



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

ANA KARENINA FERNANDES DE SOUSA RIBEIRO

**ATRIBUTOS DE SOLOS SOB SISTEMAS DE USO AGROPECUÁRIOS NA  
MESORREGIÃO DO OESTE POTIGUAR - RN**

**MOSSORÓ – RN  
2016**

**ANA KARENINA FERNANDES DE SOUSA RIBEIRO**

**ATRIBUTOS DE SOLOS SOB SISTEMAS DE USO AGROPECUÁRIOS NA  
MESORREGIÃO DO OESTE POTIGUAR - RN**

Dissertação 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 “Mestre em Manejo de Solo e Água”.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Jeane Cruz Portela  
– UFERSA

MOSSORÓ – RN  
2016

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)

R484a Ribeiro, Ana Karenina Fernandes de Sousa Ribeiro.  
ATRIBUTOS DE SOLOS SOB SISTEMAS DE USO  
AGROPECUÁRIOS NA MESORREGIÃO DO OESTE POTIGUAR -  
RN / Ana Karenina Fernandes de Sousa Ribeiro  
Ribeiro. - 2016.  
59 f. : il.

Orientadora: Jeane Cruz Portela Portela.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em  
Manejo de Solo e Água, 2016.

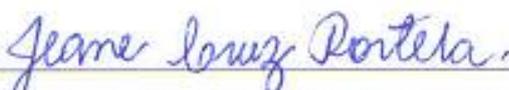
1. Semiárido. 2. Análise Multivariada. 3.  
Consistência. 4. Relação Solo Paisagem. 5. Índice  
de Plasticidade. I. Portela, Jeane Cruz Portela,  
orient. II. Título.

**ANA KARENINA FERNANDES DE SOUSA RIBEIRO**

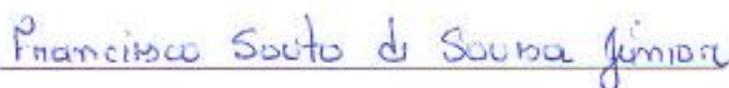
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como parte dos requisitos para obtenção do título de “Mestre em Manejo de Solo e Água”.

APROVADA EM: 11.10.2016

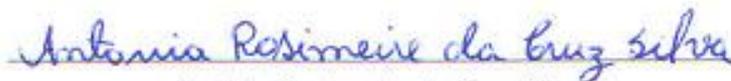
BANCA EXAMINADORA



Professora Jeane Cruz Portela (UFERSA)  
Presidente da Banca e Orientadora



Professor Francisco Souto de Sousa Júnior (UVA)  
Examinador Externo



Antônia Rosimeire da Cruz Silva  
Examinador



Professor Stefeson Bezerra de Melo (UFERSA)  
Examinador

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a **Deus** pela força para enfrentar a batalha de chegar até aqui.

À minha orientadora, **Prof. Dr<sup>a</sup>. Jeane Cruz Portela** por sua dedicação, sensibilidade e apoio ao longo dessa jornada.

À **Universidade Federal Rural do Sêmi-Árido (UFERSA)**, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Laboratório de Análise de Solo Água e Planta (LASAP) pela efetivação da pesquisa e contribuinte para a realização do curso de Pós-Graduação.

Aos (as) Professores do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Sêmi-Árido que contribuíram direto e indiretamente com os ensinamentos passados e para efetivação da pesquisa.

À **CAPES** - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor Stefeson Bezerra de Melo pelo apoio na condução da estatística multivariada realizada nesse trabalho.

À banca pelas valiosas sugestões e trabalho dedicado a avaliação do presente estudo. E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para esta dissertação tornar-se realidade.

## RESUMO

A região semiárida é extremamente diversificada do ponto de vista de seus recursos naturais que variam de acordo com fatores como localização, tipos de solo, litologia e clima. No entanto, percebe-se fragilidade da região em estudo no que diz respeito à ação antrópica, tornando o local mais susceptível aos processos de degradação. Estudos avaliando atributos do solo na mesorregião do Oeste Potiguar no estado do Rio Grande do Norte são escassos, porém, sua quantificação em diferentes usos e ambientes, de forma integrada se faz necessária para o entendimento e consequente adoção de práticas adequadas às particularidades locais. Este estudo teve como objetivo avaliar os atributos físicos e químicos em diferentes usos agropecuários, detectando os mais sensíveis na distinção dos ambientes. A pesquisa foi realizada nos municípios de Pau dos Ferros, São Francisco do Oeste, Mossoró, Governador Dix-Sept Rosado. As áreas em estudo possuem características particulares quanto à classificação de seus solos e usos agropecuários. Foram realizadas análises de fertilidade e análises físicas como granulometria, limites de plasticidade e liquidez, índice de plasticidade e umidade gravimétrica. Os resultados foram interpretados por meio de técnicas de análise multivariada como ferramenta principal, especificamente a Análise Fatorial e agrupamento. Verificou-se um maior aporte de COT no Gleissolo (que favoreceu o aumento nos teores de P, Ca<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>), favorecido pelos resíduos orgânicos e má drenagem em função da fração argila. Os solos apresentaram caráter eutrófico (V > 50%), influenciados pela litologia, com exceção do Latossolo. No Gleissolo e Cambissolo ocorreram aumento nos limites de liquidez e plasticidade, em razão do aumento da fração argila e do carbono orgânico total, com aumento da umidade gravimétrica para atingir a friabilidade, com exceção, do Planossolo que apresentou baixa permeabilidade no horizonte B, onde os limites de plasticidade e liquidez se distanciaram, tendo assim, maior índice de plasticidade. Na análise granulométrica os perfis apresentaram variações nas classes texturais, com destaque para o Gleissolo que apresentou maior fração silte, sendo um indicativo de solos jovens com pouca atividade intempérica. Conclui-se que os atributos físicos umidade, limite de liquidez, limite de plasticidade, índice de plasticidade argila, areia fina foram os mais sensíveis na distinção dos ambientes e os químicos pH, (H+ Al), V, PST. O Planossolo apresentou baixa permeabilidade no horizonte B, tendo assim o maior índice de plasticidade distanciando os limites entre si. As áreas estudadas apresentaram reações de acidez à alcalinidade com presença de Al<sup>3+</sup> e (H + Al) e com elevada salinidade. O material de origem favoreceu o aumento nos teores de cálcio, sódio, magnésio e potássio.

Palavras Chave: Semiárido, Análise Multivariada, Consistência, Relação Solo Paisagem, Índice de Plasticidade

## ABSTRACT

The semi-arid region is extremely diverse from the point of view of their natural resources which vary according to factors such as location, soil types, lithology and climate. However, it is perceived fragility of the region under study with regard to human action, making it more susceptible site to degradation processes. Studies evaluating soil properties in Oeste Potiguar in the Rio Grande do Norte state are scarce, but its quantification in different uses and environments in an integrated manner is necessary for understanding and subsequent adoption of appropriate practices to local conditions. This study aimed to evaluate the physical and chemical properties in different agricultural uses, detecting the most sensitive in distinguishing environments. The survey was conducted in the cities of Pau dos Ferros, San Francisco West, Mossoro, Governador Dix-Sept Rosado. The areas under study have particular characteristics as to classification of soils and agricultural uses. physical fertility and analysis analyzes were performed as particle size, plasticity limits and liquidity, plasticity index and gravimetric moisture. The results were analyzed by means of multivariate analysis as the main tool, specifically factor analysis and clustering. There was a greater contribution TOC in Gleysol (favoring the increase in P, Ca <sup>2+</sup> and K <sup>+</sup>), favored by organic waste and poor drainage on the basis of the clay fraction. Soils showed eutrophic character (V > 50%), influenced by lithology, except Latossolo. In Gleysol and Cambisol occurred increase in liquidity limits and plasticity, due to the increase of the clay fraction and total organic carbon, increasing the gravimetric moisture to achieve crispness, with the exception of Planosol that showed low permeability on the horizon B, where the limits of plasticity and liquidity diverged, thus, greater plasticity index. In particle size analysis profiles showed changes in textural classes, especially the Gleysol with the highest silt fraction, and an indication of young soils with little weathering activity. We conclude that the physical attributes moisture, liquid limit, plastic limit, plasticity index clay, fine sand were the most sensitive in the environments distinction and pH chemicals, (H + Al), V, PST. The Planosol showed low permeability in the B horizon, thus having the greatest plasticity index distancing the limits between them. The areas studied showed acidity to alkalinity reactions with the presence of Al <sup>3+</sup> and (H + Al) and high salinity. The source material favored the increase in calcium, sodium, magnesium and potassium.

Keywords: Semi-Arid, Multivariate Analysis, Ratio Soil Landscape, Consistency, Plasticity Index

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Municípios e coordenadas de referências das classes de solos analisadas.....	19
Tabela 2 - Atributos químicos nos respectivos horizontes diagnósticos, classes de solos e municípios da mesorregião do oeste potiguar RN.....	25
Tabela 3 - Distribuição do tamanho das partículas e sua classificação textural nas classes de solos em estudo nos municípios do RN.....	31
Tabela 4 - Valores de umidade, limite de plasticidade, limite de liquidez e índice de plasticidade dos perfis de solos avaliados em municípios do RN.....	34
Tabela 5 – Cargas fatoriais dos atributos químicos dos solos analisados e seus respectivos autovalores, variâncias totais observadas e acumuladas .....	36
Tabela 6 – Cargas fatoriais dos atributos físicos dos solos analisados e seus respectivos autovalores, variâncias totais observadas e acumuladas .....	40
Tabela 7 – Cargas fatoriais dos atributos químicos e físicos dos solos analisados e seus respectivos autovalores, variâncias totais observadas e acumuladas .....	44

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Localização das áreas avaliadas nos municípios do Rio Grande do Norte .....	18
Figura 2 - Diagramas de projeção dos vetores para os atributos químicos dos solos em estudo .....	37
Figura 3- Dendograma de Dissimilaridade entre atributos químicos dos solos estudados.....	38
Figura 4 - Dendograma de Dissimilaridade entre os horizontes diagnósticos dos solos estudados considerando seus atributos químicos .....	39
Figura 5 - Diagrama de projeção dos vetores para os atributos físicos dos solos em estudo.....	41
Figura 6 - Dendograma de Dissimilaridade entre os atributos físicos dos solos estudados .....	42
Figura 7 - Dendograma de Dissimilaridade entre os horizontes diagnósticos dos solos estudados considerando seus atributos físicos.....	42
Figura 8 - Diagrama de projeção dos vetores para os atributos químicos e físicos conjuntamente dos solos em estudo .....	45
Figura 9 - Diagrama de projeção dos vetores para os atributos químicos e físicos dos solos em estudo.....	45
Figura 10 - Diagrama de projeção dos vetores para os atributos químicos e físicos dos solos em estudo.....	46
Figura 11 - Dendograma de Dissimilaridade entre os atributos químicos e físicos conjuntamente dos solos em estudo.....	46
Figura 12 - Dendograma de Dissimilaridade entre os horizontes diagnósticos dos solos estudados considerando seus atributos químicos e físicos conjuntamente.....	47

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>i</b>
2.1. CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS E CLIMA DA REGIÃO.....	3
2.3. FORMAÇÃO GEOLÓGICA DA REGIÃO .....	5
2.3. RELAÇÃO SOLO - PAISAGEM .....	6
2.4 CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS EM ESTUDO	
2.4.1 Latossolos.....	8
2.4.1 Cambissolos .....	9
2.4.3 Gleissolos .....	10
2.4.4 Planossolos .....	11
2.5 GRANULOMETRIA .....	11
2.6 CONSISTÊNCIA DO SOLO .....	13
2.7. ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	18
3.1DESCRIBÇÃO DAS ÁREAS EM ESTUDO .....	18
3.2 AMOSTRAGEM DOS SOLOS NA ÁREA EM ESTUDO.....	20
3.3 ANÁLISE DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	20
3.3 ANÁLISE FÍSICA DOS ATRIBUTOS DO SOLO.....	21
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS .....	21
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>23</b>
4.1 ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO.. .....	23
4.2 ANÁLISE FÍSICA DO SOLO.....	28
4.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	35
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>48</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>49</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>56</b>

## INTRODUÇÃO

O solo deve ser considerado fonte fundamental da riqueza nacional, sendo essencial a toda forma de vida, pois nele encontram-se materiais minerais e orgânicos indispensáveis a atividades essenciais como a agricultura e pecuária. Ele resulta da ação combinada dos seus fatores de formação, material de origem, clima, relevo, da ação dos organismos e do tempo. À medida que o regime de chuvas diminui, ocorre menor intemperismo químico, e a litologia passando a assumir cada vez mais destaque na diferenciação nas características e propriedades do solo refletindo em forte correlação com material de origem e influencia do relevo (COELHO, 2016).

A região semiárida exibe uma variabilidade ambiental, sobretudo no que diz respeito aos materiais geológicos, relevo, a vegetação e também, algumas variações importantes com relação ao clima. Em função dessa variabilidade, destacam-se expressivas diferenciações de solos nos ambientes que integram a superfície ocupada pelo bioma caatinga. No entanto, os solos desta região são intensamente degradados devido principalmente à ação antrópica que não considera as particularidades locais, tornando a região mais susceptível aos processos de degradação. Dentre as alterações do bioma está o desmatamento, onde são encontradas extensas áreas degradadas reduzindo assim, a capacidade produtiva dos solos. Assim, perdas nas suas propriedades alteram diretamente sua estrutura e sua atividade biológica e, conseqüentemente, sua fertilidade, podendo promover prejuízos à sua qualidade física, química e biológica.

A avaliação dos atributos físicos e químicos do solo é de extrema importância devido à sua sensibilidade às alterações na sua qualidade, uma vez que pode fornecer subsídios para o estabelecimento de sistemas adequados de manejo do solo e cultivos agrícolas contribuindo para a manutenção dos agroecossistemas. O conhecimento desses atributos é relevante, pois, propicia condições ideais para o crescimento e o desenvolvimento das plantas e para a manutenção da diversidade ambiental.

Estudos avaliando atributos do solo na mesorregião do Oeste Potiguar no estado do Rio Grande do Norte são escassos, visto que sua quantificação em diferentes usos e ambientes, de forma integrada se faz necessário para o entendimento e conseqüente adoção de práticas adequadas às particularidades locais.

Diante do exposto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar os atributos físicos e químicos em diferentes usos agropecuários, detectando os mais sensíveis na distinção dos ambientes, por meio da técnica de análise multivariada,

visando identificar as potencialidades e/ou restrições para seu uso e conservação na mesorregião do oeste potiguar no estado do Rio Grande do Norte.

## **HIPÓTESES**

As principais hipóteses do presente estudo delineadas foram:

- a) Os atributos do solo são influenciados pelos usos e sua posição na paisagem, devido às condições genéticas e as alterações antrópicas;
- b) A fração argila, os cátions básicos e o pH do solo terão maior influência na diferenciação dos ambientes em estudo, por diferirem quanto a litologia e a posição na paisagem.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS E CLIMA DA REGIÃO

O solo é um material inconsolidado e produto da ação do intemperismo físico, químico e biológico. O solo contém matéria viva e pode ser vegetado na natureza onde ocorre e ao ser examinado a partir de sua superfície, este consiste de seções aproximadamente paralelas, organizadas em horizontes diagnósticos que se distinguem do material de origem inicial. Os horizontes refletem os processos de formação do solo a partir do intemperismo do substrato rochoso ou de sedimentos de natureza diversa. As camadas por sua vez, são pouco ou nada afetadas pelos processos pedogenéticos, mantendo, em maior ou menor proporção, as características do material de origem (SANTOS et al., 2013).

O solo, quando submetido a cultivos intensivos, tende a perder a estrutura original, pelo fracionamento dos agregados maiores em unidades menores, tendo, como consequência, diminuição de macroporos e aumento de microporos e da densidade (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990). Com a remoção da vegetação natural e os subsequentes anos de cultivo, ocorre redução gradativa da capacidade produtiva do solo, pela alteração de suas características e propriedades. Diversas pesquisas abordando diferentes sistemas de manejo de solo têm confirmado a importância do fornecimento de matéria orgânica para a manutenção e melhoria de suas propriedades físicas, químicas e biológicas (GOMES et al., 1978; OLIVEIRA et al., 1983; OADES, 1984; CERRI et al., 1991).

Na região Nordeste os solos são em geral pouco desenvolvidos em função das condições de escassez das chuvas, tornando os processos químicos e físicos mitigados. Os rios da região são na maioria, intermitentes e condicionados ao período chuvoso, quando realmente se tornam rios superficiais, ao passo que no período de estiagem parecem se extinguir e na realidade estão submersos nos aluviões dos vales, ou baixadas, compondo o lençol freático com pouca reserva de água (ARAÚJO, 2011).

O Semiárido brasileiro, cujos limites foram redefinidos recentemente por Portaria Interministerial do governo federal, na qual compreende uma área aproximadamente de 969.589 km<sup>2</sup> e comporta 1.133 municípios com aproximadamente 28 milhões de habitantes, sendo uma região predominantemente voltada para as

atividades agropastoris e apresenta condições climáticas desfavoráveis, com ciclos de secas frequentes. As pesquisas realizadas neste ambiente demonstram uma realidade de processos negativos da atuação do homem sobre o ambiente em especial os solos, onde os processos erosivos se intensificam e contribuem com os indícios mais marcantes da desertificação (SÁ et al., 2009). Devido ao regime pluvial da região as espécies vegetais são predominantemente caducifólias, ou seja, têm folhas decíduas que caem na época de seca em resposta à escassez de água, influenciando desta forma, na de nominação do termo “Caatinga” que significa “mata-branca” no tupi - guarani, onde no período seco as plantas apresentam o caule branco na maioria das espécies. É um ecossistema importante do ponto de vista biológico, por apresentar fauna e flora únicas, sendo a última formada por biodiversidade rica em recursos genéticos, e de vegetação constituídas por espécies lenhosas, herbáceas, cactáceas e bromeliáceas. A Caatinga por sua vez, é considerada o maior bioma semiárido do mundo, com extensão de 844,543 km<sup>2</sup> abrangendo 9,92 % do território do Brasil e 80% do território nordestino. Situa-se entre os paralelos 3° e 17° Sul e meridianos 35° e 45° Oeste. O Bioma Caatinga abrange os Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e parte do Maranhão e o norte de Minas Gerais (LOIOLA et al., 2012; ROCHA, 2009).

O clima da região, segundo Köpper, classifica-se em semiárido quente com precipitação pluvial média anual de 712 mm durante os meses de fevereiro a maio (BELTRÃO et al., 2005) e apresenta características específicas que podem ser resumidas da seguinte forma: temperaturas altas, acima dos 20 °C de médias anuais, precipitações pluviais irregulares de curta duração e de alta intensidade, entre 280 a 800 mm, com consequente déficit hídrico durante boa parte do ano, ou seja, um ambiente quente e seco (COELHO et al., 2009).

