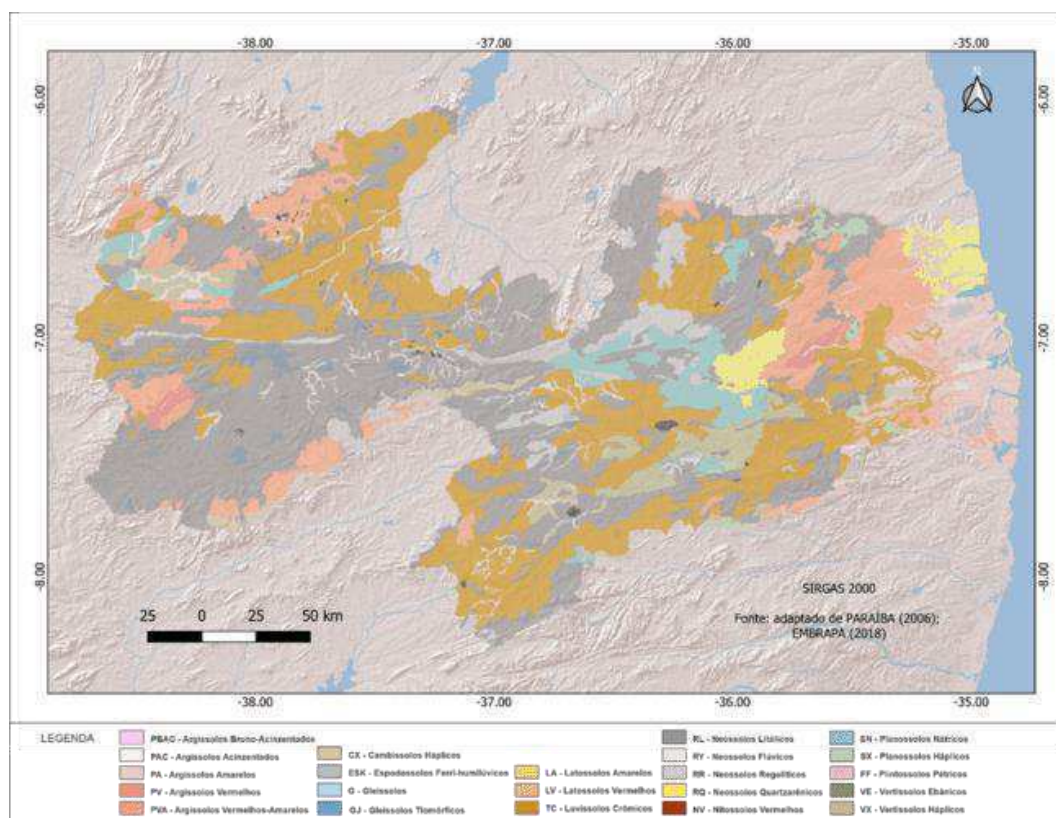


Figura 1. Solos do Estado da Paraíba.

Fonte: adaptado de PARAÍBA (2006); IBGE (2021); EMBRAPA (2018); ESRI (2022).

Para a elaboração dos mapas foi criada uma planilha no Excel[®] onde utilizou-se dos dados das análises químicas do Na²⁺ (cmolc kg⁻¹), Ca²⁺ (cmolc kg⁻¹), Mg²⁺ (cmolc kg⁻¹), K²⁺ (cmolc kg⁻¹), Al³⁺ (cmolc kg⁻¹), H⁺ (cmolc kg⁻¹), descritos nos perfis representativos de BRASIL

(1972) (Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba) e PARAÍBA (1978) (Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba) e EMBRAPA (2017) (Levantamento pedológico detalhado e estoque de carbono orgânico do solo da Floresta Nacional

Restinga de Cabedelo). A seleção das variáveis químicas de fertilidade do solo está associada diretamente com a essencialidade destes nutrientes para as plantas.

Utilizando-se o software QGIS[®] 3.28 foi importado arquivo digital em formato shape dos solos da área de estudo na escala de 1:200.000 fornecido pela AESA (PARAÍBA, 2006), representando a área de estudo e a ocorrência e

distribuição das classes de solos predominantes no Estado com seus limites atualizados (IBGE, 2021). Em seguida, utilizando a tabela de atributos do Sistema de Informação Geográfica, os polígonos dos solos foram classificados com os valores obtidos. Após foram elaborados os respectivos mapas conforme a Tabela 1. Para os cálculos de áreas foi utilizada a calculadora *raster* e o *plugin GRASS[®] r.report*.

Tabela 1. Classificação dos parâmetros das variáveis e da modelagem

Classe	Na ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	CTC Total	CTC Efetiva
	----- cmolc kg ⁻¹ -----							
Baixa	0 - 30	0 - 1,5	0 - 0,5	< 60	< 0,3	< 4,0	< 4,5	< 2,5
Média	30 - 60	1,5 - 3,0	0,5 - 1,0	60 - 150	0,3 - 1,0	4,0 - 8,0	4,5 - 10	2,5 - 6,0
Alta	60 - 90	3,0 - 4,5	1,0 - 2,0	> 150	> 1,0	> 8,0	> 10	> 6,0
Muito Alta	> 90	> 4,5	> 2,0					

Fonte: adaptado de Lopes e Guilherme (1992).

A partir dos dados obtidos, a Capacidade de Troca Catiônica, CTC efetiva e CTC Total dos solos foram estimadas por modelagem através da calculadora *raster* do QGIS utilizando as Equações 1 e 2 e classificados conforme a Tabela 1.

$$CTC \text{ efetiva} = SB + Al^{3+} \text{ (Eq.1)}$$

$$CTC \text{ Total} = SB + (H^+ + Al^{3+}) \text{ (Eq.2)}$$

Em que: CTC efetiva – capacidade de troca de cátions efetiva (cmolc kg⁻¹); CTC Total – capacidade de troca de cátions total (cmolc kg⁻¹); SB (Na²⁺, K²⁺, Mg²⁺, Ca²⁺) – soma de bases trocáveis (cmolc kg⁻¹); Al³⁺ – concentração de alumínio trocável no solo (cmolc kg⁻¹); H⁺ - hidrogênio (cmolc kg⁻¹).

No tratamento estatístico foi realizada a análise descritiva dos dados e o teste de normalidade utilizando o software RStudio[®] v.2023. Para avaliação foi utilizado a regressão

clássica, conforme o modelo de regressão (Equação 3).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon_i \text{ (Eq.3)}$$

Onde: Y_i é uma observação da variável dependente; X₁, X₂, ..., X_n são as variáveis independentes; β = (β₀, β₁, β₂, ..., β_n) são referidos como coeficientes de regressão correspondentes, e ε_i é o erro associado às observações da variável dependente.

Para verificar se as amostras procediam de uma determinada distribuição de probabilidade, foram usados os testes de hipóteses não paramétricos de Anderson-Darling (1954), Shapiro-Wilk (1965), Lilliefors (1967).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os valores dos atributos químicos dos solos descritos nos boletins e a estimativa de determinação da CTC efetiva e CTC Total.