O padrão climático do semiárido exerce uma influência fundamental na vegetação e na formação dos solos, pois é responsável por pequena alteração no manto superficial das rochas (material de origem) justificando a presença de solos rasos, com grande incidência de afloramentos rochosos. Dentre os tipos de solos mais comuns, podem ser citados os Luvisolos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Neossolos Litólicos e os Cambissolos. Os solos das depressões interplanálticas semiáridas do Nordeste, são rasos e se apresentam originalmente recobertos pela vegetação da Caatinga que muitas vezes não exercem grande proteção contra os efeitos da erosão hídrica pluvial. Dessa forma, esses solos são bastante susceptíveis aos efeitos erosivos, sobretudo da erosão laminar. Apesar da pequena espessura e muitas vezes a limitações físicas, a maioria

desses solos apresenta uma elevada fertilidade natural (BASTOS ET AL., 2012) em função da litologia.

## 2.2. FORMAÇÃO GEOLÓGICA DA REGIÃO

Os solos que recobrem o semiárido brasileiro estão firmados sobre rocha sedimentar e embasamento cristalino. Não apresentam grandes restrições químicas, porém, apresentam restrições físicas quanto a presença de afloramento rochoso, são caracterizados como pouco desenvolvidos, apresentam baixa profundidade efetiva em função dos fatores de formação e padrão climático da região. Desta forma, o clima define a apresentação e os aspectos paisagísticos dos domínios da caatinga (ARAÚJO FILHO 2014).

Segundo o Boletim Técnico sobre Divisão de Pesquisa Pedológica (DNPEA) do Ministério da Agricultura, as áreas estudadas nesta pesquisa se enquadram na classificação fisiográfica como Zona da Chapada do Apodi (Mossoró e Governador Dix-Sept Rosado) e Zona Serrana (São Francisco do Oeste, Umarizal, Pau dos Ferros), a primeira pode ser classificada segundo a geologia superficial do Rio Grande do Norte como cretácico e a segunda como Pré cambriano (CD). O Cretáceo está representado no Rio Grande do Norte pelo Grupo Apodi que compreende o calcário Jandaíra e o arenito Açú. O Calcário Jandaíra estratificamente o calcário esta sobre o arenito e consiste de camadas de cor cinza claro e branco ou amarela de granulação fina a média e em calcário dolomítico cinzento ou amarelo de granulação em geral mais grosseira (Kegel 1964). Os calcários da Formação Jandaíra, que compreendem calcarenitos e calcilitos bioclásticos e os arenitos da Formação Açú, de granulação média a grosseira, com intercalação de argilitos no sentido do topo. Ambas as formações estão reunidas no Grupo Apodi (ANGELIM et al.,2006). O Arenito Açú, segundo Kegel (1964), apresenta uma parte superior constituída de arenito calcário e na parte inferior o arenito conglomerático.

Ainda de acordo com o Boletim Técnico sobre Divisão de Pesquisa Pedológica (DNPEA) do Ministério da Agricultura o Pré Cambriano (CD) tem grande importância sob o ponto de vista de extensão, ocupando grande área meridional do Estado. Notam-se também inclusões de rochas plutônicas ácidas e eruptivas básicas, sendo ainda frequentes os diques de pegmatitos e veios de quartzo. O saprolito destas rochas constitui o material de origem da maior parte dos solos do Rio Grande do Norte.

## 2.3 RELAÇÃO SOLO PAISAGEM

As relações solo-paisagem permitem associar atributos topográficos e tipos de solos, tornando-se úteis na predição de ocorrência dos tipos de solos nas paisagens e auxiliando no estudo detalhado dos solos (CAMPOS, 2012).

As diferentes feições do relevo, intensidade e duração dos processos pedológicos e as características do material de origem determinam o tipo e a distribuição do solo nas paisagens (WYSOCKI et al.2005), segundo uma lógica relacionada aos processos geomorfogenéticos e pedogenéticos.

As relações solo-paisagem são ferramentas importantes para estudos detalhados dos atributos do solo e mapeamento e levantamento de solos, visto que a associação entre os atributos topográficos (a inclinação e a declividade do terreno, a orientação e a curvatura da superfície terrestre) e as classes de solos é potencialmente útil para melhorar a predição da ocorrência dos tipos de solos nas paisagens (CAMPOS et al., 2006).

Apesar de não haver registros de relatos sobre os estudos da relação solo-paisagem, acredita-se que esses estudos foram iniciados pelo russo Vaseli V. Dockuchaev, no final do século XIX, haja vista que seu modelo englobava o relevo como fator de formação. Entretanto registros de estudos dessa natureza surgiram mais tarde com Milne (1935) e (1936) que sugere o conceito de catena, afirmando que as mudanças na paisagem interferem na distribuição e arranjo dos solos. A partir desses trabalhos muitos outros foram realizados e que sustentaram os estudos da relação solo-paisagem, tais como Ruhe (1956), Glazovskaya (1963), Huggett (1975), Pennock et al. (1987), Hudson (1992), Florinsky et al. (2002) e Pennock e Veldkamp (2006).

Vários trabalhos buscam definir as relações solo-paisagem, de acordo com Pennock e Veldkamp (2006) paisagem é a combinação entre as feições da superfície da terra e os componentes de subsuperfície, enquanto que solo é um corpo natural tridimensional e dinâmico que está inserido na paisagem. Por outro lado, para Carré e Mcbratney (2005) a relação “solo-paisagem”, refere-se ao somatório entre o solo e a paisagem definido no tempo e espaço, ou seja, é o conjunto dos atributos do solo e da paisagem e a interação entre ambos.

A paisagem é um condicionador do ambiente e a sua configuração tem relação íntima com o relevo, para formação de condições específicas, em diferentes regiões

(PHILLIPS et al. 2001). É a combinação das feições da superfície da terra com os componentes de subsuperfície (material de origem), enquanto o solo é um corpo natural tridimensional e dinâmico que está inserido na paisagem (MINASNY & MCBRATNEY, 2006). Dessa forma, a relação "solo-paisagem" pode ser entendida como o padrão de distribuição espacial dos atributos do solo e suas relações de dependência com a disposição do relevo (BUI et al., 1999). Entretanto, condições climáticas, características geológicas e os aspectos hidrológicos são fundamentais para o entendimento dessas relações.

Para aplicações dos estudos das relações solo-paisagem, necessita-se utilizar dos modelos de paisagem, pois propõem a estudar e entender as relações entre as condições do solo e a topografia. Dentre esses modelos, pode-se destacar o modelo proposto por Ruhe (1956) e Daniels et al. (1971) que estabelece a definição de superfície geomórfica, como sendo uma porção de terra que é especialmente definida no espaço e no tempo. E o modelo proposto por Dalrymple et al. (1968), composto por nove unidades hipotéticas de vertente, podendo estar parcialmente ausentes, ou repetidas na catena.

Na prática, os fatores essenciais para estudar essas relações são o material de origem e os aspectos topográficos; estes últimos imprimem grande variabilidade aos atributos do solo, pois condicionam os fluxos da água e orientam o transporte e acúmulo de massa (erosão e deposição) (BARTHOLD et al., 2008). O material de origem, por sua vez, induz alterações no comportamento dos atributos do solo em função de sua natureza genética e mineralógica (SEIBERT et al., 2007). Para Samouëlian & Cornu (2008), as relações solo-paisagem permitem a análise desses fatores em conjunto, favorecendo um melhor entendimento dos processos geomórficos e de evolução da paisagem.

Segundo Sommer (2006), essas relações favorecem uma melhor compreensão e entendimento dos solos na paisagem, por dois aspectos: (a) permitem vislumbrar a variabilidade espaço-temporal dos atributos do solo e (b) permitem visualizar os processos dinâmicos, por exemplo, transporte de água, solutos (orgânicos e inorgânicos) e sedimentos. Nesse sentido, Gobin et al. (2001) afirmaram que o movimento da água nas paisagens é o principal responsável pelo processo de desenvolvimento do solo e, por isso, a compreensão das formas do relevo é o primeiro passo para fazer inferências e predições sobre os atributos do solo em diferentes feições da superfície da terra.

Trabalhos como o de Lepsch et al. (1977) têm destacado a importância dos estudos de solo-paisagem, para o entendimento das relações entre as superfícies geomórficas e a idade dos solos. Marques Júnior & Lepsch (2000) relacionaram as variações dos atributos do solo com as superfícies geomórficas, em função do material de origem (arenito). Por outro lado Campos et al. (2007) estudando as relações solo-paisagem em diferentes substratos geológicos afirmam que a compartimentação da paisagem em superfícies geomórficas e a identificação do material de origem mostraram-se bastante eficientes para o entendimento da variação dos atributos do solo.

O bioma caatinga, objeto deste estudo, ocorre em diferentes ambientes no semiárido brasileiro. Destaca-se, sobretudo, na Depressão Sertaneja e em parte de Chapadas, Bacias Sedimentares, Planaltos, Superfícies Cársticas, Tabuleiros, Várzeas e Terraços Aluvionares, Dunas Continentais e Mares de Morros. O semiárido é o ambiente de domínio das caatingas onde as precipitações pluviiais são muito irregulares com médias anuais variando na faixa de 400 a 800 mm. Já as temperaturas são relativamente estáveis com média anual na faixa de 24 a 26 °C, podendo ser atenuadas nas áreas mais elevadas para uma média ao redor de 22°C (JACOMINE,1996; SILVA et al., 1993; BRASIL, 1972; BRASIL, 1973). Nesse ambiente a evaporação média anual situa-se ao redor de 2000 mm (SÁ e SILVA, 2010).

Segundo Jacomine (1996), as caatingas se estendem na porção mais seca do Nordeste do Brasil indo até o norte de Minas Gerais numa extensão de aproximadamente 748.600 km<sup>2</sup>. Em estudo recente (SÁ e SILVA, 2010) foi redefinida a área do semiárido com um valor aproximado de 982.563 km<sup>2</sup>.

Conforme os mapeamentos de solos realizados no Nordeste do Brasil, incluindo o norte de Minas, os solos que se destacam em termos de expressão geográfica no contexto do bioma caatinga são os Latossolo, Argissolos, Planossolos, Luvisolos e Neossolos. Em baixas proporções têm-se os Nitossolos, Chernossolos, Cambissolos, e Plintossolos (JACOMINE, 1996; BRASIL 1972 e 1973; OLIVEIRA et al., 1992; ARAÚJO FILHO et al., 2000).

## 2.4. CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS EM ESTUDO

### 2.4.1. Latossolo

Os Latossolos são solos minerais, os quais apresentam horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A (HA), dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm, se o HA apresenta espessura maior que 150 cm (SANTOS et al., 2013). Os Latossolos são, em geral, muito permeáveis. Esta permeabilidade é função da textura e da própria mineralogia. Aqueles de textura média ou, mesmo, argilosa ou muito argilosa quando gibbsíticos são os mais permeáveis (FERREIRA, 1988), favorecendo assim, a lixiviação. Os Latossolos têm alto poder de adsorção de fósforo, além disso, os solos designados por Latossolo, além de profundos, de coloração relativamente homogênea com matizes avermelhadas e/ou amareladas, apresentariam distribuição mais ou menos uniforme de argila ao longo do perfil, elevada estabilidade de agregados e baixo conteúdo de silte em relação à argila (LEAL, 1971; NOVAIS et al., 1991; KER, 1995).

O termo “Latosol” deriva de “laterite” e “solum, ambos de origem latina, significando, respectivamente, tijolo ou conotando material altamente intemperizado, e solo, foi proposto pelo pedólogo americano Charles E. Kellog, em uma conferência americana sobre classificação de solos realizada em Washington em 1949 (LE MOS, 1966; CLINE, 1975; SÉGALEN, 1994). Os Latossolos, como utilizado no Brasil, guardam certa correspondência com os Oxisols, Sols Ferralitiques e Ferralsols dos sistemas americano, francês e FAO, respectivamente. A introdução deste termo como classe de solo objetivou agrupar solos mais intemperizados das regiões tropicais, até então denominados “laterite” e “lateriticsoils”, de definição pouco precisa, genérica e confusa, onde solos distintos eram agrupados em uma mesma classe (KELLOG, 1949,1950; LEMOS, 1966; CLINE, 1975; SEGALEN,1994). Pela definição original de Kellog para “Latosol”, observa-se que aspectos quantitativos ainda não eram contemplados, certamente em razão do pouco conhecimento que havia para essa classe de solos, ou dos solos tropicais, em geral, na época. Mesmo assim, a intensão de empregar o termo “Latosol” no sistema americano é mencionada no esboço de classificação de Thorp & Smith (1949), e parece ter influenciado pedólogos brasileiros. Tanto é assim, que este termo foi empregado em vários trabalhos de levantamento de solos de algumas áreas do Brasil, iniciados na década de cinquenta (BRASIL, 1958, 1960 e 1962).

#### 2.4.2. Cambissolos

Os Cambissolos são solos minerais com horizonte B incipiente (Bi) subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, exceto hístico com 40cm ou mais de espessura, ou horizonte A chernozêmico, quando o Bi apresentar argila de atividade alta (Ta) e saturação por bases alta (SANTOS et al., 2013). Variam de um local para outro devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e condições climáticas em que são formados. A característica comum dos Cambissolos é o incipiente estágio de evolução do horizonte subsuperficial, apresentando, em geral, fragmentos de rochas permeando a massa do solo e/ou minerais primários facilmente alteráveis (reserva de nutrientes), além de pequeno incremento de argila entre os horizontes superficiais e subsuperficiais. Ocorrem em praticamente todo o território brasileiro, ocupando cerca de 2,5 %. São particularmente importantes na parte oriental dos planaltos do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, onde os Cambissolos existentes têm alto teor de matéria orgânica. Cambissolos de elevada fertilidade natural são comuns na região Nordeste e no Estado do Acre (MANZATO et al., 2002), são caracterizados de modo geral como rasos, são solos pouco estudados, que em determinados casos apresentam limitações físicas (adensamento natural, drenagem, resistência mecânica à penetração e estrutural), mineralógicas (empacotamento e reorganização dos argilominerais) e as características morfológicas (consistência), conseqüentemente desaceleração da frente de intemperismo (PEREIRA et al., 2010).

#### 2.4.3. Gleissolos

Os Gleissolos são solos minerais, hidromórficos, apresentando horizontes A (mineral) ou H (orgânico), seguido de um horizonte de cor cinzento-olivácea, esverdeado ou azulado, chamado Horizonte Gleí, resultado de modificações sofridas pelos óxidos de ferro existentes no solo (redução) em condições de encharcamento durante o ano todo ou parte dele. O horizonte Gleí pode começar a 40 cm da superfície, são solos mal drenados, podendo apresentar textura bastante variável ao longo do perfil. Podem apresentar tanto argila de baixa atividade, quanto de alta atividade, são solos pobres ou ricos em bases ou com teores de alumínio elevado. Como estão localizados em baixadas, próximas às drenagens, suas características são influenciadas pela contribuição de partículas provenientes dos solos das posições mais altas e da água de drenagem, uma vez que são formados em áreas de recepção ou trânsito de produtos transportados. (EMBRAPA, 1997).

Este tipo de solo, por ser originado de sedimentos com grande heterogeneidade quanto à composição granulométrica e mineralógica, apresenta uma diversidade muito grande de características químicas (FAGERIA; BARBOSA FILHO; ZIMMERMANN, 1994). Uma característica dominante nestes solos, entretanto, é a má drenagem ou hidromorfismo, embora aqueles situados em terraços ou níveis mais elevados (várzea alta) possam apresentar-se melhor drenados (CURI; RESENDE; SANTANA, 1988). Os processos de oxidação-redução que ocorrem nos solos de várzeas alteram as características químicas, inclusive a dinâmica dos nutrientes (FAGERIA, 1989; PONNAMPERUMA, 1972). Deste modo, sua utilização sem o devido conhecimento de suas peculiaridades pode resultar em sérios problemas à sustentabilidade dos agro ecossistemas. Ao serem submetidos a sistemas de cultivos mais intensivos, podem apresentar problemas relativos à fertilidade, com destaque para a redução no conteúdo de matéria orgânica e suprimento de nutrientes, principalmente N e P (GUILHERME; CURI; GUEDES, 1989), apesar da deposição de sedimentos. Além disto, aumentos das concentrações de ferro e de manganês podem atingir níveis tóxicos para as culturas (FERREIRA; MODESTO JÚNIOR; BOTELHO, 1998; MORAES, 1973).

#### 2.4.5 Planossolo

Solos minerais que apresentam desargilização (perda de argila) vigorosa da parte superficial e acumulação ou concentração intensa de argila no horizonte subsuperficial, conferindo como características distintivas marcantes, uma mudança textural normalmente abrupta ou transição abrupta conjugada com acentuada diferença de textura do A para o horizonte B. Essa desargilização é responsável pela textura arenosa dos horizontes superficiais (A ou E). São definidos pelo SiBCS (EMBRAPA, 2006) pela presença de horizonte B plânico, subjacente a qualquer tipo de horizonte A, podendo ou não apresentar horizonte E (álbico ou não). Podem ter horizonte cálcico, caráter carbonático, duripã, propriedade sódica, solódica, caráter salino ou sálico. Normalmente adensados devido ao acúmulo de argila em subsuperfície apresentam, por vezes, um horizonte pã (horizonte endurecido ou cimentado quando seco) (EMBRAPA 1997).

## 2.5 GRANULOMETRIA

Os sistemas de classificação baseiam-se no tamanho dos grãos e nas características dos argilo-minerais, é determinado diretamente pela análise granulométrica, mas as características dos argilo-minerais são consideradas, indiretamente, pelo comportamento do solo na água, medido pelos limites de Atterberg (SOUSA PINTO, 1998).

Muitos fatores afetam a retenção da água no solo, sendo o principal deles a textura, por determinar a área de contato entre as partículas sólidas e a água, determinando em boa parte a distribuição do diâmetro dos poros (REICHARDT & TIMM, 2004). Para Mesquita & Moraes (2004), o fluxo e a retenção de água no solo dependem, além da textura, da profundidade, estrutura, porosidade e pedoforma.

Segundo Buckman & Brady (1979), a areia possui reduzida capacidade de retenção de água causada pelo grande espaço entre as partículas granulométricas e o rápido escoamento de água de percolação. Com o aumento da proporção de areia no solo há menor capacidade de retenção de água. Sabendo-se que os solos arenosos possuem maior proporção de macroporos do que microporos e que, de maneira geral, são tanto mais pobres de matéria orgânica, quanto mais grosseiros, fácil se torna a interpretação dessa correlação (KIEHL, 1979).

A argila pode reter maior quantidade de água que as demais partículas do solo. Nos solos argilosos predomina a criptoporosidade, a qual é responsável pela retenção da água no solo (KIEHL, 1979). Para esse autor, o silte e a argila podem ser englobados em uma só discussão, por ser constituídas de partículas finas. Estratégia essa utilizada por Arruda et al. (1987) na determinação da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente.

Mais recentemente, Bruand & Tessier (2000) concluíram que a propriedade de retenção de água da argila varia grandemente de um solo para outro a respeito da estrutura da argila. Essa variação depende da capacidade de troca de cátion, do tamanho de partícula elementar e da formação da argila.

Trabalhando com classificação físico-hídrica de solos, Ottoni Filho (2003) destaca que os solos arenosos e francos arenosos sempre apresentam alto teor de ar disponível, o que indica que os perfis de solo muito arenosos tendem a não limitar a produção vegetal no que diz respeito a problemas de aeração. Por outro lado, solos francos arenosos ou mesmo mistos arenosos / franco arenoso podem ter alto teor de água disponível nos horizontes superficiais, possivelmente pela influência da matéria orgânica.

## 2.6. CONSISTENCIA DO SOLO

A consistência é representada pelas manifestações das forças físicas de coesão e adesão entre os constituintes do solo, em diferentes teores de água (RANZANI, 1969). Segundo Forsythe (1985), essas forças são expressas por meio do comportamento do solo ante a ação da gravidade, das tensões de tração e de compressão, do empuxo e da tendência do solo em aderir à superfície dos órgãos ativos dos implementos agrícolas.

Dependendo da variação na umidade do solo são conhecidas cinco formas de consistência: 1) tenaz – com características pronunciadas de dureza; 2) friável – caracterizada pela friabilidade; 3) plástica – caracterizada pela possibilidade que o solo apresenta de ser moldado; 4) pegajosa – evidenciada pela propriedade de aderir em superfícies e 5) líquida – caracterizada por o solo tomar a forma do objeto que o contém, podendo ser vertido como um líquido denso (BAVER et al., 1972; KIEHL, 1979). A consistência tenaz é verificada em solo seco, onde a atração entre moléculas é elevada. O solo úmido apresenta consistência friável, na qual a força de coesão entre as partículas é mínima. Quando molhado, pode exibir plasticidade, pegajosidade e liquidez, com as forças de adesão variando proporcionalmente aos conteúdos de água. Segundo Caputo (1973), quando a umidade do solo é muito elevada ele se comporta como um fluido denso, portanto, no estado líquido. Ao passo que a água vai evaporando o solo endurece e, em uma determinada umidade, ele perde a capacidade de fluir, mas não a de ser moldado e conservar sua forma. Neste ponto, diz-se que o solo atingiu o limite de liquidez e encontra-se no estado plástico. Continuando a perda de água o estado plástico desaparece e o solo atinge o limite de plasticidade, ou seja, um ponto correspondente a uma umidade tal, que o solo se desmancha ao ser trabalhado. Conhecidos os valores de umidade para cada limite de consistência pode-se calcular o índice de plasticidade do solo, que é dado pela diferença entre os limites de liquidez e plasticidade. Para índice de plasticidade com valor  $< 1$  diz-se que o solo não apresenta plasticidade, de 1 a 7 fracamente plástico,  $> 7$  a 15 medianamente plástico e acima de 15 altamente plástico. Em linhas gerais, a textura é uma das propriedades do solo que mais se correlaciona com as manifestações da consistência. Os solos de textura grosseira são, em geral, não plásticos e não pegajosos quando molhados, friáveis quando úmidos e soltos quando secos. Já os solos de textura fina são plásticos e pegajosos quando molhados, firmes quando úmidos e duros quando secos (Ranzani 1969). Segundo Caputo (1974) foi Atterberg quem introduziu os conceitos de limite de

plasticidade, limite de liquidez e índice de plasticidade. Para Caputo (2000), as definições de limite de plasticidade, limite de liquidez e índice de plasticidade são convencionais, embora tenham sido fundamentadas em extensas investigações experimentais.

O solo pode encontrar-se naturalmente adensado ou compactado por ação antrópica pelo uso de máquinas e implementos utilizado com umidade do solo próxima ao limite de plasticidade. Tornando-se o principal fator de compactação dos solos agrícolas, pois a água regula as forças de coesão e adesão, atua como agente lubrificante entre as partículas de solo, permitindo o deslizamento e o empacotamento das partículas quando submetido a algum tipo de pressão superior a capacidade de suporte. O limite de liquidez é o estado do solo em que estar próximo de ocorrer à fluidez, ou seja, condição tendendo a saturação do ambiente (fluidez) conseqüentemente o escoamento superficial de água e processo erosivo (LUCIANO ET AL., 2012). Logo, o conceito de consistência do solo inclui a resistência á compressão, resistência ao esforço cortante, friabilidade, plasticidade e pegajosidade, propriedades estas que se manifestam de acordo com a variação das forças de adesão e coesão. Solos com baixo conteúdo de água apresentam-se duros muito coerentes, devido a um efeito cimeritante entre as suas partículas secas. Se o solo for preparado nestas condições, haverá a formação de torrões, conforme Gomes & Cabeda (1976). No caso de o solo encontrar-se muito úmido, sua massa apresentará característica de plasticidade, isto é, a capacidade de não recuperar sua forma original ao cessar a ação da força externa deformante, e também uma forte característica de pegajosidade. A zona de consistência friável representa a faixa ótima para a mobilização mecânica, e a friabilidade será avaliada pela facilidade de esboroamento da massa de solo quando submetido a pressões provocadas pelos órgãos ativos dos implementos agrícolas (CORRÊA, 1982).

Recentemente, Kondo & Dias Junior (1999), estudando o efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três Latossolos, observaram que o limite de plasticidade (LP) pode representar a umidade que propicia maior índice de compressão (m). Tal observação sugere que o limite de plasticidade (LP) possa indicar a umidade acima da qual o solo não deve ser trabalhado, dado o risco de compactação, pois este limite indica o início da faixa de plasticidade, isto é, faixa onde ocorrem deformações plásticas não recuperáveis (HILLEL, 1982; DIAS JUNIOR, 1994).

As propriedades físico-químicas das argilas – e por conseqüência os solos argilosos – podem sofrer alterações em função das mudanças ambientais devido à alta

afinidade por água das argilas. Por exemplo, a contaminação do lençol freático pode alterar os limites de consistência de solos argilosos (OREN & KAYA, 2003).

Gomes & Cabeda (1976), estudando três solos argilosos do Rio Grande do Sul, também encontraram que a matéria orgânica influencia na consistência. Os autores observaram correlação positiva entre o teor de água para o limite inferior de plasticidade e quantidade de matéria orgânica nos solos estudados.

Alterações nos limites de consistência do solo em razão das modificações nos teores de carbono orgânico são pouco estudadas (NETTLETON & BRASHER, 1983). Smith et al. (1985) obtiveram correlações positivas entre a matéria orgânica e o limite de plasticidade em solos com diferentes mineralogias, enfatizando que o aumento da matéria orgânica tende a aumentar a área superficial específica do solo, com conseqüente aumento de retenção de água, levando-o a ter maiores valores para os limites de plasticidade do solo. A redução da matéria orgânica nos solos cultivados, no entanto, pode reduzir o limite de plasticidade e a faixa de friabilidade, refletindo no aumento da compactação. A determinação do teor de água adequado à realização das atividades mecanizadas torna-se importante visto que, muitas vezes, na tentativa de se atender a um cronograma de trabalho, não se considera a faixa de umidade ideal para as atividades agrícolas, o que aumenta, sem dúvida, os riscos de degradação física do solo.

A adição de resíduos com baixa taxa de decomposição é mais recomendada para a manutenção dos teores de matéria orgânica dos solos, enquanto resíduos com elevada taxa de decomposição estimulam a redução dos estoques da matéria orgânica nativa dos solos (LEVI-MINZI et al., 1990).

Os limites de consistência são afetados pelo manejo do solo, conforme Klein & Libardi (2001), comparando os sistemas de manejo de mata, sequeiro e irrigado, constataram que ocorre uma diminuição do índice de plasticidade, provocada pelo aumento da umidade no limite plástico e redução da umidade no limite líquido no solo irrigado. Destacam ainda que, no sistema plantio direto irrigado, o ponto de friabilidade do solo é atingido com maior teor de água no solo.

## 2.7. ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Os atributos químicos relacionam-se com o solo como um corpo que contém partículas carregadas eletricamente, as quais, por sua própria natureza, apresentam dinamismo no espaço e no tempo. Os mais importantes são o pH, condutividade

elétrica, cátions trocáveis e fósforo assimilável. pH, por definição, é o logaritmo negativo da atividade dos íons H<sup>+</sup> (EMBRAPA, 1999b). Cada série de reações químicas no solo, que provoque alteração no pH, afeta de certa maneira o crescimento das plantas. É que mudanças no pH provocam diminuição ou aumento na solubilidade de nutrientes, como também na atividade de microrganismos. A maior parte das plantas cultivadas desenvolve-se bem em pH em torno de 6,5, embora algumas produzam satisfatoriamente em condições de acidez mais elevada (Neptune, 1976).

Segundo Wutke (1972), o conhecimento sobre o pH do solo é de extrema importância pois, isoladamente, talvez seja o parâmetro que mais permita inferências sobre possíveis problemas de fertilidade do solo. Para Kiehl (1979), solos com pH entre 5,8 e 7,5 tendem a ser livres de problemas do ponto de vista de crescimento vegetal. Em valores abaixo de 5,0 há deficiência de elementos como Ca, Mg, P, Mo e B e toxicidade por Al, Mn, Zn e outros metais pesados, devido às suas maiores solubilidades nessa faixa de pH. Valores entre 8,0 e 8,5 indicam a ocorrência de carbonato de cálcio e/ou de magnésio livres e baixas disponibilidades de P, Mn, Zn e Cu.

Condutividade Elétrica é a medida padrão que se usa para indicar a concentração total de constituintes ionizados em uma solução. Está intimamente relacionada com a soma de cátions e ânions determinada quimicamente e, usualmente, com o total de sólidos dissolvidos. Tem sua dimensão em mhos cm<sup>-1</sup> ou S cm<sup>-1</sup>, no Sistema Internacional de Unidades) podendo, também, ser expressa por múltiplos e submúltiplos destas unidades (USSLS, 1954). Quando os sais solúveis do solo atingem níveis que possam prejudicar de maneira economicamente significativa o rendimento das culturas, diz-se que o solo está salinizado. Os solos salinos se encontram principalmente em zonas de clima árido ou semi-árido. Em condições úmidas os sais solúveis, originalmente presentes nos materiais do solo e os liberados pela intemperização dos minerais, são lixiviados para as camadas inferiores do perfil. Em regiões áridas e semi-áridas, além da baixa precipitação pluviométrica, a elevada evaporação tende a concentrar os sais na superfície do solo, camada mais explorada pelo sistema radicular das culturas (USSLS, 1954; BATISTA ET AL., 2002).

Cátions Trocáveis são íons carregados positivamente, retidos na superfície de uma partícula sólida com carga superficial negativa, os quais podem ser substituídos por outros íons de carga positiva. Os principais cátions trocáveis são o Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> Na<sup>+</sup>,

$Al^{3+}$ . Os quatro primeiros são básicos e o último é ácido. Além desses, o hidrogênio é extremamente importante, apesar do elemento se encontrar principalmente na forma não dissociada no solo, ligado a grupamentos funcionais de natureza orgânica ou mineral e apenas em teores muito baixos na forma do íon  $H^+$  em solução. Desse modo, o hidrogênio não é considerado trocável. No entanto, quando da sua neutralização, são liberadas posições de troca de cátions na superfície dos colóides do solo (RAIJ et al., 2001).

A capacidade de troca de cátions é um atributo de grande interesse prático, principalmente para estudos de fertilidade, pois o potencial de produtividade de um solo é proporcional à magnitude do mesmo. Marshall já dizia que a capacidade de troca catiônica “é a segunda reação mais importante na natureza, suplantada em importância fundamental somente pelo processo fotossintético das plantas verdes” (JACKSON, 1967). De acordo com Melo et al. (1983), os valores SB, CTC e V são de grande valia no que se relaciona à fertilidade do solo e ao emprego de adubos e corretivos. Interpreta-se que um solo com um valor de SB baixo é pobre em nutrientes para os vegetais. Um valor baixo de CTC indica que o solo tem pequena capacidade para reter cátions em forma trocável. Neste caso, por exemplo, não se deve fazer adubações e calagem em grandes quantidades de uma só vez, porém parceladas, para evitar perdas por lixiviação. O solo, nessa condição, provavelmente será ácido podendo conter alumínio em nível tóxico às culturas. Para Raij (1967), a capacidade de troca de cátions é um bom indicador da atividade dos colóides do solo.

A análise de elementos químicos do solo é considerada uma importante ferramenta, seja para uso agrícola, florestal e urbano. Atualmente, o enfoque para a análise de teores totais de nutrientes está voltado para o estudo da disponibilidade dos mesmos para as plantas, contaminação do solo, definição de valores orientadores de qualidade do solo, de alerta de intervenção do ambiente e de limites permissíveis de elementos potencialmente tóxicos nos solos agrícolas, (MELO; ALLEONI, 2009).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

A pesquisa foi realizada nos municípios de Pau dos Ferros (1), São Francisco do Oeste (2), Mossoró (3), Governador Dix- Sept Rosado (4) e Umarizal (5) no estado do Rio Grande do Norte na mesorregião Oeste Potiguar (figura 1) em diferentes classes de solos.

Segundo Köpper o clima desta região classifica-se em semiárido quente, com precipitação pluvial média anual de 712 mm, durante os meses de fevereiro a maio (BELTRÃO ET AL., 2005).



Figura 1. Localização das áreas avaliadas

Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista\\_de\\_mesorregi%C3%B5es\\_do\\_Rio\\_Grande\\_do\\_Norte](https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_mesorregi%C3%B5es_do_Rio_Grande_do_Norte)

As áreas de estudo foram definidas por: 01 – área de Cambissolo (Perfil 7) (AC), 02 – área de Latossolo (Perfil 5) (AL), 03 – área de Cambissolo 2 (Perfil 6) (AV), 04 – áreas de Gleissolo (Perfil 1) (AG), 05- área de Planossolo Háptico (Perfil 4) (APH), 06- área de Planossolo Nátrico (Perfil 2) (APN), 07- área de Planossolo Nátrico (Perfil 3) (APN2). Os municípios e as suas respectivas coordenadas de referências das classes de solos analisadas encontram-se na tabela 1.

Tabela 1. Municípios e coordenadas de referências das classes de solos analisadas

Município	Coordenadas		Classe do solo
	Latitude Sul	Longitude Oeste	
Governador Dix Sept Rosado	5° 30' 12,8''	37° 27' 1''	Cambissolo
Governador Dix Sept Rosado	5° 29' 47,3''	37° 28' 20,8''	Latossolo
Governador Dix Sept Rosado	5° 10' 1,91''	37° 14' 2,86''	Cambissolo 2
Mossoró	5° 29' 13,1''	37° 24' 33,1''	Gleissolo
Pau dos Ferros	6° 7' 7,58''	38° 6' 5,62''	Planossolo Háplico
Umarizal	6° 2' 7,38''	37° 46' 9,45''	Planossolo Nátrico
São Francisco do Oeste	5° 59' 24''	38° 10' 48''	Planossolo Nátrico

O município de Governador Dix Sept Rosado está situado a 5° 30' 12,8'' de latitude Sul e 37° 27' 1'' de longitude Oeste e altitude de 82 metros. Nele encontra-se descrito o perfil de Cambissolo (Área de Cambissolo (AC)). A vegetação existente no local é a Caatinga hiperxerófila decídua, com exemplares predominantes das espécies: *Combretum leprosum* L. (mofumbo), *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (pau-d'arco), *Ziziphus joazeiro* Mart. (juazeiro) e *Mimosa hostilis* Benth. (jurema-preta). No momento da coleta havia plantio das culturas milho e sorgo.

Ainda no município de Governador Dix Sept Rosado com coordenadas: 5° 29' 47,3'' de latitude Sul e 37° 28' 20,8'' de longitude Oeste e altitude de 97 metros foi descrito o perfil de Latossolo (Área de Latossolo (AL)). A vegetação existente é de mata nativa com Caatinga hiperxerófila decídua, com exemplares predominantes das espécies: *Combretum leprosum* L. (mofumbo), *Cydonia oblonga* (Marmeleiro), *Piptadenia moniliformis* (Catanduva). E também neste município foi descrito o perfil de Cambissolo 2 com coordenadas: 5° 10' 1,91'' de latitude Sul e 37° 14' 2,86'' de longitude Oeste e altitude de 90 metros. A vegetação existente é a Caatinga hiperxerófila decídua, com exemplares predominantes das espécies: *Bauhinia forficata* (Mororó), *Bromelia laciniosa* (Macambira).

No município de Mossoró com coordenadas: 5° 29' 13,1'' de latitude Sul e 37° 24' 33,1'' de longitude Oeste está localizado o perfil de Gleissolo (Área de Gleissolo (AG)). Possui relevo plano, com vegetação local de formação halófilas. O uso atual desta terra é para extração de petróleo e pecuária extensiva.

A área de Planossolo Háplico encontra-se no município de Pau dos Ferros com coordenadas: 6° 7' 7,58'' de latitude Sul e 38° 6' 5,62'' de longitude Oeste. Possui relevo plano, vegetação existente é a Caatinga hiperxerófila arbustiva com substrato rasteiro de gramíneas e uso atual pecuária extensiva.

No município de Umarizal com coordenadas: 6° 2' 7,38'' de latitude Sul e 37°46'9,45'' de longitude Oeste e altitude 154 metros encontra-se o perfil de Planossolo Nátrico (Área de Planossolo Nátrico (APN). Possui relevo plano, vegetação existente é a Caatinga hiperxerófila com pastagens de gramíneas espontâneas, com ocorrência de leguminosas e mangueiras e uso atual pecuária extensiva.

A segunda área com Planossolo Nátrico (APN2) encontra-se no município de São Francisco do Oeste, na embocadura do rio Encanto como Rio Pau dos Ferros. Possui relevo plano, vegetação existente é a Caatinga hiperxerófila arbustiva aberta com substrato rasteiro de gramíneas com domínio de pinhão, pereiro e mufumbo. O uso atual é pecuária extensiva.

### 3.2 AMOSTRAGEM DO SOLO DAS ÁREAS EM ESTUDO

As coletas de solo para a pesquisa foram realizadas nas respectivas áreas supracitadas que possuem características particulares quanto a classificação de solos. Realizou-se abertura de sete perfis nas áreas e coletou-se amostras dos seus respectivos horizontes diagnósticos, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de solos (Santos et al. 2013). As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e encaminhadas para o Laboratório de Análise de Solo Água e Planta – LASAP/UFERSA. Posteriormente as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2,0 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) para realização das análises físicas e químicas do solo.