Tabela 2. Parâmetros da modelagem

Município/ amostra	N.o Perfil	Classe de solos	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ²⁺	Al ³⁺	H ²⁺	CTC efet	CTC Total
Areia	1*	Latossolos Amarelos – LA	0,27	0,17	0,05	0,05	2,44	12,62	2,98	15,6
Litoral	3*	Latossolos Amarelos – LA	0,17	0,05	0,05	0,04	1,72	7,94	2,03	9,97
Cuité	4	Latossolos Amarelos – LA	1,00	0,80	0,10	0,04	0,40	1,90	2,34	4,24
Araruna	6*	Latossolos Amarelos – LA	1,00	0,50	0,10	0,05	0,30	2,00	1,95	3,95
Mamanguape	7	Argissolos Acinzentados – PAC	0,80	0,60	0,08	0,04	0,20	2,80	1,72	4,52
Natuba	6	Argissolos Amarelos – PA	2,60	1,90	0,29	0,06	1,20	6,20	6,05	12,25
Pitimbu	8	Argissolos Amarelos – PA	5,10	2,50	0,20	0,08	0,20	7,30	8,08	15,38
Rio Tinto	9	Argissolos Amarelos – PA	2,30	0,60	0,05	0,03	0	2,40	2,98	5,38
Sapé	10	Argissolos Amarelos – PA	0,60	1,40	0,08	0,05	1,30	5,50	3,43	8,93
P. de Fogo	11	Argissolos Amarelos – PA	0	5,00	0,07	0,09	2,70	10,10	7,86	17,96
Sapé	18	Argissolos Amarelos – PA	0,50	0,50	0,08	0,30	0,20	1,50	1,58	3,08

Alhandra	3	Argissolos Vermelho-Amarelos – PVA	0	6,00	0,03	0,01	0,20	2,40	6,24	8,64
P. Isabel	12	Argissolos Vermelho-Amarelos – PVA	3,80	1,20	0,42	0,14	0	2,90	5,56	8,46
Jacaráú	19	Argissolos Vermelho-Amarelos – PVA	0,90	0,10	0,13	0,05	0	1,30	1,18	2,48
Areia	20	Argissolos Vermelho-Amarelos – PVA	1,20	0,60	0,09	0,04	1,10	4,30	3,03	7,33
B. de S. Fé	13	Argissolos Vermelhos – PV	2,30	1,00	0,17	0,07	0,90	3,00	4,44	7,44
Teixeira	15	Argissolos Vermelhos – PV	6,80	1,80	0,50	0,05	0	1,20	9,15	10,35
Guarabira	21	Argissolos Vermelhos – PV	2,30	2,00	0,12	0,16	0,70	5,70	5,28	10,98
Lagoa Seca	22	Argissolos Vermelhos – PV	5,10	3,00	0,38	0,11	0,20	6,80	8,79	15,59
Alagoa G.	23	Argissolos Vermelhos – PV	5,20	1,70	0,26	0,05	0	2,50	7,21	9,71
Jacaráú	19	Plintossolos Argilúvicos – FT	0,90	0,10	0,13	0,05	0	1,30	1,18	2,48
Teixeira	14	Plintossolos Pétricos – FF	2,30	1,00	0,17	0,07	0,9	3,00	4,44	7,44
Pombal	24	Luvissolos Crômicos – TC	4,70	1,50	0,24	0,05	0	1,60	6,49	8,09
Monteiro	25	Luvissolos Crômicos – TC	11,00	3,70	0,64	0,09	0	2,70	15,43	18,13
Patos	26	Luvissolos Crômicos – TC	5,10	3,40	0,18	0,05	0	1,30	8,73	10,03
Solânea	27	Luvissolos Crômicos – TC	3,00	2,40	0,89	0,15	0	1,90	6,44	8,34
Sapé	28	Luvissolos Crômicos – TC	5,10	5,50	0,20	0,17	0,20	3,50	11,17	14,67
Ingá	29	Luvissolos Crômicos – TC	4,30	3,40	0,36	0,21	0	2,30	8,27	10,57
S. Miguel de Taipu	30	Luvissolos Crômicos – TC	16,00	2,20	0,41	0,15	0	0	18,76	18,76
São Mamede	31	Luvissolos Crômicos – TC	5,70	1,80	0,45	0,17	0	2,10	8,12	10,22
B. de S. Rosa	32	Luvissolos Crômicos – TC	6,10	2,10	0,70	0,08	0	0	8,98	8,98
Cuité	33	Luvissolos Crômicos – TC	3,50	2,50	0,09	0,13	0	0,40	6,22	6,62
Gurinhém	34	Planossolos Háplicos – SX	3,00	1,80	0,64	0,13	0	2,00	5,57	7,57
Tacima	35	Planossolos Háplicos – SX	3,00	2,20	0,72	0,15	0	2,30	6,07	8,37
Tavares	16	Cambissolos Háplicos – CX	4,30	1,00	0,36	0,06	0	1,30	5,72	7,02
P. Isabel	36	Cambissolos Háplicos – CX	5,70	1,50	0,28	0,11	0	1,00	7,59	8,59
Taperoá	37	Cambissolos Háplicos – CX	3,10	0,90	0,49	0,06	0	2,50	4,55	7,05
Conceição	55	Cambissolos Háplicos – CX	11,10	2,40	0,33	0,22	0	1,30	14,05	15,35
Queimadas	39	Vertissolos Ebânicos – VE	11,9	9,20	0,20	0,62	0	2,10	21,92	24,02
C. Grande	38	Vertissolos Háplicos – VX	25,2	21,2	0,15	0,49	0	0	47,04	47,04
Souza	40	Vertissolos Háplicos – VX	28,2	7,20	0,91	0,70	0	0	37,01	37,01
Sumé	41	Vertissolos Háplicos – VX	10,6	6,80	0,68	0,15	0	1,20	18,23	19,43
Boqueirão	42	Vertissolos Háplicos – VX	15,6	17,0	0,38	0,49	0	1,20	33,47	34,67
Cubatí	43	Planossolos Nátricos – SN	4,10	1,10	0,25	0,12	0	2,30	5,57	7,87
C. Grande	44	Planossolos Nátricos – SN	3,70	1,40	0,23	0,17	0	1,90	5,50	7,40
Uiraúna	45	Planossolos Nátricos – SN	3,60	1,50	0,25	0,05	0	0,4	5,40	5,80
Conde	46	Espodossolos Ferri-humilúvicos – ESK	0	3,00	0,03	0,03	0,20	2,00	3,26	5,26
Santa Rita	47	Neossolos Flúvicos – RY	9,20	8,30	0,26	0,45	0,30	6,40	18,51	24,91
S. J. de Piranhas	48	Neossolos Litólicos – RL	3,50	1,40	0,37	0,11	0,50	2,00	5,88	7,88
S. dos Garrotes	49	Neossolos Litólicos – RL	6,30	4,20	0,37	0,06	0	1,50	10,93	12,43
Picuí	50	Neossolos Litólicos – RL	2,60	3,10	0,24	0,53	0,20	1,20	6,67	7,87
Umbuzeiro	51	Neossolos Litólicos – RL	2,10	1,10	0,43	0,11	0,50	2,50	4,24	6,74
Soledade	53	Neossolos Litólicos – RL	3,30	1,30	0,39	0,09	0	0,90	5,08	5,98
Piancó	56	Neossolos Litólicos – RL	2,70	1,10	0,08	0,04	0,20	3,20	4,12	7,32
Alagoinhas	59	Neossolos Litólicos – RL	4,60	1,70	0,38	0,08	0	5,40	6,76	12,16
Araruna	52	Neossolos Regolíticos – RR	3,50	1,50	0,49	0,10	0	1,80	5,59	7,39
Souza	54	Neossolos Regolíticos – RR	0,50	0,30	0,33	0,05	0,20	1,30	1,38	2,68
Junco do Seridó	57	Neossolos Regolíticos – RR	1,60	0,80	0,20	0,05	0	1,10	2,65	3,75
Fagundes	58	Neossolos Regolíticos – RR	6,40	2,50	1,00	0,36	0	1,80	10,26	12,06
Solânea	60	Neossolos Regolíticos – RR	1,30	0,50	0,10	0,05	0	1,50	1,95	3,45
Livramento	62	Neossolos Regolíticos – RR	4,80	0,50	0,15	0,04	0	0	5,49	5,49
Teixeira	61	Neossolos Quartzarênicos – RQ	0,01	0,80	0,15	0,04	0,20	0,90	1,20	2,10
C. Grande	63	Neossolos Quartzarênicos – RQ	0	3,00	0,04	0,04	0,30	1,50	3,38	4,88
Cabedelo	64	Neossolos Quartzarênicos – RQ	1,50	0,20	0,01	0,03	0	0,10	1,74	1,84
Conde	**	Gleissolos Tiomórficos Órticos sálicos - GJ	1,60	1,10	0,02	0,03	0,10	3,30	2,85	6,15
Conde	**	Gleissolos - G	1,00	5,40	0,02	0,25	0	0,20	6,67	6,87

Fonte: BRASIL (1972); *PARAÍBA (1978); **EMBRAPA (2017); EMBRAPA (2018).

Pelos resultados obtidos, pode-se observar na Figura 2, a distribuição espacial dos dados das variáveis.

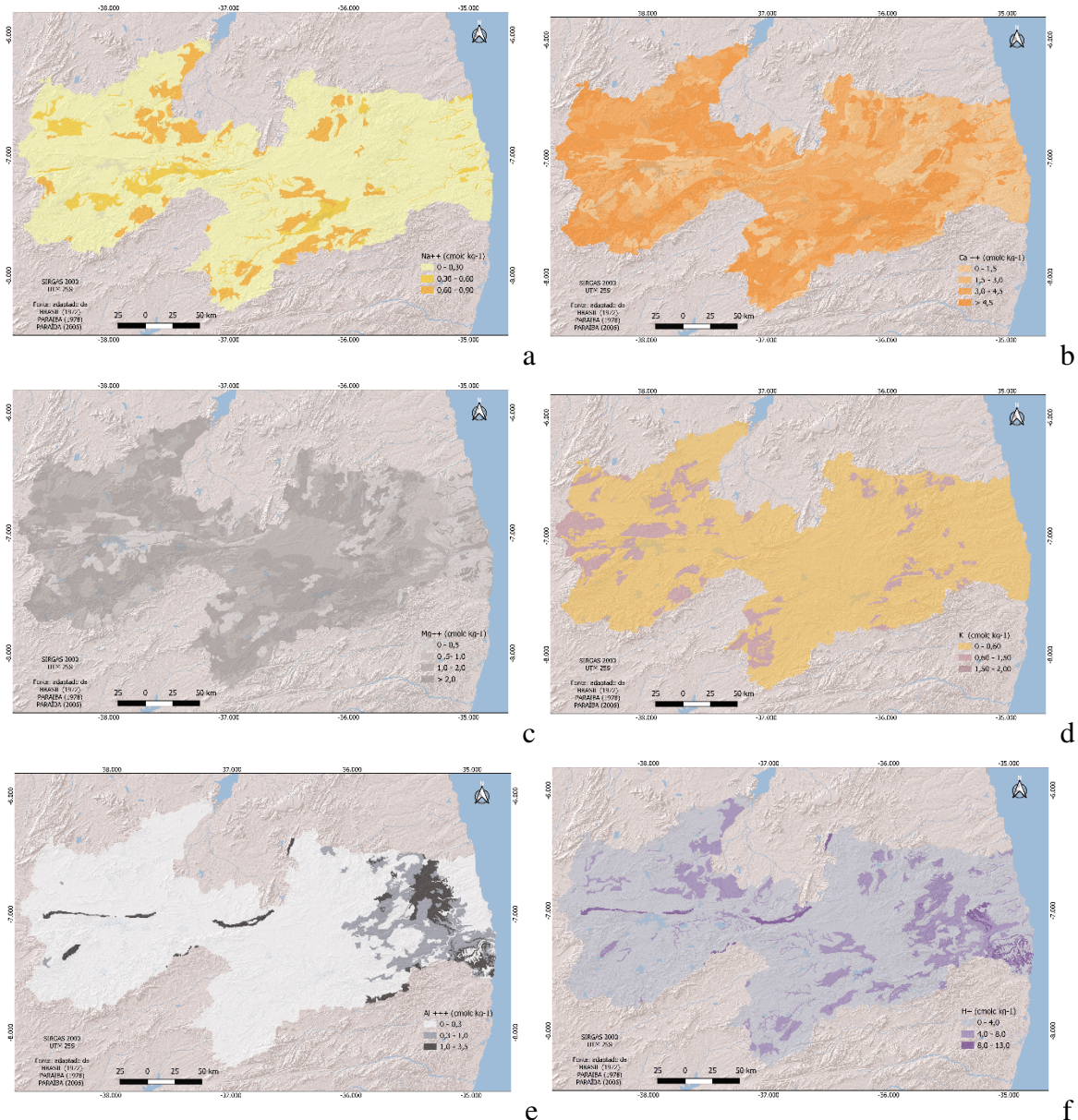


Figura 2. (a) Na^{2+} , (b) Ca^{2+} , (c) Mg^{2+} , (d) K^{2+} , (e) Al^{3+} , (f) H^{+} , (cmolc kg^{-1}).
 Fonte: adaptado de PARAÍBA (2006); IBGE (2021); EMBRAPA (2018); ESRI (2022).

Na Figura 3a e 3b verifica-se a distribuição espacial da CTC efetiva e da CTC Total, respectivamente. Observa-se que a CTC efetiva e Total segue a sequência dos Vertissolos, Luvisolos, Neossolos Flúvicos, Cambissolos e finaliza com os Plintossolos e Neossolos Quartzarênicos. A CTC efetiva distribui-se em 84,18% das terras do Estado nas classes Média ($2,5 - 6,0 \text{ cmolc kg}^{-1}$) e Alta ($>6,0 \text{ cmolc kg}^{-1}$).

Na classe Baixa ($<2,5 \text{ cmolc kg}^{-1}$) apresenta 15,82% sob os Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos na região semiárida, e so Argissolos no Agreste e Litoral, na região norte litorânea sob os Neossolos Quartzarênicos. Quanto a CTC Total apresenta-se na classe Alta em 37,17% ($>10,0 \text{ cmolc kg}^{-1}$) com destaque aos Neossolos Flúvicos.