### 3.3 ANÁLISES DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Os atributos químicos avaliados foram: potencial hidrogeniônico (pH) em água, condutividade elétrica (CE) em água, carbono orgânico total (COT) por digestão da matéria orgânica, teor de cálcio trocável (Ca<sup>2+</sup>) e magnésio trocável (Mg<sup>2+</sup>) com extrator cloreto de potássio, acidez potencial (H+Al) com utilização de acetato de cálcio, análise do fósforo (P), sódio (Na<sup>+</sup>) e potássio (K<sup>+</sup>) com extrator Mehlich 1. Consequentemente foi calculada a capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB) e saturação por bases (V), sendo analisados conforme (DONAGEMA et al., 2011). E interpretados conforme Manual de Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (RIBEIRO;GUIMARÃES, VENEGAS,1999).

### 3.4 ANÁLISES DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

A granulometria foi obtida pelo método da pipeta utilizando dispersante químico (Hexametáfosfato de sódio) e água destilada em 20 g da terra fina seca ao ar (TFSA), com agitação mecânica lenta em agitador (Wagner 50 rpm) por 16 horas (DONAGEMA ET AL., 2011). Realizou-se o pré-tratamento nas amostras dos horizontes diagnósticos que apresentaram efervescência, adicionando HCl a 10%, deixando por 24 horas em repouso e após feita lavagem com água destilada e filtragem, deixando secar ao ar, seguindo após este pré-tratamento o mesmo procedimento da análise granulométrica. A areia (2 a 0,05 mm) foi quantificada por tamisagem, a argila (< 0,002 mm) por sedimentação e o silte (0,05 a 0,002 mm) por diferença entre as frações de areia e argila, conforme Donagema et al (2011).

Os testes de consistência do solo foram determinados, segundo Donagema et al (2011), com base nos limites de liquidez (LL) com a utilização do aparelho de Casagrande. Retirando-se uma amostra do local onde o solo se uniu determinou-se o teor de umidade. Posteriormente foi calculado pela equação:  $LL = WN (N/ 25)^{0,12}$ , em que LL é o limite de liquidez ( $g \cdot 100 g^{-1}$ ), representado pela umidade gravimétrica (%) ajustada para 25 rotações do aparelho; WN refere-se a umidade gravimétrica ( $g \cdot 100 g^{-1}$ ) correspondente às rotações da determinação; e N é o número de rotações da determinação.

O limite de plasticidade (LP) foi determinado retirando-se amostras representativas da parte central do cisalhamento do solo na esfera metálica do equipamento, proveniente da determinação do limite de liquidez e formando-se uma esfera, que foi comprimida sobre placa de vidro até formar um bastão cilíndrico entre 3,0 a 4,0 mm de diâmetro sem quebrar ou fluir. Este procedimento foi realizado com quatro repetições por horizonte diagnóstico nas respectivas classes de solos. A umidade gravimétrica foi determinada na condição de plasticidade para os bastões de solo. O índice de plasticidade (IP) foi determinado pela diferença entre o (LL) e (LP).

### 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados dos atributos físicos e químicos do solo estão apresentados em tabelas oriundas das médias de quatro (04) repetições. Foram empregadas técnicas de análise multivariada como ferramenta principal, especificamente a Análise de Componentes Principais (STATISTICA, 2004), para distinção dos solos pesquisados.

Como ferramenta de distinção de áreas de usos agropecuários foram confeccionados diagramas dos componentes principais (Fator 1, 2, 3, 4 e 5) para os atributos físicos (granulometria, índices de consistência) e atributos químicos (pH, CE, COT, P, K, Na, Ca, Mg, (H+Al), SB, V, PST) em conjunto. A partir desses dados foram criados diagramas bidimensionais para distinção das áreas de coletas de solos e diagramas de projeção de vetores para distinção dos atributos do solo que mais distinguiram nas áreas pesquisadas.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS

#### - pH (potencial hidrogeniônico)

Analisando os atributos químicos dos solos avaliados nos respectivos horizontes diagnósticos (Tabela 2), verificou-se que houve variação nos valores de pH entre as classes de solos variando de 4,45 a 8,49 (Tabela 2). No Gleissolo (Perfil 1) foram encontrados valores de pH=7,33, podendo ser classificado como alcalinidade fraca, bem próximos a neutralidade, o que pode ser justificado pelo material de origem, possuindo quantidades consideráveis de cálcio (Calcário Jandaíra), também não foi detectado pela análise  $Al^{+3}$  e H+Al (Tabela 2), fato que contribui para o aumento do pH. Dados semelhantes foram verificados por Marinho et al. (2016) em Cambissolos na região de Governador Dix Sept Rosado, onde os valores de pH variaram de 7,3 a 7,9. O pH, de neutro a básico, pode indisponibilizar alguns nutrientes para as plantas (Souza et al, 2010). A alcalinidade ocorre com mais naturalidade em regiões áridas e semi-áridas nas quais, em virtude das baixas precipitações pluviais, dentre as bases trocáveis há o acúmulo de sais, especialmente de cálcio, de magnésio e de carbonato de sódio (PRATT, 1966; BUCKMAN & BRADY, 1989). Segundo Sparks (1995), o aumento do pH pode proporcionar um aumento da dispersão de argila em solos de carga variável, fato esse creditado à geração de cargas negativas nas partículas do solo. Verificou-se variação de pH de 4,45 a 5,34 no Latossolo (Perfil 5) mostrando acidez, podendo ser justificado por sua localização mais alta na paisagem (97m), favorecendo o intemperismo químico intenso, com perda dos cátions básicos, por meio da lixiviação.

#### - CE (condutividade elétrica)

Verificou-se na tabela 2, quanto a CE, no Gleissolo (Perfil 1) que variou de 0,09 a 1,17  $dS\ m^{-1}$ . A condutividade elétrica é usada para medir a quantidade de sais presente na solução do solo. Quanto maior a quantidade de sais presente na solução, maior será o valor obtido. Verifica-se na tabela 2 que os maiores valores da CE, consequentemente maiores quantidades de sais, foram encontradas em subsuperfícies, nos perfis de Planossolo Nátrico (Perfil 2) 2,29  $dS\ m^{-1}$ ; Cambissolo 2 (Perfil 6) 1,37  $dS\ m^{-1}$ ; Planossolo Háplico (Perfil 4) e Cambissolo ( perfil 7) 0,70  $dS\ m^{-1}$ . Já o Latossolo (Perfil 5) apresentou valores de CE baixos e uniformes no perfil variando de 0,23  $dS\ m^{-1}$

<sup>1</sup> a 0,54 dS m<sup>-1</sup>, podendo ser justificado pela litologia, constituída por sedimentos areníticos terciários de origem pré-cambriana (JACOMINE, 1971), com boa drenagem em função da predominância da fração areia total, conforme tabela 3 onde encontra-se mais de 80% de areia no perfil. O acúmulo de sais no solo pode ser influenciado pela deficiência de drenagem interna do perfil e aos ciclos de água, seja pela irrigação, ou pela baixa precipitação pluvial (SOUZA et al., 2006), associados a litologia, calcário Jadaíra, apresentando valores altos da fração silte no Gleissolo (Perfil 1), seguido do Planossolo Nátrico 2(Perfil 3) e da fração argila para o Gleissolo (Perfil 1), seguido do Cambissolo 2 (Perfil 6) e Cambissolo (Perfil 7). Em regiões áridas e semi-áridas, além da baixa precipitação pluvial, a elevada evaporação tende a concentrar os sais na superfície do solo, camada mais explorada pelo sistema radicular das culturas (BATISTA ET AL., 2002). Tomé Jr (1997) afirma que o excesso de sais na zona radicular, independentemente dos íons presentes, prejudica a germinação, desenvolvimento e produtividade das plantas. Isso porque uma maior concentração da solução exige da planta um maior dispêndio de energia para conseguir absorver água (efeito osmótico) prejudicando seus processos metabólicos essenciais. Os solos siltosos, em que grande parte das partículas pertence à fração silte, são solos muito suscetíveis à erosão, pois as partículas são finas e leves e não se agregam como no caso das argilas (TOLEDO, 2000). Solos com altos teores de silte até mesmo nos horizontes superficiais e com pouca profundidade fazem com que estes solos tenham permeabilidade muito baixa (MACEDO, 1996). A fração silte é bastante suscetível à erosão hídrica, uma vez que as partículas são pequenas o suficiente para serem transportadas pelos agentes ativos do processo erosivo, (OLIVEIRA, 2009; OMUNTO, 2008).

#### - Carbono Orgânico Total (COT)

Avaliando o carbono orgânico total (Tabela 2), o Cambissolo 2 (Perfil 6) apresentou quantidade de COT (55,40 g kg<sup>-1</sup>) como muito boa, esse fato pode estar relacionado com a área de serapilheira contribuindo para os valores encontrados. No Latossolo (Perfil 5) a presença de matéria orgânica pode ser devido parte a ligação dos ácidos orgânicos a elementos químicos como alumínio e manganês.

De forma geral, os solos da caatinga são considerados rasos, com boa fertilidade e com deficiência em matéria orgânica em função da decomposição influenciada pelo padrão climático (LINHARES, 1998). Souza (2014) estudando Cambissolos em áreas de mata nativa, situado no município de Governador Dix-Sept Rosado no Estado do Rio

Grande do Norte, observou que o COT apresentou valores altos, representativos dentro de um ambiente de condições semiáridas.

Tabela 2 - Atributos químicos nos respectivos horizontes diagnósticos, classes dos solos e municípios da mesorregião do oeste potiguar RN

Horizonte Diagnóstico (cm)	pH Água	CE dS m <sup>-1</sup>	P mg.dm <sup>-3</sup>	COT g kg <sup>-1</sup>	cmolc.dm <sup>-3</sup>						SB	t	CTC	v	m %	PST
					Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	(H+Al)						
<b>GLEISSOLO SÁLICO (Perfil 1) Mossoró-RN</b>																
A (0-3)	7,33	0,54	251,50	24,74	17,70	17,85	0,87	47,48	0,00	1,13	83,91	83,91	85,04	98,7	0	56
2C1 (3-44)	7,81	0,12	184,45	8,55	7,00	12,40	1,15	23,59	0,00	0,00	44,14	44,14	44,14	100,0	0	53
2C3 (44-80)	7,71	1,17	224,60	6,52	4,80	9,70	0,60	10,20	0,00	0,00	25,31	25,31	25,31	100,0	0	40
C3 (80-100)	7,59	0,09	108,25	6,30	5,00	10,50	1,08	11,61	0,00	0,00	28,19	28,19	28,19	100,0	0	41
<b>PLANOSSO NÁTRICO (Perfil 2) Umarizal-RN</b>																
Ap (0-10)	5,30	0,05	127,40	6,19	1,95	1,15	0,21	0,03	0,10	1,13	3,33	3,43	4,46	74,8	3	1
E (10-26)	5,69	0,04	115,60	9,45	2,90	1,45	0,07	0,06	0,05	0,45	4,48	4,53	4,93	90,9	1	1
BA (26-40)	7,84	0,10	11,85	2,81	1,95	1,00	0,04	13,19	0,00	0,08	16,18	16,18	16,25	99,5	0	81
Bt1 (40-70)	8,38	1,43	12,45	0,79	3,30	0,00	0,05	2,47	0,00	0,00	5,82	5,82	5,82	100,0	0	42
Bt2 (70-160)	8,49	2,29	7,25	0,90	3,70	0,00	0,06	4,64	0,00	0,00	8,40	8,40	8,40	100,0	0	55
BC (160-180 +)	8,22	0,92	28,40	0,00	1,00	2,40	0,06	2,49	0,00	0,30	5,95	5,95	6,25	95,2	0	40
<b>PLANOSSOLO NÁTRICO (Perfil 3) São Francisco do Oeste-RN</b>																
A (0-3)	4,94	0,06	9,00	16,53	1,90	2,05	0,22	0,11	0,00	1,20	4,28	4,28	5,48	78,1	0	2
AB (3-20)	6,30	0,05	4,65	5,85	2,85	1,90	0,10	0,85	0,05	0,75	5,70	5,75	6,45	88,4	1	13
B (20-90)	6,90	0,86	15,75	4,05	6,30	5,80	1,30	1,17	0,00	0,08	14,57	14,57	14,65	99,5	0	8
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO (Perfil 4) Pau dos Ferros-RN</b>																
A (0-10)	4,76	0,10	7,90	9,34	1,55	1,00	0,17	0,04	0,10	1,43	2,76	2,86	4,18	65,9	3	1
B21 (10-40)	5,01	1,23	5,45	5,96	3,35	4,55	0,08	1,40	0,00	0,53	9,38	9,38	9,90	94,7	0	14
B22 (40-80)	7,66	1,26	7,75	2,14	1,90	2,10	0,08	2,04	0,00	0,00	6,11	6,11	6,11	100,0	0	33
<b>LATOSSOLO (Perfil 5) Governador Dix -Sept Rosado RN</b>																
A (0-13)	5,34	0,48	115,47	24,71	4,45	1,04	0,19	0,01	0,00	3,47	5,68	5,68	9,15	62,1	0	0
AB (13-45)	5,00	0,23	72,22	3,35	1,45	0,87	0,12	0,01	0,00	2,31	2,44	2,44	4,75	51,4	0	0
BA (45-87)	4,45	0,54	88,91	3,20	1,40	0,30	0,12	0,04	0,00	2,15	1,86	1,86	4,01	46,4	0	1
B (87-140)	4,52	0,31	462,25	33,95	2,65	1,14	0,09	0,01	0,00	2,15	3,89	3,89	6,04	64,4	0	0
<b>CAMBISSOLO 2 (Perfil 6) Governador Dix -Sept Rosado RN</b>																
A (0-7)	6,52	0,34	143,54	55,40	21,00	2,91	0,50	0,05	0,00	2,81	24,46	24,46	27,27	89,7	0	0
B (7-37)	6,32	1,37	101,05	10,73	27,35	3,97	0,18	0,21	0,00	2,15	31,71	31,71	33,86	93,6	0	1
<b>CAMBISSOLO (Perfil 7) Governador Dix -Sept Rosado RN</b>																
A (0-10)	6,00	0,56	470,59	15,65	7,05	2,39	0,63	0,02	0,00	3,14	10,10	10,10	13,24	76,3	0	0
Bi (10-45)	6,44	0,70	137,47	10,18	8,10	1,93	0,35	0,04	0,00	2,81	10,41	10,41	13,22	78,7	0	0

pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; P – fósforo; CO – carbono orgânico; Ca<sup>2+</sup> – cálcio; Mg<sup>2+</sup> – magnésio; K<sup>+</sup> – potássio; Na<sup>+</sup> – sódio; Al<sup>3+</sup> – alumínio; (H + Al) – acidez potencial; SB – soma de bases; t – capacidade troca catiônica efetiva; CTC – capacidade de troca catiônica potencial; V – saturação por bases; m – saturação por alumínio; PST – porcentagem de sódio trocável

## - Fósforo (P)

De modo geral, os teores de fósforo (P) nos solos avaliados foram altos Cambissolo (Perfil 7) ( $470,59 \text{ mg.dm}^{-3}$ ), Latossolo (Perfil 5) ( $462,25 \text{ mg.dm}^{-3}$ ), Cambissolo 2 (Perfil 6) ( $143,54 \text{ mg.dm}^{-3}$ ) e Gleissolo (Perfil 1) ( $251,50 \text{ mg.dm}^{-3}$ ), conforme tabela 2. Silva et al., (2008) constataram um elevado teor de P em áreas cultivadas em relação a floresta nativa, conforme o trabalho em estudo. Com exceção apenas para os Planossolos Nátrico 2 (Perfil 3) e Háplico (Perfil 4) e Nátrico (Perfil 2) havendo uma diminuição em subsuperfície. Em relação à distribuição do fósforo do perfil, Kiehl & Lambais (1994), afirmam que o teor do elemento é maior na superfície e decresce com a profundidade. Por outro lado, Amaro Filho et al. (2002), estudando a solução do solo, em Latossolos, em período chuvoso, encontraram maiores concentrações do elemento em profundidade, fato atribuído à lixiviação em função das precipitações pluviais. Os solos do semiárido apresentam, em geral, baixos teores de P disponível (PEREIRA & FARIA, 1998; DA SILVA GALVÃO ET AL., 2008), estando dessa forma, os Planossolos, dentro dos valores esperados. Este é um elemento de baixa mobilidade no solo, onde se encontra combinado com o  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$  e a matéria orgânica. O acúmulo de fósforo em superfície do solo é devido a decomposição dos resíduos de plantas e da redução da fixação em função do seu menor contato com os nutrientes inorgânicos do solo, o caso da área de Cambissolo (Perfil 7) ( $470,59 \text{ mg.dm}^{-3}$ ), Cambissolo 2 (Perfil 6) ( $143,59 \text{ mg.dm}^{-3}$ ) e Latossolo (Perfil 5) ( $115,47 \text{ mg.dm}^{-3}$ ). Em solos ácidos parte do fósforo disponível é fixado que o torna indisponível para as plantas.

## -Bases Trocáveis

Analisando os perfis em estudos (Tabela 2), quanto a saturação por bases, verificou-se alta saturação por bases, sendo considerados eutróficos ( $V > 50\%$ ) todos as classes de solos em estudo com exceção do Latossolo (Perfil 5). Em Latossolos, em geral, a principal limitação é a baixa fertilidade natural, porque são solos distróficos, com baixa saturação por bases (EMBRAPA, 1997). A saturação por bases pode ser um indicativo das condições de fertilidade do solo, fortemente influenciado pela fração argila e utilizada como complemento na nomenclatura dos mesmos. Os solos podem ser divididos de acordo com a percentagem de saturação como: solos eutróficos  $V\% \geq 50\%$

e solos distróficos  $V\% < 50\%$ , (RONQUIM et al., 2010). A soma de bases foi considerada muito boa na primeira camada do Gleissolo (Perfil 1), (tabela 2), havendo decréscimo nos horizontes subjacentes e mais profundas e uma SB baixa para os demais perfis estudados (tabela 2), porém, permanecendo eutrófico.

Observou-se (Tabela 2) quantidade de  $\text{Ca}^{2+}$  maior que  $4 \text{ cmolc.dm}^{-3}$  nos Gleissolos (Perfil 1), Cambissolo 2 (Perfil 6) e Cambissolos (Perfil 6) o que pode ser considerada como muito bom. Isso se deve a geologia da região onde se encontram estes solos classificadas como cretáceo do grupo Apodi, calcário Jandaíra e Arenito Açu. Esse elemento, conforme relata Meurer (2000), promove a floculação das argilas, além de contribuir para o aumento da atividade biológica, que favorece a agregação das partículas do solo. Apresentando, assim, deficiência na infiltração, conseqüentemente com limitações físicas quanto à drenagem. O material de origem (Calcário Jandaíra) no processo de intemperismo dissocia carbonato de cálcio no sistema solo. Por se encontrar numa região semiárida, o ambiente apresenta um baixo intemperismo, regime pluvial irregular e temperaturas elevadas, sendo fatores condicionantes para a manutenção das bases trocáveis (BELTRÃO et al., 2005).