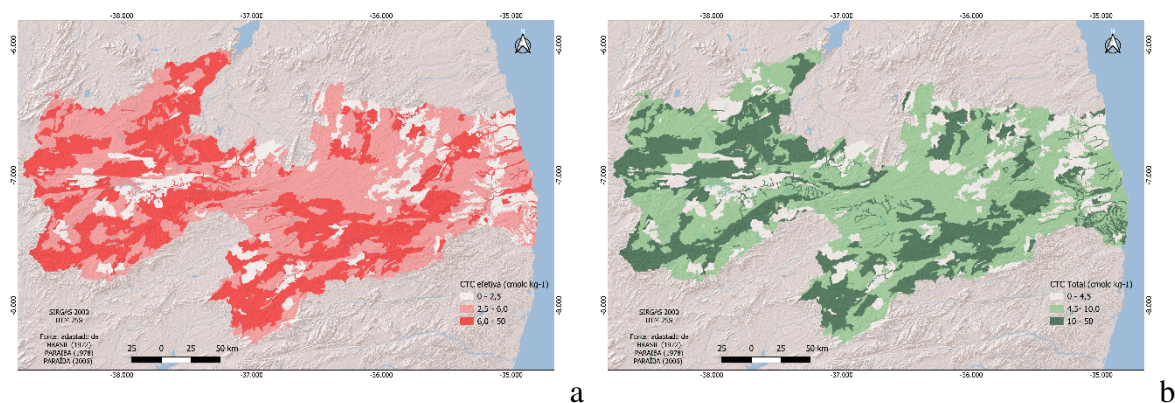


Figura 3. (a) CTC efetiva, (b) CTC Total (cmolc kg⁻¹).

Fonte: adaptado de PARAÍBA (2006); IBGE (2021); EMBRAPA (2018); ESRI (2022).

Para o Neossolo Litólico localizado no município de Remígio, Vendrusco et al. (2022) em áreas de reserva florestal obtiveram valores 3,85 e 5,95 cmolc kg⁻¹ para a CTC efetiva e CTC Total, respectivamente. Macedo et al. (2022) para os Luvisolos Crômicos no município de Boqueirão obtiveram 21,3 e 21,8 cmolc kg⁻¹ para a CTC efetiva e CTC Total, respectivamente. Silva (2016), para o Argissolo Vermelho Amarelo da região do Brejo, obteve valores em cmolc kg⁻¹ para a CTC efetiva e CTC Total de 6,49 e 11,29, respectivamente. Resultados similares ao deste trabalho.

Os teores considerados bons para as plantas estão acima de 8,61 (cmolc kg⁻¹), mas os valores ótimos são acima de 15 cmolc kg⁻¹ (TOMÉ JR., 1997). As regiões que apresentam maior nível de CTC, estão associadas aos Gleissolos e aos Cambissolos. Os Gleissolos, em geral, possuem um acúmulo de matéria orgânica importante para a manutenção de uma boa CTC, e ocorrem em relevo plano, ao longo das várzeas,

nas regiões litorâneas, e nas planícies costeiras (ANDRADE, 2010).

Sobral et al. (2015) afirmam que, valores maiores de CTC do que 15 cmolc kg⁻¹ indicam presença de argila 2:1 na fração argila. Valores menores que 5 cmolc kg⁻¹ indicam baixo teor de argila ou predominância de argila 1:1 como a caulinita. Em solos intemperizados como os dos Tabuleiros Costeiros, boa parte da CTC vem da matéria orgânica.

Silva (2018) afirma que, os solos apresentam diferentes resultados de CTC Total, ou seja, da quantidade de cargas negativas que dispõem para reter os cátions. Isto ocorre em razão do material de origem do solo e outros fatores como clima, presença de matéria orgânica, etc.

Na Tabela 3 pode-se observar a distribuição das classes referente aos parâmetros químicos dos perfis, da estimativa da CTC efetiva e CTC Total.

Tabela 3. Distribuição espacial dos parâmetros

Atributo/Classe	Baixa		Média		Alta		Muito Alta	
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Na ²⁺	47.063,22	83,35	3.994,25	7,07	5.409,77	9,58	-	-
Ca ²⁺	11.283,20	19,98	8.005,26	14,18	19.728,48	34,94	17.450,30	30,90
Mg ²⁺	418,13	0,74	23.566,14	41,73	13.912,18	24,64	18.570,80	32,89
K ⁺	49.719,21	88,05	6.748,04	11,95	-	-	-	-
Al ³⁺	49.827,72	88,24	3.939,33	6,98	2.700,19	4,78	-	-
H ²⁺	46.038,60	81,53	9.351,16	16,56	1.077,48	1,91	-	-
CTC efetiva	8.933,18	15,82	22.533,01	39,90	25.001,06	44,28	-	-
CTC Total	9.113,69	16,14	26.366,84	46,69	20.986,71	37,17	-	-

Através da Figura 2a, representativa da distribuição espacial do Na²⁺, e consultando a Tabela 3, pode-se verificar que, a classe Baixa (<30,0 cmolc kg⁻¹) representa 83,35% da área do Estado, sob a diversidade de solos, seguida da

classe Alta (60,0–90,0 cmolc kg⁻¹) distribuída em 9,58% sob os Luvisolos, seguida da classe Média (30,0–60,0 cmolc kg⁻¹) em 7,07%, sob os Vertissolos, Neossolos Regolíticos, e Neossolos Flúvicos distribuídos nas áreas de drenagens.

No mapa de distribuição do Ca^{2+} (Figura 2b) observa-se que as classes Baixa ($<1,5 \text{ cmolc kg}^{-1}$) e Média ($1,5\text{--}3,0 \text{ cmolc kg}^{-1}$) representam 34,16% do total localizadas sob os Neossolos Quartzarênicos na região do Litoral, Neossolos Regolíticos e Litólicos distribuídos por toda a área. As classes Alta ($3,0\text{--}4,5 \text{ cmolc kg}^{-1}$) e Muito Alta ($>4,5 \text{ cmolc kg}^{-1}$) perfazem 65,84% e localizam-se sob os Vertissolos, Cambissolos, Luvisolos e Neossolos Flúvicos.

Correa et al. (2003), avaliando os atributos dos solos da região das Várzeas de Sousa, com ocorrência dos Vertissolos, observaram que, o cálcio se apresentou como o principal contribuinte na soma de bases trocáveis (SB), seguido pelo magnésio, refletindo, assim, a natureza do material de origem (argilitos e arenitos calcíferos), ocupando em média, 62 e 26% do complexo sortivo, respectivamente.

O Ca^{2+} , por sua vez, é um nutriente com papel preponderante no crescimento radicular das plantas (RITCHEY et al., 1982). Quando a saturação de Ca^{2+} no complexo de troca é inferior a 20%, há forte limitação ao crescimento das raízes no solo, na maioria das espécies cultivadas (QUAGGIO, 2000).

Para o Mg^{2+} (Figura 2c) a classe Baixa ($<0,5 \text{ cmolc kg}^{-1}$) está representada pelos Latossolos Amarelos em 0,74% da área; seguida pela classe Média ($0,5\text{--}1,0 \text{ cmolc kg}^{-1}$) (41,73%) sob os Neossolos Quartzarênicos e Regolíticos. A classe Alta ($1,0\text{--}2,0 \text{ cmolc kg}^{-1}$) e Muito Alta ($>2,0 \text{ cmolc kg}^{-1}$) perfazem um total de 57,53% e estão distribuídas por toda a região semiárida.

Os valores de K^+ e sua distribuição representados na Figura 2d, apresentam-se na sua maioria (88,05%) na classe Baixa ($<60,0 \text{ cmolc kg}^{-1}$) seguida pela classe Média ($60,0\text{--}150,0 \text{ cmolc kg}^{-1}$) em 11,95% da área sob os Luvisolos na região semiárida e pelos Vertissolos e Planossolos sob o Planalto da Borborema e Agreste.

Conforme Almeida (1988), para que os teores de potássio trocável K^+ sejam ideais para a maioria das plantas, o potássio deve ser maior que $0,23 \text{ (cmolc kg}^{-1})$. O potássio também é importante para a manutenção da quantidade de água nas plantas. Este nutriente também

influencia na absorção de água pela célula e pelos tecidos.