CTC (capacidade de troca catiônica)

A capacidade de troca catiônica (CTC) expressa a quantidade total de cátions retidos na superfície dos colóides (minerais de argilas e humus) em estado permutável (Kiehl, 1979). A CTC foi considerada muito boa ( $\text{CTC} > 8$ ) para Cambissolo (Perfil 7), Cambissolo 2 (Perfil 6) e Gleissolo (Perfil 1) (Tabela 2). A maior parte da CTC destes solos está ocupada por cátions essenciais como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  em função do tipo de argilomineral, proveniente do material de origem (Calcário Jandaíra) com predominância de ilita (2:1), mica (2:1) e vermiculita (2:1), pode-se inferir maior fertilidade natural desses solos. (RONQUIM et al., 2010).

- Porcentagem de Sódio Trocável (PST) e Sódio ( $\text{Na}^+$ )

Analisando os perfis em estudo (Tabela 2), verificou-se maior concentração de sódio no Gleissolo (Perfil 1)  $47,48 \text{ cmolc.dm}^{-3}$ , seguido do Planossolo Nátrico (Perfil 2)

13,19 cmolc.dm<sup>-3</sup> no horizonte diagnóstico B e nos Planossolos Nátrico 2 (Perfil3) 1,17 cmolc.dm<sup>-3</sup> e Háplico (Perfil 4) 2,04.

Encontramos valores da CE < 4 e PST >15 para os Gleissolos (Perfil 1) nas camadas subsuperficiais com pH mais elevado (8,50) o que o classifica como solos sódicos.

O manejo destes solos, para torná-los produtivos, necessita de uma diminuição na concentração no teor de Na trocável, mediante a aplicação de corretivos como o gesso para reduzir a concentração de sódio na CTC e lavagem com água de boa qualidade. A vegetação dessas áreas possui plantas halófilas (toleram a salinidade do solo), essas plantas absorvem o cloreto de sódio em altas taxas, acumulando-o em suas folhas para estabelecer um equilíbrio osmótico com o baixo potencial da água presente no solo. A sodicidade dos solos ocasiona a dispersão das argilas, diminuição da infiltração e retenção de água disponível no solo, os fluxos de ar e o crescimento e desenvolvimento das raízes (SILVA et al, 2014).

#### 4.2 ANÁLISES DOS ATRIBUTOS FÍSICOS

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da distribuição do tamanho das partículas (granulometria) e sua classificação textural. De forma geral, os perfis em estudo apresentaram variação na classificação textural. Observou-se para todos as classes de solos um aumento da fração argila em subsuperfície, com exceção do Gleissolo (Perfil 1) onde houve aumento no horizonte diagnóstico C (3-44cm). Verificou-se nos Planossolos que os teores de areia fina foram maiores que os de areia grossa o que contribui para o aumento da disponibilidade de água no perfil. A textura é uma das características mais estáveis e representa a distribuição quantitativa das partículas sólidas minerais, quanto ao tamanho (argila, silte, areia), sendo importante para a descrição, identificação e classificação do solo, com conotação quantitativa assim como, na determinação da água disponível as plantas (FERREIRA, 2010). É a característica do solo que tem maior influência na retenção de água, não sendo modificada com o tempo, exceto se considerar milênios de anos e a ação do intemperismo (KLEIN, 2015). A granulometria é uma característica física do solo de

difícil mudança, uma vez que é inerente do material de origem, não sendo alterada pelos usos do solo e dos cultivos agrícolas. São modificadas por condições de perdas e deposição ocorrida ao longo dos anos (NUNES, 2014). Sendo responsável pela fertilidade dos solos os diferentes tipos de argila.

Na área de Latossolo (Perfil 5 ) verificou-se maior concentração da fração de areia o que pode estar relacionado com a localização na paisagem, mais elevado. Altos valores da fração areia foram encontrados nos solos de fragmento florestal em comparação com áreas degradadas, sendo a quantidade expressiva em superfície (Nogueira Júnior, 2000).

As áreas pesquisadas apresentaram altos teores de argila (Tabela 3), 518,03 g.kg<sup>-1</sup> Horizonte 2C1 no Gleissolo (Perfil 1), 337,40 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Bt2 do Planossolo Nátrico (Perfil 2), 273,69 g.kg<sup>-1</sup> no Planossolo Nátrico (Perfil 3), 418,99 g.kg<sup>-1</sup> no Cambissolo (Perfil 6) e 401,18 g.kg<sup>-1</sup> no Cambissolo (Perfil 7) com exceção do Latossolo (Perfil 5). A fração argila do solo apresenta propriedades coloidais (partícula com tamanho inferior a 0,002 mm), sendo considerada a fração ativa do solo devido a suas cargas elétricas. Suas propriedades físico-químicas definem a elevada superfície específica, o desenvolvimento de cargas elétricas de superfície, onde ocorre às trocas catiônicas, assim como maior retenção de água no perfil do solo, porém mais suscetível à compactação, sendo facilmente modificado pelo uso antrópico quanto ao tráfego de animais e maquinário nas áreas, sem observar critérios essenciais quanto às frações inorgânicas e teor de água no solo, em função da predominância de microporos. (SANTOS ET AL., 2009).

Os solos com alto teor de argila podem reter grandes quantidades de cátions, apresentam baixo teor de matéria orgânica e baixa CTC. Um solo pode conter alta percentagem de argila e pobreza de nutrientes em virtude da baixa atividade destas argilas (GONÇALVES, 2005).

Para a análise granulométrica (Tabela 3), os perfis apresentaram variações nas classes texturais. Com destaque para o Gleissolo (Perfil 1) que apresentou maior fração silte, sendo um indicativo de solos jovens com pouca atividade intempérica. Neste perfil 1, na profundidade 0-3 cm a classificação textural é franco siltosa, observa-se que a fração silte é bem elevada (805,55 g.kg<sup>-1</sup>), no horizonte 2C1 a classificação passa a ser argila, pois houve um aumento na fração argila (518,05 g.kg<sup>-1</sup>) com considerável redução do silte ( 377,88 g.kg<sup>-1</sup>), já no horizonte 2C3, classificado como franco argilosa,

houve aumento no valor da areia total ( $388,78 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e no horizonte C3 com aumento de areia total ( $524,30 \text{ g.kg}^{-1}$ ) franco argilo arenosa.

Para o Planossolo Nátrico (Perfil 2), houve prevalência da fração areia em todos os horizontes diagnósticos, com classificação variando de areia franca nos horizontes Ap e E ,onde houve predominância da fração areia ( $798,36 \text{ g.kg}^{-1}$  e  $776,42 \text{ g.kg}^{-1}$  respectivamente); a franco arenosa no horizonte BA, onde houve um incremento da fração argila ( $176,72 \text{ g.kg}^{-1}$ ); a franco argilo arenosa nos horizontes Bt1, Bt2 e BC onde houve aumento da fração argila ( $272,26 \text{ g.kg}^{-1}$ ;  $337,40 \text{ g.kg}^{-1}$  e  $245,68 \text{ g.kg}^{-1}$ ).

Para o Planossolo Nátrico (Perfil 3) a classificação textural variou de Franca, nos horizontes A e AB com predominância da fração areia ( $433,53 \text{ g.kg}^{-1}$  e  $495,30 \text{ g.kg}^{-1}$ ), a franco argilo arenosa com incremento da fração argila ( $273,69 \text{ g.kg}^{-1}$ ).

Para o Planossolo Háptico (Perfil 4) a classificação textural teve prevalência da fração areia, sendo classificado como franco arenosa(horizonte A, ( $644,08 \text{ g.kg}^{-1}$ ), franco argilo arenosa no horizonte B21,onde houve aumento na fração argila ( $342,36 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e franco arenosa no horizonte B22 com aumento da fração areia ( $692,61 \text{ g.kg}^{-1}$ ).

Para o Latossolo (Perfil 5) a classificação textural variou de areia franca ,prevalendo a fração areia nos horizontes A e AB ( $839,74 \text{ g.kg}^{-1}$  e  $848,73 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e franco argilo arenosa nos horizontes BA e B onde houve aumento da fração argila ( $288,28 \text{ g.kg}^{-1}$  e  $441,96 \text{ g.kg}^{-1}$ ).

Para os Cambissolos (Perfil 6 e 7) a classificação foi franco argilo arenosa para o horizonte A ( $495,89 \text{ g.kg}^{-1}$  e  $609,72 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e argila arenosa para o horizonte B ( $418,99 \text{ g.kg}^{-1}$ ;  $401,18 \text{ g.kg}^{-1}$ ), ambas prevaleceram a fração areia, porém, houve um aumento da fração argila no horizonte diagnostico B.

Analisando a tabela 4, referente a consistência, nota-se que no Gleissolo (Perfil 1), e nos Cambissolos (Perfil 6 e 7 ) ocorreram aumento nos limites de liquidez e plasticidade em razão do aumento do teor de argila, com destaque para o primeiro, com valor máximo de 42,50 (LP) para Gleissolo (Perfil 1), 33,30 para Cambissolo (Perfil 6) e 21,40 Cambissolo (Perfil 7), refletindo assim, valores extremos de LL e IP. Já no Latossolo (Perfil 5) ocorreu uma queda nestes limites em função da classificação textural areia franca e franco (horizontes A e AB) e argilo arenosa (horizonte BA e B) favorecendo assim a infiltração de água no solo refletindo em menores valores dos LP , encontrando menores valores comparado aos demais perfis. Os Latossolos por

apresentarem teores de argila semelhante entre os horizontes A e B latossólico e pela maior profundidade facilitam a infiltração de água, o que reduz a erosão.

Tabela 3 - Distribuição do tamanho das partículas e sua classificação textural nas classes de solo em estudo nos municípios do RN

Horizonte Diagnóstico (cm)	Distribuição do tamanho das partículas					Classificação Textural (SiBCS)
	Areia Grossa	Areia Fina	Areia Total	Silte	Argila	
g kg <sup>-1</sup>						
<b>GLEISSOLO SÁLICO (Perfil 1) Mossoró-RN</b>						
A (0-3)	64,19	35,58	99,77	805,55	94,68	Franco - siltosa
2C1 (3-44)	46,37	57,69	104,07 <sup>a</sup>	377,88	518,05	Argila
2C3 (44-80)	136,64	252,14	388,78	280,11	331,10	Franco Argilosa
C3 (80-100)	279,20	245,09	524,30	172,03	303,67	Franco Argilo Arenosa
<b>PLANOSSO NÁTRICO (Perfil 2) Umarizal-RN</b>						
Ap (0-10)	164,12	634,24	798,36	135,10	66,54	Areia franca
E (10-26)	102,19	674,23	776,42	149,99	73,59	Areia franca
BA (26-40)	243,43	420,79	664,22	157,40	176,72	Franco arenosa
Bt1 (40-70)	262,71	314,07	576,78	150,96	272,26	Franco Argilo Arenosa
Bt2 (70-160)	294,16	223,80	517,96	144,65	337,40	Franco Argilo Arenosa
BC (160-180 +)	397,30	241,58	638,88	115,44	245,68	Franco Argilo Arenosa
<b>PLANOSSOLO NÁTRICO (Perfil 3) São Francisco do Oeste-RN</b>						
A (0-3)	22,04	411,48	433,53	464,81	101,67	Franca
AB (3-20)	27,76	467,54	495,30	376,37	128,33	Franca
B (20-90)	23,14	428,97	452,11	274,19	273,69	Franco Argilo Arenosa
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO (Perfil 4) Pau dos Ferros-RN</b>						
A (0-10)	179,53	464,55	644,08	296,85	59,07	Franco arenosa
B21 (10-40)	159,83	445,05	604,88	52,76	342,36	Franco Argilo Arenosa
B22 (40-80)	194,46	498,15	692,61	199,63	107,77	Franco arenosa
<b>LATOSSOLO (Perfil 5) Governador Dix Sept Rosado-RN</b>						
A (0-13)	480,372	359,372	839,745	47,518	112,737	areia-franca
AB (13-45)	466,975	381,754	848,729	2,741	148,530	areia-franca
BA (45-87)	365,199	302,200	667,398	44,320	288,282	franco-argiloarenosa
B (87-140)	270,701	188,726	459,428	98,610	441,963	franco-argiloarenosa
<b>CAMBISSOLO 2 (Perfil 6) Governador Dix Sept Rosado-RN</b>						
A (0-7)	280,958	214,940	495,898	178,609	325,49	franco-argiloarenosa
B (7-37)	353,920	113,147	467,067	113,938	418,99	argila-arenosa
<b>CAMBISSOLO (Perfil 7) Governador Dix Sept Rosado-RN</b>						
A (0-10)	339,758	269,966	609,723	74,717	315,56	franco-argiloarenosa
Bi (10-45)	304,131	212,832	516,963	81,860	401,18	argila-arenosa

Conforme a classificação sugerida do Índice de plasticidade (IP) por Jenkins (Caputo, 1987), dos solos em estudo, todas as classes na superfície foram medianamente plástico ( $7 < IP < 15$ ), como também, o Cambissolo (Perfil 6) na subsuperfície, com exceção dos Planossolos (Perfil 2 e 3). O Latossolo (Perfil 5) e o Cambissolo (Perfil 7) em subsuperfície foram classificados como fracamente plástico ( $1 < IP < 7$ ), assim como, os Planossolos (Perfil 2 e 3).

Verificou-se no Cambissolo (Perfil 6) aumento nos limites de liquidez, plasticidade com o incremento da fração argila e carbono orgânico total, e redução, quanto ao aumento da fração areia total. Justifica-se este fato, pelo predomínio de argilominerais, apresentando maior superfície específica, com aumento da capacidade da fração argila de interagir com a água e aumento o efeito lubrificante desta, ocorrendo o rearranjo das partículas menores umas sobre as outras, o que aumentou o índice de plasticidade do solo.

O aumento de valores dos limites de plasticidade no Cambissolo (Perfil 6) denota-se cuidados especiais, quanto ao manejo do solo, pois o intervalo para o preparo é reduzido em função das mudanças dos tipos de consistência que é governado pela umidade do solo e o teor de argila na classe de solo estudada.

As características do perfil de Cambissolo (Tabela 3) nos mostra que é um solo pouco desenvolvido, com presença de horizonte B incipiente, apresenta um pequeno incremento de argila do horizonte A para o Bi tem bom potencial agrícola quanto a fertilidade, embora possua restrições físicas quanto a lenta drenagem e infiltração. Por ser pouco profundo há necessidade de uso de práticas conservacionistas devido a maior suscetibilidade aos processos erosivos.

Para o Gleissolo(Perfil 1), encontrou-se maiores valores para a umidade gravimétrica, indica que nesta condição o solo atinge mais rapidamente a sua condição de friabilidade. Nessa situação, ocorre o mínimo de aderência do solo as ferramentas de preparo ou abertura de sulcos (em semeadura direta) como destaca Ashburner y Sims (1984). Vale ressaltar, que esta condição favorável de umidade na friabilidade é facilmente modificada com o intervalo muito curto para variação da umidade, sendo assim, necessários cuidados especiais quanto à ação antrópica. Apesar de, por suas características naturais, apresentar limitações ao uso agrícola, devido ao risco de inundações ou alagamentos frequentes, apresentou fertilidade natural boa. Quando

drenados podem ser utilizados para o cultivo de culturas de sequeiro (soja, feijão, milho).

Os Cambissolos (Perfil 6 e 7), (Tabela 3) apresentando restrição a percolação de água, devido ao alto teor de argila efetiva, sua drenagem é ineficiente, sendo assim, suas principais limitações estão relacionadas ao uso de máquinas no período chuvoso, a baixa infiltração de água e a drenagem lenta favorecendo assim, a fluidez (escoamento superficial). Não apresentando silte em sua camada, por ser um solo velho, em função do intemperismo químico intenso.

No Latossolo (Perfil 5), (Tabela 3) verificou-se uma profundidade efetiva maior (0 – 140 cm), não apresentando silte em seus horizontes diagnósticos, como é característica dessa classe, proporcionando alta permeabilidade à água, podendo ser mais facilmente trabalhados em função da boa drenagem. Os latossolos são passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento.

Os Planossolos Nátricos (Perfil 2 e 3) devido à baixa permeabilidade do horizonte B, conforme verificado na tabela 4, quanto aos limites de plasticidade e liquidez que apresentaram maiores distâncias entre os mesmos, sendo exceção nas classes de solos em estudo, refletindo em maior umidade gravimétrica e o índice de plasticidade, podendo ser justificado pelo aumento da fração argila, Perfil 2 (337,40 g.kg<sup>-1</sup>) e Perfil 3 (273,69 g.kg<sup>-1</sup>).

O Planossolo Háptico (Perfil 4) apresentou predominância da fração areia com redução desta no horizonte B(10 – 40 cm) (342,36 g.kg<sup>-1</sup>), com incremento da fração argila, apresentando, assim, uma compactação natural neste horizonte, conferindo limitações à permeabilidade. Outra limitação devido o aumento da fração areia foi o aumento do pH. Vale ressaltar, que o mesmo apresentou altas concentrações de sódio comprometendo assim, o desenvolvimento das culturas.

Tabela 4 – Valores de umidade, limite de plasticidade, limite de liquidez e índice de plasticidade dos perfis de solos avaliados em municípios do RN

<b>Horizonte Diagnóstico (cm)</b>	<b>Umidade Gravimétrica</b> g.g <sup>-1</sup>	<b>Limite de Plasticidade</b>	<b>Limite de Liquidez</b> g.100g <sup>-1</sup>	<b>Índice de Plasticidade</b>
<b>GLEISSOLO (Perfil 1) Mossoró-RN</b>				
A ( 0-3)	0,42	35,10	42,30	7,20
2C1 (3-44)	0,50	42,50	50,20	7,70
2C3 (44-80)	0,38	31,60	37,60	6,00
C3 (80-100)	0,37	34,60	35,80	1,20
<b>PLANOSSOLO NÁTRICO (Perfil 2) Umarizal-RN</b>				
Ap (0-10)	0,20	18,30	19,90	1,50
E (10-26)	0,18	16,50	17,40	0,80
BA (26-40)	0,20	17,40	19,30	1,80
Bt1 (40-70)	0,21	18,00	20,90	2,90
Bt2 (70-160)	0,28	21,90	28,50	6,60
BC (160-180 +)	0,20	19,70	20,80	1,10
<b>PLANOSSOLO NÁTRICO (Perfil 3) São Francisco do Oeste-RN</b>				
A (0-3)	0,22	20,30	22,10	1,80
AB (3-20)	0,18	16,10	17,80	1,70
B (20-90)	0,24	20,20	28,30	8,10
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO (Perfil 4) Pau dos Ferros-RN</b>				
A ( 0-10)	0,18	17,80	17,30	0,50
B21 (10-40)	0,16	19,10	15,70	4,40
B22 (40-80)	0,17	16,80	16,30	0,50
<b>LATOSSOLO (Perfil 5) Governador Dix Sept Rosado-RN</b>				
A ( 0-13)	0,22	55,20	34,20	8,70
AB (13-45)	0,16	14,60	11,90	2,70
BA (45-87)	0,22	18,60	21,50	2,90
B (87-140)	0,31	13,40	31,10	17,70
<b>CAMBISSOLO 2 (Perfil 6) Governador Dix Sept Rosado-RN</b>				
A (0-7)	0,23	26,30	39,00	12,70
B (7-37)	0,43	33,30	44,60	11,20
<b>CAMBISSOLO (Perfil 7 ) Governador Dix Sept Rosado-RN</b>				
A (0-10)	0,25	17,20	24,30	7,10
Bi (10-45)	0,25	21,40	25,60	4,30

### 4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Na tabela 5, sobre cargas fatoriais dos atributos químicos dos solos analisados e seus respectivos Autovalores, variâncias totais observadas e acumulada, são apresentados os resultados, para os atributos químicos, utilizando critérios para determinar a quantidade de fatores suficientes para a análise, onde considera as variáveis que expliquem pelo menos 80% da variabilidade total dos dados com os autovalores, como também, a explicação das variâncias associadas aos fatores gerados e a explicação das variâncias acumuladas. Obtendo assim, como principais resultados os fatores 1, 2, 3 e 4 os quais explicaram 81,80% da variação dos dados, considerando apenas as variáveis em destaque (negrito), conforme apresentado na tabela 5.

De acordo com a tabela 5 representadas pelas cargas fatoriais dos atributos químicos dos solos analisados e seus respectivos Autovalores, variâncias totais observadas e acumuladas podemos concluir que o fator 1, considerado fator de maior influencia na diferenciação dos solos sob diferentes sistemas de usos, está relacionado a acidez. A acidez do solo refere-se a sua capacidade de liberar prótons, passando de um determinado estado a outro em relação a um de referência (JACKSON, 1963), este representa a acidez potencial ( $H+Al$ ) e alumínio ( $Al^{3+}$ ), V, pH e PST, onde o primeiro contrasta com os demais. O aumento do pH leva conseqüentemente a um decréscimo na atividade do Al, esses aumentos de pH podem apresentar efeitos benéficos ou maléficis no crescimento de plantas.

Em solos alcalinos ou que receberam calagem, o aumento do pH pode levar à menor disponibilidade de micronutrientes, como Fe, Mn, Cu e Zn (SOUZA ET AL.,2007). Novais et al. (1989), em Latossolo Vermelho-Amarelo com pH original de 6,7, relacionaram o aparecimento de sintomas de deficiência de Mn em plantas de soja com o alto pH do solo. Em solos ácidos, o aumento do pH pode resultar em decréscimo da atividade do Al e, em alguns casos, também de Mn, bem como no aumento da disponibilidade de alguns nutrientes (SILVA & MENDONÇA, 2007). Para os solos estudados neste trabalho o pH variou de ácido no Latossolo (Perfil 5) a alcalino no Gleissolo (Perfil 1) respectivamente, como consequência do material de origem e posição na paisagem, contribuindo assim, para a rota da água e o intemperismo.

Tabela 5 - Cargas fatoriais dos atributos químicos dos solos analisados e seus respectivos Autovalores, variâncias totais observadas e acumuladas.

Variável	Cargas Fatoriais <sup>(1)(2)</sup>			
	1	2	3	4
pH Água	<b>-0,81</b>	0,28	0,31	0,08
CE	-0,55	-0,39	0,46	0,31
P	0,58	0,44	0,23	0,11
COT	0,57	0,25	0,07	0,56
Ca <sub>2+</sub>	0,04	0,26	0,12	<b>0,92</b>
K <sub>+</sub>	-0,04	<b>0,74</b>	0,09	0,10
Na <sub>+</sub>	-0,27	<b>0,87</b>	0,06	0,08
Al <sub>3+</sub>	0,06	-0,13	<b>-0,97</b>	-0,08
(H+Al)	<b>0,85</b>	-0,17	0,10	0,34
SB	-0,19	<b>0,84</b>	0,10	0,43
v	<b>-0,82</b>	0,30	0,12	0,24
m	0,07	-0,12	<b>-0,96</b>	-0,06
PST	<b>-0,74</b>	0,45	0,23	-0,20
Autovalor	4,58	3,07	1,94	1,05
Variância total (%)	35,24	23,60	14,91	8,05
Variância acumulada (%)	35,24	58,84	73,74	81,80

(1)Cargas fatoriais obtidas pela rotação do método varimax (2) Para fins de interpretação foram consideradas significantes cargas fatoriais  $\geq 0,70$ .

O fator 2 em destaque (tabela 5) é representado pelos cátion básicos Na<sup>+</sup> (sódio), K<sup>+</sup> (potássio) e SB (Soma de Bases) e o fator 3 alumínio (Al) e acidez por alumínio (m). Observamos que ambos estão relacionados à fertilidade do solo.

A saturação por bases é um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo, sendo utilizada até como complemento na nomenclatura dos solos. De acordo com Melo et al. (1983), os valores SB, CTC e V são de grande valia no que se relaciona à fertilidade do solo e ao emprego de adubos e corretivos. Interpreta-se que um solo com um valor de SB baixo é pobre em nutrientes para os vegetais, o que é o caso dos Planossolos avaliados (Perfil 2, 3 e 4). Um índice V baixo significa que há pequenas quantidades de cátions, como Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>, saturando as cargas negativas dos colóides e que a maioria delas está sendo neutralizada por H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup>. O solo, nessa condição, provavelmente será ácido podendo prejudicar o desenvolvimento das culturas, o que podemos verificar no Latossolo (Perfil 5).

O fator 4 relaciona a importância do  $\text{Ca}^{2+}$  macronutriente encontrado em maior quantidade nos solos estudados. Maiores quantidades de cálcio, neste trabalho, foram encontrados nos Cambissolos (Perfil 6) e (Perfil 7), seguidos do Gleissolo (Perfil 1) devido a geologia da região onde se encontram estes solos classificadas como cretáceo do grupo Apodi, calcário Jandaíra e Arenito Açu. Como também acúmulo de resíduos orgânicos.

A análise da figura 2, que representa os diagramas de projeção dos vetores para os atributos químicos dos solos permite confirmar a influência dos atributos químicos para diferenciar os solos sob diferentes sistemas de uso. O Fator 1, gerado para os atributos químicos do solo explicou 35,24 % da variação total dos atributos estudados, e os maiores coeficientes de correlação foram identificados para as variáveis (H + Al), valor V e pH, ou seja, esses atributos foram mais sensíveis na distinção das classes de solos. Conforme visualiza-se no diagrama de projeção dos vetores, onde esses atributos apresentam-se mais distantes do eixo do Fator 1.

Para o Fator 2, onde a variância explicada foi menor (23,60 %), o Na foi identificado como atributo mais sensível na distinção dos solos sob diferentes sistemas de uso, apresentando maior distância de seu vetor em relação ao eixo do Fator 2. Para o Fator 3, onde a variância explicada foi (14,91 %), o Al foi identificado como atributo mais sensível na distinção dos usos dos solos, apresentando maior distância de seu vetor em relação ao eixo do Fator 3. Quanto o Fator 4, onde a variância explicada foi menor (8,05 %), apenas o  $\text{Ca}^{+}$  foi identificado como atributo sensível na distinção dos solos sob diferentes sistemas de uso.

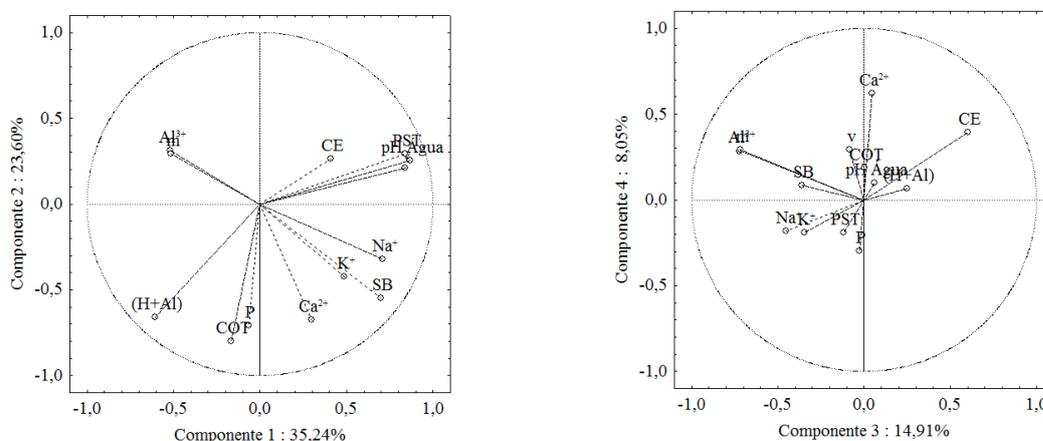


Figura 2 - Diagramas de projeção dos vetores para os atributos químicos dos solos em estudo

A análise dos dendrogramas (figura 3) mostrou a formação de agrupamentos distintos para os atributos do solo, esses reuniram variáveis que estão relacionadas na determinação da característica do solo. Traçada no nível de homogeneidade de 80% destaca dois grupos de classes de atributos químicos do solo, onde a menor dissimilaridade foi observada entre a soma de bases e o cálcio e entre m (acidez por alumínio) e (H+Al).

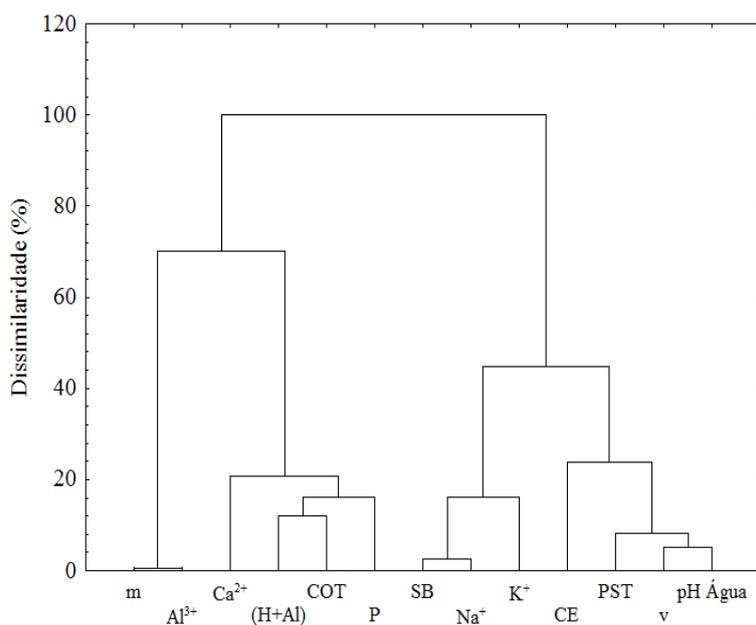


Figura 3- Dendrograma de Dissimilaridade entre os atributos químicos dos solos estudados

A análise do dendrograma (figura 4) mostrou a formação de agrupamentos distintos para uso dos solos, esses reuniram variáveis classes de solos com características distintas. Traçada no nível de homogeneidade de 3% destacam-se quatro grupos de usos de solos. Um grupo reúne os Planossolos, em suas camadas mais superficiais, outro nas camadas subsuperficiais, o terceiro com gleissolos e por último os demais perfis com características mais similares. A menor dissimilaridade foi observada entre o Planossolo Háptico (Perfil 4) e os Planossolos Nátricos (Perfil 2 e 3) e a maior entre Cambissolo 2 (Perfil 6).

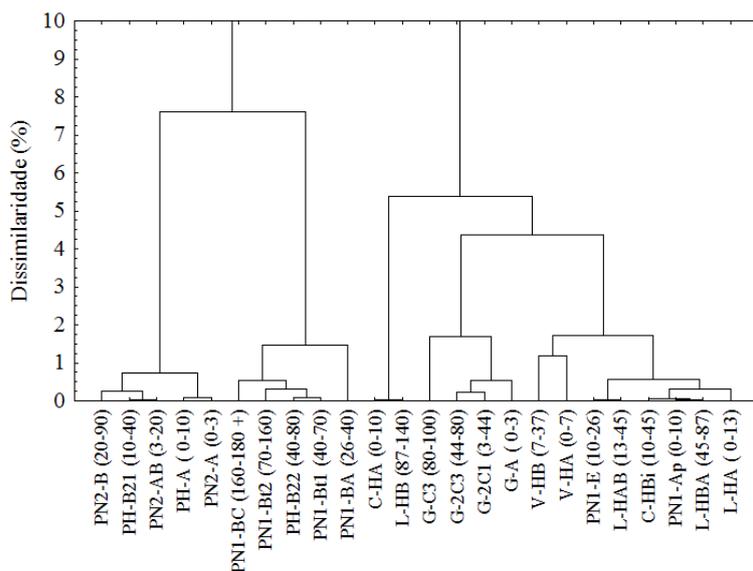


Figura 4- Dendrograma de Dissimilaridade entre os horizontes diagnósticos de solos estudados considerando seus atributos químicos

Na Tabela 6 são apresentados, para os atributos físicos, os resultados utilizando critérios para determinar a quantidade de fatores suficientes para a análise, levando em consideração àqueles que expliquem pelo menos 80% da variabilidade total dos dados com os autovalores, explicação das variâncias associadas aos fatores gerados e a explicação das variâncias acumuladas. Obtendo assim, como principais resultados os fatores 1,2 os quais explicaram 80,82% da variação dos dados, considerando apenas as variáveis em destaque (negrito), na tabela 6. Esta mostra cargas fatoriais dos atributos físicos dos solos analisados e seus respectivos Autovalores, variâncias totais observadas e acumuladas, através da qual podemos concluir que o fator 1, considerado fator de maior influência na diferenciação dos solos sob diferentes sistemas de uso, está relacionado a consistência do solo. Este representa a umidade, limite de liquidez, de plasticidade, índice de plasticidade, argila e areia fina, onde o último contrasta com os demais.

Os limites de liquidez e de plasticidade dependem, geralmente, da quantidade e do tipo da argila presente no solo. O índice de plasticidade, entretanto depende dos agentes cimentes. Na prática, pode-se caracterizar o solo por seu índice de plasticidade e seu limite de liquidez. Em linhas gerais, a textura é uma das propriedades do solo que mais se correlaciona com as manifestações da consistência. Os solos de textura grosseira são, em geral, não plásticos e não pegajosos quando molhados, friáveis

quando úmidos e soltos quando secos. Já os solos de textura fina são plásticos e pegajosos quando molhados, firmes quando úmidos e duros quando secos (Ranzani 1969). Assim como, no caso deste estudo os Latossolo (Perfil 5), Cambissolos (Perfil 6 e 7) e Planossolos (Perfil 6 e 7), solos com textura mais arenosa foram classificados como fracamente plásticos.

O fator 2 representa a areia grossa contrastando com o silte.

Tabela 6 - Cargas fatoriais dos atributos físicos dos solos analisados e seus respectivos Autovalores, variâncias totais observadas e acumuladas.

Variável	Cargas Fatoriais <sup>(1)(2)</sup>	
	1	2
Umidade	<b>0,89</b>	-0,35
LP	<b>0,75</b>	-0,53
LL	<b>0,93</b>	-0,32
IP	<b>0,72</b>	0,19
Areia Grossa	0,12	<b>0,88</b>
Areia Fina	<b>-0,91</b>	0,00
Silte	0,14	<b>-0,92</b>
Argila	<b>0,79</b>	0,29
Autovalor	4,42	2,04
Variância total (%)	55,29	25,53
Variância acumulada (%)	55,29	80,82

(1)Cargas fatoriais obtidas pela rotação do método varimax (2) Para fins de interpretação foram consideradas significantes cargas fatoriais  $\geq 0,70$ .

A análise da figura 5, que mostra os diagramas de projeção dos vetores para os atributos físicos dos solos permite confirmar a influência dos atributos físicos para diferenciar os solos sob diferentes sistemas de uso. O Fator 1, gerado para os atributos físicos do solo explicou 55,29 % da variação total dos atributos estudados, e os maiores coeficientes de correlação foram identificados para as variáveis limite de liquidez, umidade e areia fina, ou seja, esses atributos foram mais sensíveis na distinção dos usos do solo. Isso pode ser visualizado no diagrama de projeção dos vetores, onde esses atributos apresentam-se mais distantes do eixo do Fator 1. Para o Fator 2, onde a variância explicada foi menor (25,53 %), o silte foi identificado como atributo mais sensível na distinção dos solos sob diferentes sistemas de uso, apresentando maior

distância de seu vetor em relação ao eixo do Fator 2. Vale ressaltar que o silte é indicativo de solo jovem, apresentando cerosidade e susceptível a erosão.

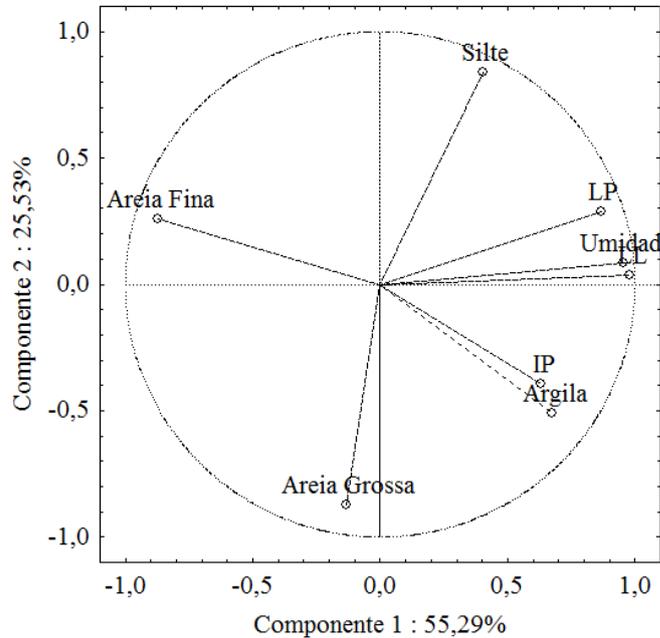


Figura 5 -Diagrama de projeção dos vetores para os atributos físicos dos solos em estudo

A análise dos dendrogramas (figura 6) mostrou a formação de agrupamentos distintos para os atributos do solo. Esses reuniram variáveis que trabalham relacionadas na determinação da característica do solo. Traçada no nível de homogeneidade de 80%, destaca três grupos de atributos físicos. Um grupo reúne areia fina, outro areia grossa, argila e IP e o terceiro grupo reúne silte, LP, LL, umidade. A menor dissimilaridade foi observada entre o Limite de liquidez e umidade e a maior entre areia grossa e índice de plasticidade.