Os Argissolos da região litorânea sul do Estado, os Neossolos Litólicos e Luvisolos da região do Agreste constituem as classes Média ($0,3\text{--}1,0 \text{ cmolc kg}^{-1}$) e Alta ($>1,0 \text{ cmolc kg}^{-1}$) de teor de Al^{3+} em 11,76% (Figura 2e). A classe Baixa ($<3,0 \text{ cmolc kg}^{-1}$) está distribuída em 88,24% do Estado.

Quanto ao H^{2+} (Figura 2f) representa 81,53% na classe Baixa ($<4,0 \text{ cmolc kg}^{-1}$), seguida da classe Média ($4,0\text{--}8,0 \text{ cmolc kg}^{-1}$) e Alta ($>8,0 \text{ cmolc kg}^{-1}$) em 18,47% sob os Neossolos Quartzarênicos no Sertão e os Argissolos Vermelhos no Agreste e Litoral Sul.

Para o Neossolo Litólico, Vendruscoso et al. (2022), obtiveram valores em cmolc kg^{-1} de, 1,12; 1,43; 1,27; 0,11; 0,82; para o K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} e Al^{3+} , respectivamente. Macedo et al. (2022) para os Luvisolos Crômicos obtiveram valores de 0,7; 17,1; 2,8; 0,80; para o K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^{2+} , respectivamente. Silva (2016) para o Argissolo Vermelho Amarelo da região do Brejo obteve valores de 0,47; 2,65; 1,93; 0,17; 0,0,19; para o K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} e Al^{3+} , respectivamente. Para os Argissolos Vermelho Amarelo, ainda, Santos et al. (2010) observaram valores para o K^+ , Mg^{2+} e Na^{2+} de 37,48; 0,10; 1,74, respectivamente. Costa e Silva (2021) analisando os Neossolos Regolíticos do município de Solânea observaram valores em cmolc kg^{-1} de 0,11; 2,45; 1,60 para o K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , respectivamente. Alves (2019), analisando os Neossolos Litólicos na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), fazenda Almas, observou valores em cmolc kg^{-1} de 0,44; 9,75; 2,79; 0,06 para o K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^{2+} , respectivamente. Valores similares observado por este trabalho.

Nos histogramas dos mapas de espacializações pode-se verificar a distribuição das variáveis em estudo. No histograma da modelagem do CTC efetiva (Figura 4g), verifica-se que o valor médio (μ) apresenta-se em 8,88 com desvio padrão (σ) em 16,01 demonstrando a variabilidade (Tabela 4). No histograma da CTC Total (Figura 4h) o valor médio (μ) apresenta-se em 12,44 com desvio padrão (σ) de 20,91 demonstrando sua variabilidade.

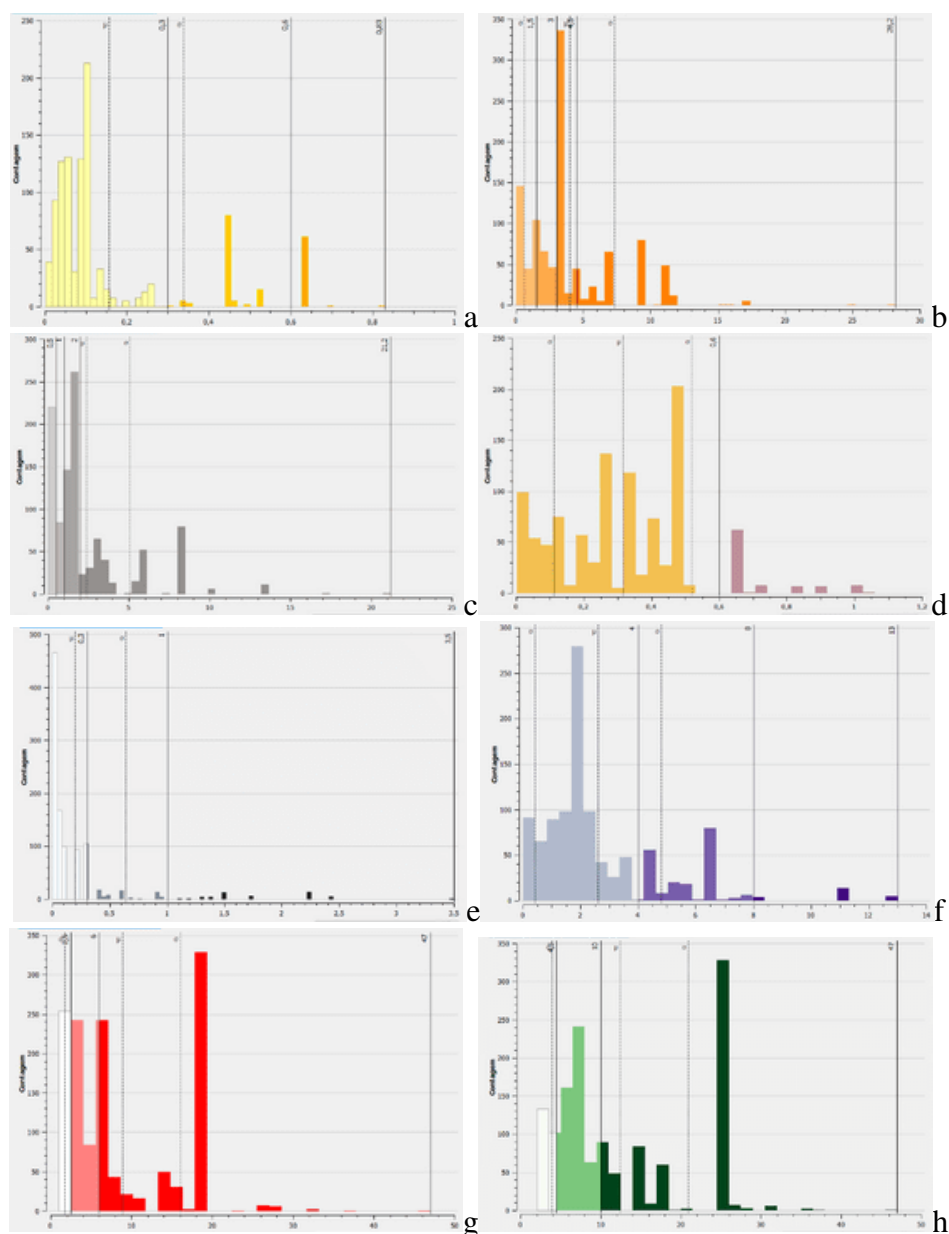


Figura 4. Histogramas (a) Na^{2+} , (b) Ca^{2+} , (c) Mg^{2+} , (d) K^{2+} , (e) Al^{3+} , (f) H^+ , (g) CTC efetiva, (h) CTC Total (cmolc kg^{-1}).

Na Tabela 4, da análise estatística descritiva das variáveis, observam-se os valores mínimos e máximos na variável CTC efetiva

entre 0,96 e 47,04 com uma mediana em 5,53. A variável CTC Total é a que apresenta o maior valor médio de alcance entre as demais.

Tabela 7. Análise descritiva das variáveis modeladas

Atributo/Variável	Mín.	Média	Mediana	Máx.	Desv. Pad.	1.o Quart	3.o Quart	Curtose
Na^{2+}	0	0,13	0,09	0,83	0,16	0,05	0,13	6,35
Ca^{2+}	0	3,79	3,10	28,2	3,77	1,54	4,47	9,14
Mg^{2+}	0	2,32	1,50	21,19	2,86	0,80	2,94	12,18
K^+	0	0,31	0,26	1,06	0,23	0,12	0,49	0,54
Al^{3+}	0	0,25	0,05	3,50	0,51	0	0,30	14,11
H^{2+}	0	2,51	2,00	13,62	2,00	1,30	3,20	5,81
CTC efetiva	0,96	6,82	5,53	47,04	5,53	3,26	7,08	9,16
CTC Total	1,84	9,33	7,39	47,04	7,33	5,27	10,33	5,64

Observa-se que, os valores de Ca^{2+} se apresentam maiores que o Mg^{2+} , no entanto Vidalett (2008) observou em Neossolos Litólicos

que os valores de Ca^{2+} são maiores do que os de Mg^{2+} , podendo ser atribuído à série de retenção de cátions que determina que o Ca^{2+} é mais

fortemente retido na matriz coloidal do solo do que o Mg^{2+} (QUAGGIO, 2000).

Almeida Jr. et al. (2015), avaliando as características físicas e químicas de 94 perfis de solos representativos da Paraíba, obtiveram em $cmolc\ kg^{-1}$, para o Na^{2+} valor máximo de 1,69; Ca^{2+} 25,8; Mg^{2+} 21,88; K^+ 1,02; Al^{3+} 2,80; e H^{2+} o valor de 15,88. Valores próximos a este estudo, em que na variável Na^{2+} o valor máximo deste trabalho diverge. Os autores obtiveram um desvio padrão para as variáveis para o Na^{2+} de 0,21; Ca^{2+} 4,4; Mg^{2+} 3,00; K^+ 0,21; Al^{3+} 0,42; e H^{2+} o valor de 2,54. Resultado similar a este estudo, mas com pequena variação devido este trabalho apresentar 299 amostras na avaliação.

Farias et al. (2017) avaliando os parâmetros químicos dos solos em região semiárida no Estado do Rio Grande do Norte, sob o Planossolo Nátrico, Planossolo Háplico e Cambissolo, em $cmolc\ hg^{-1}$, obtiveram para o Ca^{2+} valores médios de 1,90; 1,55; e 7,05; para o Mg^{2+} valores de 2,05; 1,0; 2,39; para o K^+ valores de 0,22; 0,17; 0,63; para o Na^{2+} valores de 0,11; 0,04; 0,02; para o Al^{3+} valores de 0; 0,1; 0; e para a CTC Total valores de 5,48; 4,18; 13,24, respectivamente. Resultados de valores menores quanto a este trabalho.

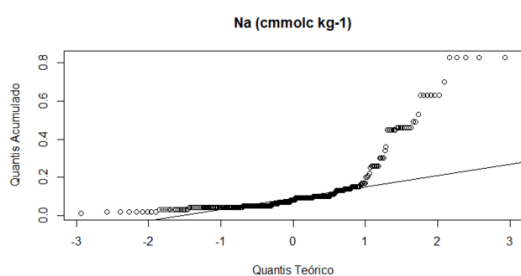
Brito (2010), em avaliação espacial de atributos químicos do solo no semiárido, com 645 análises de solos, com 580 do Estado da

Paraíba, em comparação com este trabalho para o Ca^{2+} , o desvio padrão é maior devido ao maior número de amostras ser referente a outros Estados vizinhos, com diferenças nas características geológicas dos mesmos. Quanto ao Mg^{2+} o desvio padrão deste trabalho também é menor, mas os valores médios são similares. Em relação ao K^+ , o valor máximo difere em dobro, mas o desvio padrão é similar. Os valores de CTC apresentam-se menores quanto a este trabalho.

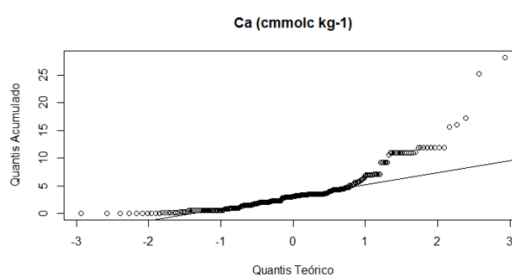
Quanto aos Vertissolos da região de Sousa, Costa et al. (2018) caracterizando quanto aos atributos, observaram valores similares a este estudo quanto as variáveis químicas.

O desvio padrão apresenta menores valores para a variável Na^{2+} e os maiores desvios apresentam-se na variável Ca^{2+} . A média e a mediana apresentam valores não muito próximos para ambos as variáveis, o que levar a deduzir que não se trata de uma distribuição simétrica. A menor curtose se apresenta na variável K^+ . Resultado esperado nesta modelagem devido a diferença na composição química dos solos em estudo.

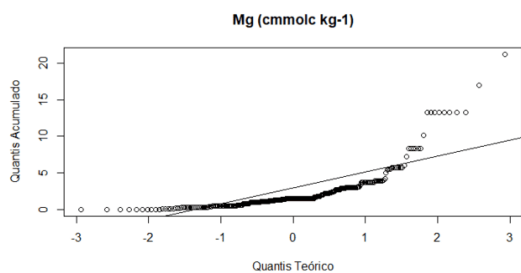
Nos boxplots dos quantis teórico e acumulado (Figura 5), observa-se uma distribuição regular nas variáveis estudadas, exceto na variável H^+ que segue comportamento de distribuição não normal.



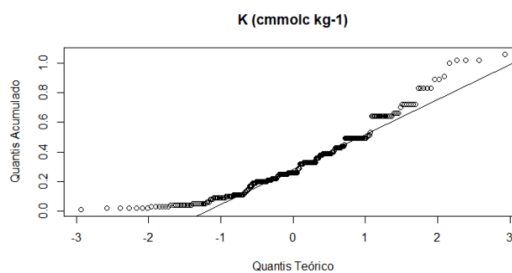
a



b



c



d

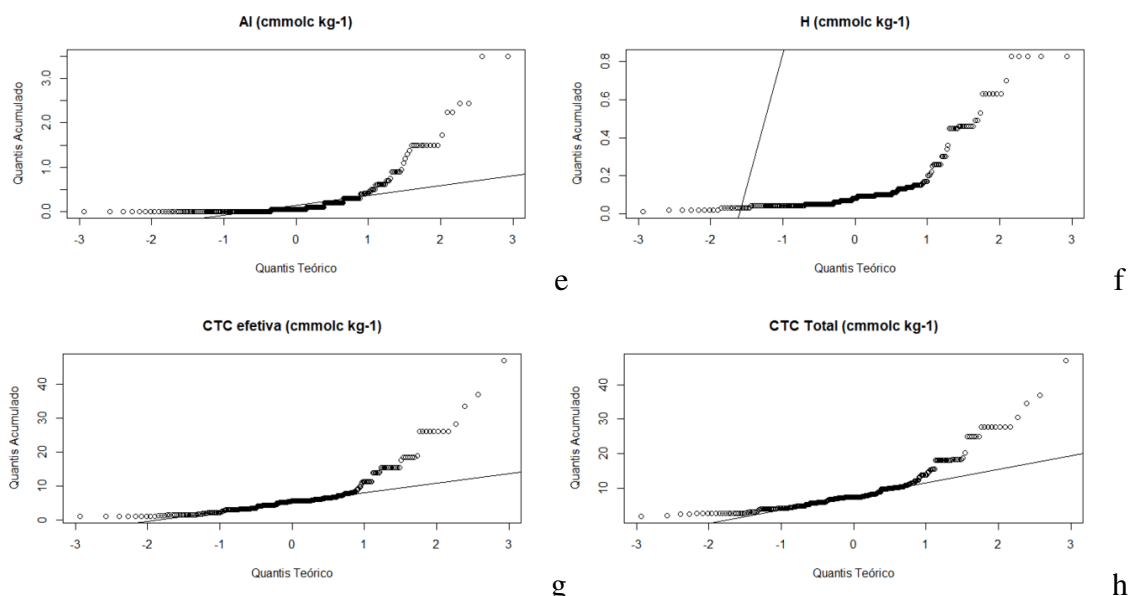


Figura 5. Boxplot das variáveis. (a) Na^{2+} , (b) Ca^{2+} , (c) Mg^{2+} , (d) K^{2+} , (e) Al^{3+} , (f) H^+ , (g) CTC efetiva, (h) CTC Total (cmolc kg^{-1}).