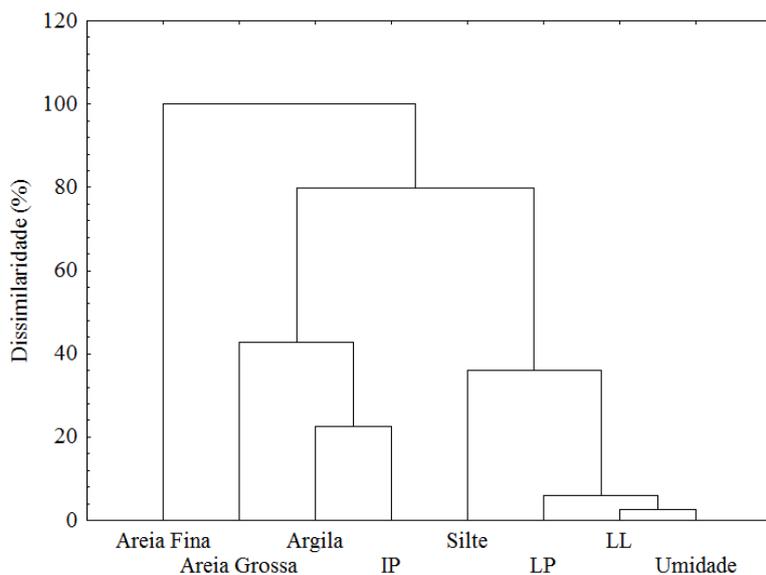


Figura 6- Dendrograma de Dissimilaridade entre os atributos físicos dos solos estudados

A análise do dendrograma (figura 7) mostrou a formação de agrupamentos distintos para as classes de solos. Traçada no nível de homogeneidade de 30% destacam-se três grupos de classes de solos. A menor dissimilaridade foi observada entre os Cambissolos (Perfil 6 e 7) e os Planossolos (Perfil 2,3 e 4).

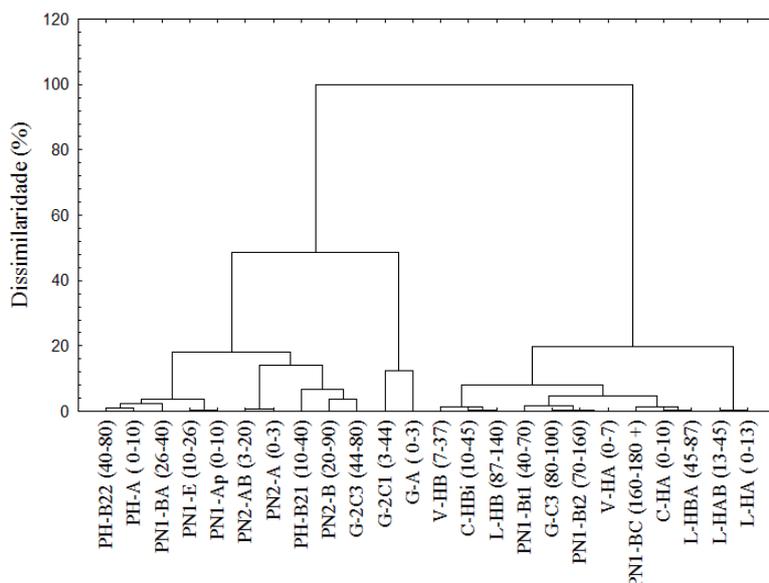


Figura 7- Dendrograma de Dissimilaridade entre os horizontes diagnósticos de solos estudados considerando seus atributos físicos

Na Tabela 7 são apresentados os resultados, para os atributos químicos e físicos conjuntamente utilizando critérios para determinar a quantidade de fatores suficientes para a análise, levando em consideração àqueles que expliquem pelo menos 80% da variabilidade total dos dados com os autovalores, explicação das variâncias associadas aos fatores gerados e a explicação das variâncias acumuladas. Obtendo assim, como principais resultados os fatores 1, 2, 3, 4 e 5 os quais explicaram 82,85% da variação dos dados, considerando apenas as variáveis em destaque (negrito), na tabela 7. Esta mostra as cargas fatoriais dos atributos químicos e físicos dos solos analisados e seus respectivos Autovalores, variâncias totais observadas e acumuladas com o qual podemos concluir que o fator 1, considerado fator de maior influencia na diferenciação dos solos sob diferentes sistemas de uso, está relacionado a umidade, LP, LL e argila, interpretando-se que para a diferenciação dos usos dos solos esses atributos físicos se mostraram mais importantes que os químicos. A umidade governa as forças de adesão e coesão dos solos (consistência) que são influenciados pela fração argila.

Notou-se a relação entre esses atributos nos Cambissolos (Perfil 6 e 7) onde houve aumento no limite de liquidez e plasticidade em razão do aumento do teor de argila e também para o Latossolo (Perfil 5) que ocorreu uma queda nestes limites em função da classificação textural areia franca e franco (horizontes A e AB) e argilo arenosa (horizonte BA e B).

Para o fator 2 está relacionado a acidez, por meio da acidez potencial (H+Al), V (Saturação por Bases) e pH, onde o primeiro contrasta com os demais. O fator 3 representa o alumínio (Al<sup>3+</sup>) e acidez por alumínio (m). O fator 4 representa o Na<sup>2+</sup>, SB (Soma de Bases) e o silte. E por último o fator 5 relaciona a importância do Ca<sup>2+</sup> macronutriente encontrado em maior quantidade nos solos estudados.

A análise da (figura 8, 9 e 10) que mostra os diagramas de projeção dos vetores para os atributos dos solos permite confirmar a influência dos atributos físicos e químicos para diferenciar os usos dos solos. O Fator 1, gerado para os atributos químicos do solo explicou 37,03 % da variação total dos atributos estudados, e os maiores coeficientes de correlação foram identificados para as variáveis umidade e limite de liquidez, ou seja, esses atributos foram mais sensíveis na distinção dos solos sob diferentes sistemas de uso. Isso pode ser visualizado no diagrama de projeção dos vetores, onde esses atributos apresentam-se mais distantes do eixo do Fator 1.

Tabela 7 - Cargas fatoriais dos atributos químicos e físicos dos solos analisados e seus respectivos Autovalores, variâncias totais observadas e acumuladas.

Variável	Cargas Fatoriais <sup>(1)(2)</sup>				
	1	2	3	4	5
Umidade	<b>0,83</b>	0,11	0,15	0,36	0,22
LP	<b>0,72</b>	0,32	0,00	0,45	0,23
LL	<b>0,82</b>	0,09	0,14	0,32	0,41
IP	0,52	-0,35	0,29	-0,04	0,49
pH Água	0,19	<b>0,78</b>	0,32	0,25	-0,01
CE	0,02	0,64	0,37	-0,35	0,25
P	0,51	-0,59	0,22	0,08	0,06
COT	0,14	-0,55	0,08	0,17	0,61
Ca <sub>2+</sub>	0,37	0,05	0,07	0,15	<b>0,86</b>
K <sub>+</sub>	0,68	0,01	-0,03	0,44	-0,07
Na <sub>+</sub>	0,27	0,15	0,19	<b>0,88</b>	0,04
Al <sub>3+</sub>	-0,22	-0,12	<b>-0,90</b>	-0,02	-0,06
(H+Al)	-0,06	<b>-0,78</b>	0,16	-0,27	0,45
SB	0,44	0,14	0,15	<b>0,76</b>	0,35
v	0,23	<b>0,81</b>	0,03	0,31	0,08
m	-0,19	-0,13	<b>-0,88</b>	-0,03	-0,04
PST	0,08	0,63	0,35	0,49	-0,24
Areia Grossa	-0,16	-0,24	0,53	-0,53	0,17
Areia Fina	-0,61	-0,01	-0,56	-0,22	-0,35
Silte	0,10	0,11	-0,19	<b>0,89</b>	0,14
Argila	<b>0,78</b>	0,11	0,39	-0,34	0,07
Autovalor	7,78	4,33	3,05	1,18	1,06
Variância total (%)	37,03	20,63	14,54	5,62	5,04
Variância acumulada (%)	37,03	57,66	72,20	77,82	82,85

(1)Cargas fatoriais obtidas pela rotação do método varimax (2) Para fins de interpretação foram consideradas significantes cargas fatoriais  $\geq 0,70$ .

Quanto ao Fator 2, onde a variância explicada foi (20,63 %), o V foi identificado como atributo mais sensível na distinção dos solos sob diferentes sistemas de uso, apresentando maior distância de seu vetor em relação ao eixo do Fator 2. Para o Fator 3, onde a variância explicada foi (14,54 %), o Al foi identificado como atributo mais sensível na distinção dos solos sob diferentes sistemas de uso, apresentando maior distância de seu vetor em relação ao eixo do Fator 3. No Fator 4, onde a variância explicada foi menor (5,62 %), e para o fator 5 (5,04%) apenas o Ca foi identificado como atributo sensível na distinção dos solos sob diferentes sistemas de uso.

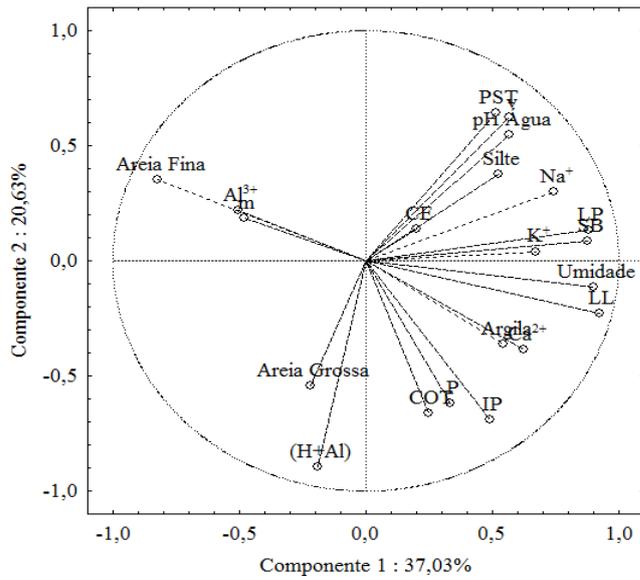


Figura 8 -Diagrama de projeção dos vetores para os atributos químicos e físicos conjuntamente dos solos em estudo

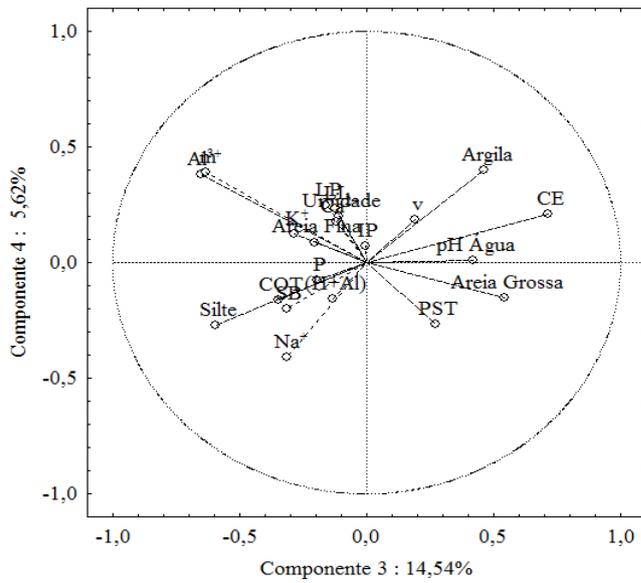


Figura 9 -Diagrama de projeção dos vetores para os atributos químicos e físicos conjuntamente dos solos em estudo

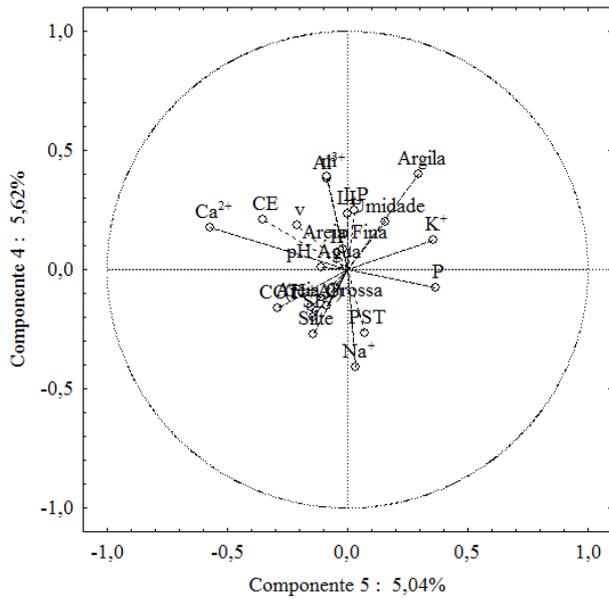


Figura 10 -Diagrama de projeção dos vetores para os atributos químicos e físicos conjuntamente dos solos em estudo.

A análise dos dendrogramas (figura 11) mostrou a formação de agrupamentos distintos para os atributos químicos e físicos do solo, que reuniram variáveis que trabalham relacionadas na determinação das características dos solos sob diferentes sistemas de uso. Traçada no nível de homogeneidade de 30% destacam dois grupos de classes, um reuniu características granulométricas físicas e o outro, atributos físicos e químicos, apresentando menor dissimilaridade foi observada entre as frações areia fina e a argila.

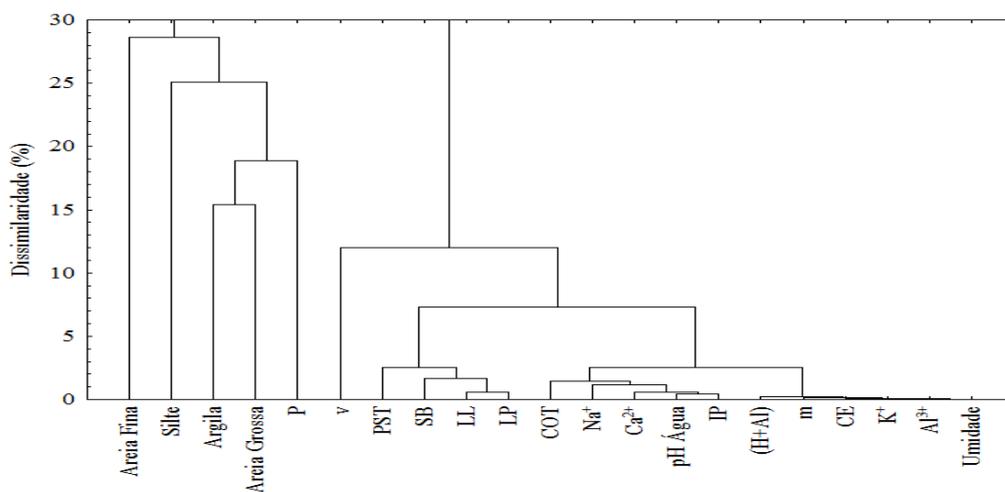


Figura 11- Dendrograma de Dissimilaridade entre os atributos químicos e físicos conjuntamente, dos solos em estudo

A análise do dendrograma (figura 12) mostrou a formação de agrupamentos distintos para as classes de solos. Esses reuniram variáveis das classes de solos com características distintas, traçada no nível de homogeneidade de 30% destacam dois grupos de classes de solo, onde destacam-se dois grupos, um grupo reúne os planossolos, por apresentarem características mais similares e o outro grupo as demais classes. São solos minerais que apresentam desargilização (perda de argila) vigorosa da parte superficial e acumulação ou concentração intensa de argila no horizonte subsuperficial, conferindo como características distintivas marcantes.

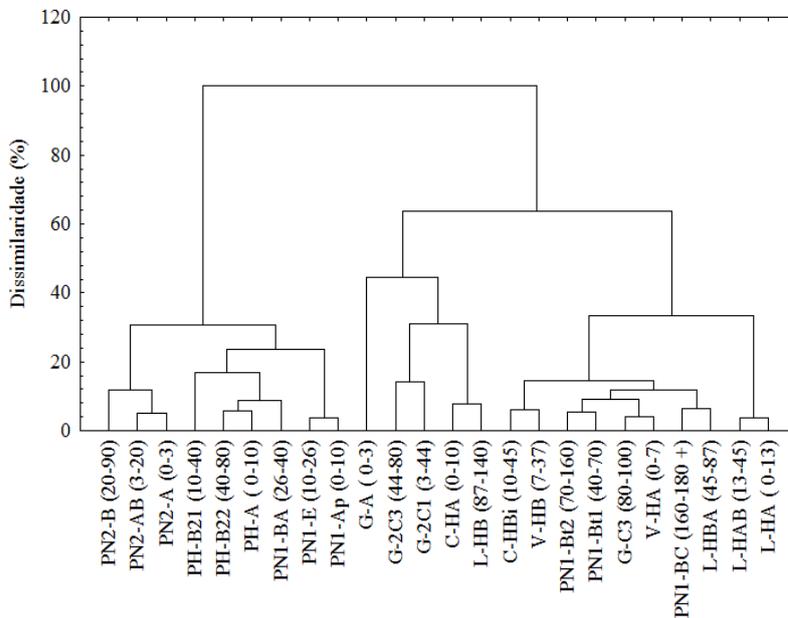


Figura 12- Dendrograma de Dissimilaridade entre os horizontes diagnósticos dos solos estudados considerando seus atributos químicos e físicos conjuntamente.

## 5. CONCLUSÕES

Os atributos físicos umidade, limite de liquidez, limite de plasticidade, índice de plasticidade, areia fina, argila, areia grossa e silte foram indicadores na diferenciação de solos sob diferentes sistemas de usos, todavia, umidade, limite de liquidez, limite de plasticidade, índice de plasticidade argila, areia fina foram os mais sensíveis.

Os atributos químicos pH, (H+ Al ), V, PST, Na, Al e Ca foram indicadores na diferenciação de solos sob diferentes sistemas de usos, todavia pH, (H+ Al ), V , PST foram os mais sensíveis.

As áreas estudadas apresentaram reações de acidez a alcalinidade com presença de Al<sup>3+</sup> e (H + Al) e com elevada salinidade.

O material de origem favoreceu o aumento nos teores de cálcio, sódio, magnésio e potássio.

O maior aporte de COT foi encontrado no Gleissolo, favorecido pelos resíduos orgânicos e a má drenagem, em função do acréscimo da fração argila.

Os atributos físicos mostraram-se mais influentes que os químicos na distinção dos solos sob diferentes sistemas de usos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araujo Junior, C.F.; Dias Junior, M.S.; Guimarães, P.T.C. & Lcântara, E.N. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um Latossolo induzida por diferentes manejos. R. Bras. Ci. Solo, 35:115-131, 2011.