Na Tabela 6 pode-se observar que os resultados dos testes de normalidade de Anderson-Darling, Lilliefors e Shapiro-Wilk, em que se apresentam semelhantes entre si, o que leva a aceitar a hipótese de normalidade nos

dados. Para a variável K^+ os valores dos testes de normalidade divergem das demais variáveis. Os testes não apresentam diferença entre as variáveis e o p-valor.

Tabela 6. Testes de normalidade

Atributo/Variável	Anderson-Darling		Lilliefors		Shapiro-Wilk	
	A	p-valor	A	p-valor	W	p-valor
Na^{2+}	40,55	$2,20 \times 10^{-16}$	0,282	$2,20 \times 10^{-16}$	0,625	$2,20 \times 10^{-16}$
Ca^{2+}	16,82	$2,20 \times 10^{-16}$	0,201	$2,20 \times 10^{-16}$	0,775	$2,20 \times 10^{-16}$
Mg^{2+}	30,58	$2,20 \times 10^{-16}$	0,219	$2,20 \times 10^{-16}$	0,640	$2,20 \times 10^{-16}$
K^+	5,29	$4,15 \times 10^{-13}$	0,123	$6,38 \times 10^{-12}$	0,927	$6,75 \times 10^{-11}$
Al^{3+}	45,58	$2,20 \times 10^{-16}$	0,305	$2,20 \times 10^{-16}$	0,549	$2,20 \times 10^{-16}$
H^{2+}	12,44	$2,20 \times 10^{-16}$	0,186	$2,20 \times 10^{-16}$	0,834	$2,20 \times 10^{-16}$
CTC efetiva	24,10	$2,20 \times 10^{-16}$	0,238	$2,20 \times 10^{-16}$	0,722	$2,20 \times 10^{-16}$
CTC Total	17,70	$2,20 \times 10^{-16}$	0,193	$2,20 \times 10^{-16}$	0,792	$2,20 \times 10^{-16}$

Espera-se que, esta distribuição geoespacial dos atributos químicos dos solos, possa contribuir com a melhor visualização dos dados e sua contribuição em diversas outras pesquisas.

CONCLUSÃO

Com o uso das geotecnologias, a geoespacialização dos parâmetros químicos foi realizada com rapidez e precisão.

A CTC efetiva e Total seguiu a sequência dos Vertissolos > Luvisolos > Neossolos Flúvicos > Cambissolos > Plintossolos > Neossolos Quartzarênicos.

A CTC efetiva distribuiu-se em 84,18% das terras na classe Média e Alta; em 15,82% na classe Baixa sob os Neossolos Litólicos e

Regolíticos na região semiárida, e sob Argissolos no Agreste e Litoral, e na região norte litorânea sob os Neossolos Quartzarênicos.

A CTC Total apresentou-se na classe Alta em 37,17% com destaque sob os Neossolos Flúvicos.

O Na^{2+} apresentou 83,35% das terras na classe Baixa; o Ca^{2+} perfez em 65,84% nas classes Alta e Muito Alta sob os Vertissolos, Cambissolos, Luvisolos e Neossolos Flúvicos; o Mg^{2+} perfez 57,53% nas classes Alta e Muito Alta distribuídas por toda a região semiárida; os valores de K^+ apresentou-se em 88,05% das terras na classe Baixa sob os Luvisolos, Vertissolos e Planossolos; o H^{2+} apresentou-se em 81,53% das terras na classe Baixa.

A variável H^+ seguiu comportamento anormal na distribuição quanto aos quantis.

AGRADECIMENTOS

À Fapesq e ao CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA JÚNIOR, A. B. DE; NASCIMENTO, C. W. A. DO; BARROS, F. M. DO R.; BIONDI, C. M. Teores naturais de bário em solos do Estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35, 2015, Natal. Anais...Natal, 2015.
- ALMEIDA, D. L.; SANTOS, G. A.; DE-POLII, H.; CUNHA, L. H.; FREIRE, L. R.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; PEREIRA, N. N. C.; EIRA, P. A.; BLOISE, R.; SALEK, R. C. Manual de adubação para o Estado do Rio de Janeiro. n. 2. Itaguaí, RJ: Ed. Universidade Rural, 1988. 179p.
- ALVES, M. A. B. Variabilidade espaço-sazonal de atributos químicos, físicos e biológicos em topossequência no cariri paraibano. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2019.
- ALVES, S. M. DE F.; QUEIROZ, D. M. DE; ALCÂNTARA, G. R. DE; REIS, E. F. DOS. Mapeamento e interpretação de atributos físico-químicos do solo usando análise de componentes principais. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2, 2011, Botucatu. Anais...Botucatu, 2011.
- ANDERSON, T. W.; DARLING, D. A. A test of goodness of t. Journal of American Statistical Association, v.49, p.765-769, 1954.
- ANDRADE, S. F. DE. Mapeamento digital da fertilidade do solo das regiões Norte, Noroeste e Serrana do Estado do Rio de Janeiro. 181f. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental). Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2010.
- BARBOSA, C. C. F. Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento. 152f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1997.
- BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A. Fertilidade do solo e demanda por nutriente no Brasil. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J. R. R. (Eds.). Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p.61-77. 2002.
- BRITO, M. T. L. DE. Avaliação espacial de atributos químicos do solo no semiárido. 40f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Campina Grande. Patos, 2010.
- BURROUGH, P. A.; BOUMA, J.; YATES, S. R. The state of the art in pedometrics. Geoderma, v.62, n.1/3, p.311-326, 1994.
- CARVALHO, J. R. P. DE; SILVEIRA, P. M. DA; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, n.8, p.1151-1159, 2002.
- CHAGAS, C. DA S.; CARVALHO JUNIOR, W. DE; BHERING, S. B.; PEREIRA, N. R. Mapeamento digital da CTC em solos do semiárido brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35, 2015, Natal. Anais...Natal, 2015.
- COELHO, M. R.; SANTOS, H. G.; SILVA, E. F.; AGLIO, M. L. D. O recurso natural solo. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J. R. R. Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2002. p.1-12.
- CORRÊA, M. M.; KE, J. C.; MENDONÇA, E. S.; RUIZ, H. A.; BASTOS, R. S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das Várzeas de Sousa. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.311-324, 2003.
- COSTA, G. G. DA S.; MARTINS, A. F.; OLIVEIRA, F. P. DE. Atributos físicos e biológicos em Vertissolo Cromado sob agricultura biodinâmica na mesorregião do sertão

- Paraibano. Revista Agropecuária Técnica, v.39, n.1, p.31-42, 2018.
- COSTA, P. M. DE A.; SILVA, T. S. DA. Levantamento fitossociológico de plantas espontâneas associadas as condições de solo no brejo paraibano. Revista Verde, v.16, n.2, p.224-228, 2021.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Levantamento pedológico detalhado (Escala 1:5.000) e estoque de carbono orgânico do solo da Floresta Nacional Restinga de Cabedelo, municípios Cabedelo e João Pessoa, PB. (Org). COELHO, M. R. et al. Rio de Janeiro, 2017. 122p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Solos).
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. (Ed). TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2017. 573p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. SANTOS et al. 5a. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 359p.
- ESRI. Mapa Topográfico Mundial. Disponível em: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>. Acesso em: novembro de 2022.
- FARIAS, D. T. DE; PORTELA, J. C.; SILVA, F. W. A. DA; SOUSA, A. K. F. DE; OLIVEIRA FILHO, T. J. DE. Avaliação de atributos químicos e uso de solos da região semiárida. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2, 2017, Natal. Anais...Natal, 2017.
- FERREIRA, C. E. G.; PRADO, R. B.; POLIDORO, J. C.; BENITES, V. DE M.; TURETTA, A. P. D.; BALIEIRO, F. DE C.; DONAGEMMA, G. K. Proposta de mapeamento da disponibilidade de cálcio e magnésio para subsidiar o manejo adequado dos solos brasileiros. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17, 2008, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro, 2008.
- FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE. Classificação de terras para mecanização agrícola e sua aplicação para o Estado da Paraíba. Revista Educação Agrícola Superior, v.28, n.1, p.30-35, 2013.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas territoriais. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 10 de abril de 2022.
- JARQUE, C. M.; BERA, A. K. A test for normality of observations and regression residuals. International Statistical Review, v.55, p.163-172, 1987.
- LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A. B.; VOLZ, A. (Ed.). Digital Soil Mapping: an introductory perspective. Amsterdam: Elsevier, 2007. 596p.
- LILLIEFORS, H. W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. Journal of the American Statistical Association, v.62, n.318, p.399-402, 1967.
- LIMA, J. S. DE S.; SATTTLER, M. A.; XAVIER, A. C.; OLIVEIRA, R. B. DE; PASSOS, R. R.; OLIVEIRA, P. C. Variabilidade espacial da textura de um Argissolo Vermelho Amarelo sob cultivo de pastagem e vegetação nativa. Ciência Rural, v.39, n.9, p.2634-2637, 2009.
- LIMA, L. A. DE S.; NEUMANN, M. R. B.; REATTO, A.; ROIG, H. L. Mapeamento de Solos: do tradicional ao digital. 1.a ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2013. 52p. (Documentos/Embrapa Cerrados,316).
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Solos sob cerrado: Manejo da fertilidade para produção

- agropecuária (Boletim Técnico 5). São Paulo, ANDA, 1992. 49p.
- MACEDO, R. S.; MORO, L.; REFATI, D. C.; CARNEIRO, K. DE A. A.; ARAÚJO NETO, R. N. DE; BAKKER, A. P. DE. Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo em agroecossistemas familiares no cariri paraibano. In: SEMANA DE AGRONOMIA, 17, 2022, Areia. Anais....Areia, 2022.
- MCBRATNEY, A. B.; MENDONÇA-SANTOS, M. L.; MINASNY, B. On digital soil mapping. *Geoderma*, v.117, p.3-52, 2003.
- McBRATNEY, A. B.; ODEH, I. O. A.; BISHOP, T. F. A.; DUNBAR, M. S.; SHATAR, T. M. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. *Geoderma*, v.97, p.293-327, 2000.
- MENDONÇA-SANTOS, M. L.; SANTOS, H. G. dos. The state of the art of brazilian soil mapping and prospects for digital soil mapping. In: LAGACHERIE, P. Digital soil mapping: an introductory perspective. Amsterdam: Elsevier, 2007. p.39-54.
- PARAÍBA. Governo do Estado. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. CEPA-PB. Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-EletoConsult Ltda., 1978. 448p.
- PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo & Atlas. Brasília, 2006. 112p.
- PRADO, R. B.; BENITES, V. M.; MACHADO, P. L. O. A.; POLIDORO, J. C.; DART, R. O.; NAUMOV, A. Mapping Potassium Availability from Limited Soil Profile Data in Brazil. In: HARTEMINK, A. E.; MCBRATNEY, A.; SANTOS, M. DE L. M. (ed). Digital Soil Mapping with Limited Data. Springer, 2008. 464p.
- QGIS. Development Team. 2023. QGIS Geographic Information System. OpenSource Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.
- QUAGGIO, J. A. Acidez e calagem em solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111p.
- RSTUDIO. Posit Software. 2023. Disponível em: <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>.
- SANTOS, J. T. DOS; ANDRADE, A. P. DE; SILVA, I. DE F. DA; SILVA, D. S. DA; SANTOS, E. M.; SILVA, A. P. G. DA. Atributos físicos e químicos do solo de áreas sob pastejo na micro região do brejo paraibano. *Ciência Rural*, v.40, n.12, 2486-2492, 2010.
- SCALON, L. Q. Variabilidade espacial da fertilidade do solo e mapas de recomendação. 28f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenheiro Agrônomo). Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados, 2020.
- SERRAT, B. M.; OLIVEIRA, A. C. Amostragem de solos para fins de manejo da fertilidade. In: LIMA, M. R. (Ed.). Diagnóstico e recomendação do manejo de solo: aspectos técnicos e metodológicos. Curitiba: UFPR. Setor de Ciências Agrárias, 2006. 349p.
- SHAPIRO, A. S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, v.52, n.3/4, p.591-611, 1965.
- SILVA, C. R. P. DA. Atributos físicos e químicos de solos cultivados com bananeiras no brejo paraibano. 112f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2016.
- SILVA, S. B. e. Análise de Solos para Ciências Agrárias. 2. ed. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2018. 167p.
- SILVESTRE, A. L. Análise de dados e estatística descritiva. Escolar Editora. 2007.
- SOBRAL, L. F.; BARRETTO, M. C. DE V.; SILVA, A. J. DA; ANJOS, J. L. DOS. Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 13p. (Documentos/Embrapa Tabuleiros Costeiros, 206).

TOMÉ JR., J. B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.

VENDRUSCOLO, J.; BARBOSA, M. A. DA S.; ABRANTES, E. G. DE; SOUZA, R. F. DA S.; FERREIRA, K. R.; MARIN, A. M. P.; SOUZA, E. F. M. DE. Uso de geotecnologias para o manejo da fertilidade do Neossolo Litólico em agroecossistema familiar, no semiárido paraibano. Revista Científica Multidisciplinar, v.3, n.10, p.1-16, 2022.

VETTORATO, J. A. Mapeamento da fertilidade do solo utilizando sistema de informação geográfica. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual de São Paulo. Botucatu, 2003.

VIDALETT, S. F. Caracterização dos atributos químicos e físicos de solos em diferentes sistemas de manejo no município de conceição-PB. 40f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal). Centro de Saúde e Tecnologia Rural. Universidade Federal de Campina Grande. Patos, 2018.

1- Universidade Federal de Campina Grande,
paulomegna@gmail.com; george@ufcg.edu.br;
viviane.farias@professor.ufcg.edu.br

2- Universidade Federal da Paraíba,
djail.santos@academico.ufpb.br;
flavio.oliveira@academico.ufpb.br

3- Universidade Estadual do Maranhão, UEMA,
calixto_80@hotmail.com