Angelim, L. A. A.; Angelim, V. C.; Nesi, J.R. 2006. **Programa Geologia do Brasil – PLGB**. Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte. Escala. Recife: CPRM/FAPERN, 2006.

Allen, B. L. & Hajek, B. F. **Mineral occurrence in soil environments**. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B. Minerals in soil environments. 2nd ed. Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America, 1989.

Amaro Filho, J.; Mota, J.C.A.; Saldanha, T.R.F. Da C.; Silveira, C.C. da. **Monitoramento da solução do solo, em cultivo de melão fertirrigado no período da estação chuvosa, em Mossoró – RN**. Científica Rural, Bagé, 7:8-16, 2002.

Arruda, F. B.; Zullo Junior, J.; Oliveira, J. B. de. **Parâmetros de solo para o cálculo da água disponível com base na textura do solo**. Revista brasileira de ciência do solo, Campinas, v. 11, p. 11 – 15, 1987.

Araújo, M.A, C.; Tormena, A.; Silva, A. P. **Propriedades físicas de um Latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa**. Paraná, R. Bras. Ci. Solo, 28, p. 337-345. 2004.

Balota, E.L.; Kanashiro, M.; Colozzi Filho, A.; Andrade, D.S.; Dick, R.P. **Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems**. Brazilian Journal of microbiology, v.35, p.300-306, 2004.

BARTHOLD, F.K.; STALLARD, R.F. & ELSENBEEER, H. Soil nutrient–landscape relationships in a lowland tropical rainforest in Panama. For. Ecol. Manag., 255:1135-1148, 2008.

Bastos, E. A.; Nascimento, S. P. Do; Silva, E. M. Da; Freire Filho, F. R.; Gomide, R. L. **Identification of cowpea genotypes for drought tolerance**. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 100-107, jan./mar. 2012.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. **Soil structure: evaluation and agricultural significance**. In: BAVAR, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. **Soil physics**. 4.ed. New York : J. Wiley, 1972. p.178-223.

Beltrão, B.A.; Rocha, D. E. G. A.; Mascarenhas, J.C.; Souza Júnior, L.C.; Pires, S. T. M.; Carvalho, V. G. D. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea Estado do Rio Grande do Norte**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.10 p.

Blair, N. **Impact of cultivation and sugarcane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia.** Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.55, n.1, p.183-191, 2000.

Buckman, H. O.; Brady, N. C. Natureza e propriedade dos solos. 5ed. Trad. A. B. N. Figueiredo Filho. Rio de Janeiro: Biblioteca Universitária Freitas Bastos, 1979. 647p.

Bruand, A. E Tessier, D. **Water retention properties of the clay in soils developed on clayey sediments:** significance of parent material and 91 soil history. European Journal of Soil Science, v. 51, p. 679 – 688, dez.2000.

Buckman, H.O. & Brady, N.C. Natureza e propriedade dos solos. 7.ed. Tradução de A. B. de Figueiredo Filho. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989. 594p.

BUI, E. N.; LOUGHHEAD, A.; CORNER, R. Extracting soil landscape rules from previous soil surveys. Australian Journal of Soil Research , Melbourne, v. 37, n. 3, p. 4 95-508, 1999.

Brasil. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio de Janeiro e Distrito Federal. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, Comissão de Solos, 1958. 350p. (SNPA, Boletim 11).

Brasil. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. Comissão de Solos. Levantamento de reconhecimento de solos da região sob influência do reservatório de Furnas. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, , 1962. 462p. (SNPA, Boletim 13).

Brasil. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, Comissão de Solos, 1960. 634p. (SNPA, Boletim 12).

Brasil. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica, DNPEA. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Mato Grosso. Rio de Janeiro. 1971. 839p. (Boletim Técnico, 18).

Brasil. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica, DNPEA. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte. Recife, Convênio MA/DNPES-SUDENE/DRN, MA/USAID/BRASIL. 1971. 530p.(Boletim Técnico, 21).

Brasil. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica, DNPEA. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Ceará. Recife, Convênio MA/DNPES-SUDENE/DRN, MA/CONTAP/USAID/ETA. 1973. 502p. (Boletim Técnico, 28).

Bennema, J. & Camargo, M.N. **Segundo esboço parcial de classificação de solos brasileiros.** Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1964.17p. (mineogr.).

Bennema, J. & Camargo, M.N. **Some remarks on Brazilian latosols in relation to the oxisols of soil taxonomy**. In: International soil classification workshop, 2. Malaysia, 1978. Proceedings... Bangkok, SSD - LDD, 1979. p. 233-235.

Batista, M. De; J. Novaes, F. De; Santos, D.G. dos. **Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos**. 2.ed., Brasília: CODEVASF, 2002. 216p. (Série Informes Técnicos).

Beltrão, B.A.; Rocha, D. E. G. A.; Mascarenhas, J.C.; Souza Júnior, L.C.; Pires, S. T. M.; Carvalho, V. G. D. V. L. G. D. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea Estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.10 p.

Camargo, M.N.; Klamt, E.; Kauffman, J.H. **Classificação de solos usada em levantamento pedológico no Brasil**. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 12(1):11-33, 1987.

Curi, N.; Resende, M.; Santana, D. P. 1988. **Solos de várzea de Minas Gerais**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.13, n. 152, p. 3-10.

Caputo, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos**.6.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1988. 234p.

Caputo, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 3.ed., Rio de Janeiro: LivrosTécnicos e Científicos Editora S.A. v.1, 1973. 242p.

Carpeneo, V. & Mielniczuk, J. **Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo**. R. Bras. Ci.Solo, 14:99-105, 1990.

Cerri, C. C.; Feller, C.; Chauvel, A. **Evolução das principais propriedades de um Latossolo vermelho escuro após desmatamento e cultivo por doze e cinquenta anos com cana-de-açúcar**. Cahiers Orstom, série Pédologie, Bondy, v.26, n.1,p.37-50, 1991.

Cerri, C. C.; Polo, A.; Andreux, F. et al. **Resíduos orgânicos da agroindústria canavieira: 1. Características físicas e químicas**.STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v.6, n.1,p.34-37, 1988.

Cline, M. **Origin of the term Latosol**. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 39:162, 1975.

Corrêa, M.M.; Ker, J.C.; Mendonça, E.S.; Ruiz, H.A.; Bastos, R.S. **Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Sousa(PB)**. R. Bras. Ci. Solo, 27:311-324, 2003.

Coelho, M.R.; Santos, H. G.; Silva, E. F.; Aglio, M.L.D. **O recurso natural solo**. In: Manzatto, C. V.; Freitas Junior, E.; Peres, J.R. R. (ed.). Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: Embrapa Solo. p.1-11.2016.

Correia, J. R.; Anjos, L.H.C.; Lima, A.C.S.; Neves, D.P.; Toledo, L.O.; Calderano Filho, B.; Shinzato, E. **Relações entre o conhecimento de agricultores e de pedólogos**

**sobre solos:** estudo de caso em Rio Pardo de Minas, MG. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, vol. 31:1045 -1057, 2007.

Corrêa, I. C. S.; Alliota, S.; Weschenfelder, J. 2003. **Evidências de estruturas de barreira no canal de acesso à laguna dos Patos.**In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO,9. Livro de Resumos, Recife,SBG., 1 CD-ROM – 3p.

Dias Júnior, M. S.; Estanislau, W. T. **Grau de compactação e retenção de água de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.23,n.1, p.45-51, 1999.

DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos.** 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária.Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidade de mapeamento, normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro, EMBRAPA-SNLCS, 1988. 67p.

Embrapa. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999b. 412p.

Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa em solos. Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.

Ferreira, M.M. **Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos brasileiros.** Viçosa, MG. UFV,1988. 79p. (Tese D.S.)

Ferreira, S.A.D. **Relação entre magnetismo e teores de elementos traços em solos de duas regiões de Minas Gerais.** Viçosa, MG,UFV, 1991. 94p. (Tese M.S.)

Fageria, N. K. 1989. **Química de solos de várzea.** In: Dechen, A.R.; Carmello, Q. A. De C.; Floss, E. L. (Coord.). Simpósio Avançado De Solos E Nutrição De Plantas, 2., Piracicaba,1989. Anais... Campinas, Fundação Cargill. p. 93-114.

Fageria, N. K.; Barbosa Filho, M. P.; Zimmermann, F. J. P.1994. **Caracterização química e granulométrica de solos de várzea de alguns estados brasileiros.** Pesquisa Agropecuária Brasileira,v. 29, n. 2, p. 267-274, fev.

Galindo, I.C.L.; Ribeiro, M.R.; Santos, M.F.A.V.; Lima, J.F.W.F. & Ferreira, R.F.A.L. **Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no município de Jataúba,** PE. R. Bras. Ci. Solo, 32:1283-1296, 2008.

Guilherme, L. R. G.; Curi, N.; Guedes, G. A. A. **Calagem e disponibilidade de fósforo para o arroz irrigado cultivado em casa de vegetação.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas,v. 13, n. 3, p. 341-347, set./dez.2011.

Gomes, A.S. & Cabeda, M.S.V. **Consistência de solos argilosos-escuros do RioGrande do Sul e sua importância agrônômica**. In.: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, 15°, Santa Maria, 1975. Anais... Campinas, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1976. p.50.

Gonçalves, F. T. A. **Dinâmica do nitrogênio em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com café**. 2005. Dissertação (Mestrado em Gestão dos Recursos Ambientais) – Instituto Agrônomo Campinas. 2005

Gomes Júnior., R. N. **Degradação dos solos de tabuleiros costeiros cultivados com cana-de-açúcar**. In: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, 25, v.3, 1995. Viçosa. Resumos... Viçosa:SBCS, 1995. p.1956-1957.

Hillel, D. **Introduction to soil physics**. San Diego, AcademicPress, 1982. 365p.

Hillel, D. Fundamentals of soil physics. New York: AcademicPress, 1980. 413p. Nettleton, W. D.; Brasher, B. R. **Correlation of clay minerals and properties of soils in the Western United States**. Soil Science Society America Journal, Madison, v.47, n.4, p.1032-1036, 1983.

Kiehl, J. De C. & Lambais, M.R. **Fertilidade do solo**. Piracicaba: USP/ESALQ, 1994. 94p.

Kellog, C.E. **Preliminary suggestions for the classification and nomenclature of great soil groups in tropical and equatorial regions**. Common. Bur. Soil Sci. Tech. Comm., 46: 76-85, 1949.

Kellog, C.E. Tropical Soils. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 4, Amsterdam, 1950. Proceedings..., Amsterdam, Int. Soil Sci. Soc., 1950. p.266-276.

Kiehl, E. J. **Manual de Edafologia: relação solo-planta**. Piracicaba: Ceres, 1979. 262p.

Klar, A.E. **A água no sistema solo – planta – atmosfera**. 2 ed. São Paulo: Nobel, 1988. 408p. KIEHL, E.J. Manual de edafologia. São Paulo: Agrônômica Ceres, 1979.262p.

Klein, V. A. Libardi, P. L. **Consistência de um Latossolo Roxo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo**. Suelo y nutrición vegetal, São Tiago, v. 1, p. 54 – 58, 2015.

Kondo, M.K. & Dias Junior, M.S. **Efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três Latossolos**. R. Bras. Ci. Solo, 23:497-506, 1999.

Leal, J.R. **Adsorção de fosfato em Latossolos sob cerrado**. Itaguaí,RJ. UFRRJ, 1971. 96p. (Tese M.S.)

Lemos, R.C. Latolização. In: **Processos de formação dos grandes grupos de solos**. ETA. Projeto Purdue 55. URMG – Universidade de Purdue. Escola Superior de Agricultura. Viçosa - MG, 1966.21p. (mimeogr.)

Linhares, Sérgio & Gewandszajder, Fernando. **Biologia Hoje** - Vol 3. São Paulo: ed. Ática, 1998.

Loiola, M.I.B.; AGRA, M.F.; BARACHO, G.S.; QUEIROZ, R.T. **Flora da Paraíba, Brasil: Erythroxylaceae** Kunth. Acta Botanica Brasilica, v. 21, n. 2, p. 473-487, 2012.

Luciano, R.V.et al. **Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no Sul do Brasil**.Revista Brasileira Ciência do Solo, v.36,p. 1733-1744,2012.

Marinho ACCS, Portela JC, Silva EF, Dias NS, Sousa Júnior FS, Silva AC, Silva JF (2016). **Organic matter and physicochemical attributes of a cambisol under different agricultural uses in a semi-arid region of Brazil**. Australian Journal of Crop Science 10: 32-41.

Miller, R.W.; Unhanand, K.; Peterson, H.B. **Water management of heavy soils : a “State-of-the-Art” Paper.1975. 163p**

Mesquita, M. Da G. B. De F.; Moraes, S. O. **A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo**. CiênciaRural, Santa Maria, v. 34, n. 3, mai-jun, 2004.

Macedo, J. Os solos da região dos Cerrados. In: Alvarez V., V.H.; Fontes, L.E.F.; Fontes, M.P.F. (eds.) **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. UFV/SBCS. 1996. p. 135-155.

Melo, F. De A.F. De; Brasil Sobrinho, M. De O.C. Do; Arzolla, S.; Silveira, R.I.; Cobra Netto, A.; Kiehl, J. de C. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983. 400p.

Novais, R.F.; Neves, J.C.L.; Barros, N.F. & Sediyaama,T. **Deficiência de manganês em plantas de soja cultivadas em solos de cerrado**. R. Bras. Ci. Solo, 13:199-204, 1989.

Nogueira JR., L. R. **Caracterização de solos degradados pela atividade agrícola e alterações biológicas após reflorestamentos com diferentes associações de espécies da Mata Atlântica**. 2000. 50 p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, São Paulo, 2000.

Nunes, 2014. 54 p. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo e Água) - Programa de Pós-Graduação Manejo do Solo e Água - UFRSA, Universidade Federal Rural do Semi Árido, 2014.

Nettleton, W. D.; Brasher, B. R. **Correlation of clay minerals and properties of soils in the Western United States**. Soil Science Society America Journal, Madison, v.47, n.4, p.1032-1036, 1983.Nimer, E. Climatologia do Brasil. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE-DERNA, 1989. 422p.Levi-Minzi, R., Riffaldi, R., Saviozzi. A. 1990. Carbon mineralization in soil amended with different organic materials. Agriculture, Ecosystems and Environment. 31, 325-335p.

Oliveira, M. De.; Curi, N.; Freire, J.C. **Influência do cultivo na agregação de um Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa de região de Lavras (MG).** R.Bras. Ci. Solo, 7:317-322, 1983.

Otoni Filho, T. B. **Uma classificação físico-hídrica dos solos.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 27. p. 211 – 222, 2003.

Pratt, P.F. **Química do solo.** Trad. de A. Nascimento e L. Vettori. n.1, convênio MA/DPFS – USAID/BRASIL, fev. 1966. 88p.

Prado, H.; **Pedologia Fácil: Aplicações em Solos Tropicais.** Piracicaba: Pedologia Fácil. 2013. 284p.

Pavinato, P.S.; Merlin, A. & Rosolem, C.A. **Phosphorus fractions in Brazilian Cerrado soils as affected by tillage.** Soil Till. Res., 5:149-155, 2009.

Pereira, J.A.; Fert Neto, J.; Ciprandi, O; Dias, C.E.A.; **Conhecimento local, modernização e o uso e manejo do solo: um estudo de etnopedologia no planalto sul catarinense.** Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages, v.5, n.2, p. 140-148, 2006.

Ponnamperuma, F. N. 1972. **The chemistry of submerged soil.** Advances in Agronomy, New York, v. 24, p. 28-96.

Raij, B. van. **A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos.** Campinas: IAC, 1967. 67p. (Tese de doutorado).

Raij, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; ABREU, C.A. de. **Os métodos deanálise química do sistema IAC de análise de solo no contexto nacional.** In: van Raij, J.C. de Andrade, H. Cantarella e J.A. Quaggio (ed.) Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo, p.5-39, 2001.

Ranzani, G. Origem e desenvolvimento do solo. Piracicaba: o autor, 1969. 217p.

Rachid, M.; Saber, N.; El-Brahli, A., Lahlou, S., Bessam, F. **Total, particulate organic matter and structural stability of a Calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage systems in a semiarid area of Morocco.** Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.57, n.2, p.225-235, 2001.

Reichardt, K.; Timm, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceito, processo e aplicações.** Barueri: Manole, 2004, 478 p.

Roth, C. H.; Castro Filho, C.; Medeiros, G. B. **Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo Distrófico.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.15, n.1, p.241-248, 1991.

Ronquim, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais** – Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26 p.: il.

Smith, C. W.; Hadas, A.; Dan, J.; Koyumdjisky, H. **Shrinkage and atterberg limits in relation to other properties of principal soil types in Israel.** *Geoderma*, Amsterdam, v.35, n.1, p.47-65, 1985.

Sá, J.C.M. & LAL, R. **Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol.** *Soil Tillage Res.*, 103:46-56, 2009.

Santos, L.L.; Loss, A.; Pereira, M.G.; Perin, A. & Anjos, L.H.C. **Carbono das substâncias húmicas em Latossolo sob sistema plantio direto com integração lavoura-pecuária.** In: FERTBIO, Guarapari, 2010. Anais...Guarapari, 2010. CD-ROM

Santos, V. R.; Moura Filho, G.; Santos, C.G.; Santos, M.A.L.; Cunha, J. L. X. L. **Contribuição de argilominerais e da matéria orgânica na CTC dos solos do Estado de Alagoas.** *Revista Caatinga*. Mossoró – RN. v. 22, n.1, p.27-36, janeiro/março de 2009.

Sousa, S. M. S. C. **Relações entre vegetação, relevo, fertilidade do solo e matéria orgânica em bacia hidrográfica de região semi-árida.** Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Areia, PB. 2006. 64 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água).

Ségalen, P. **Contribution à la connaissance de la couleur des sols sesquioxides de la zone intertropicale; sols jaunes et sols rouges.** *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, 2:113-236, 1969.

Ségalen, P. **Les sols ferrallitiques et leur répartition géographique.** Tome 1. Introduction générale. Les sols ferrallitiques: leur identification et environnement immédiat. Paris, éditions de l'ORSTOM. Collection Études et Thèses. 1994. 197p.

Statistica (data analysis software system), versão 7.0, StatSoft ([www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)), 2004.

Silva, M.L.N.; ACSA – **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.10, n.1, p 22-32, , 2014

Silva, I.R. & Mendonça, E.S. **Matéria Orgânica Do Solo.** In: Novais, R.F.; Alvarez V., V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B. & Neves, J.C.L., Eds. *Fertilidade Do Solo*. Viçosa, Mg, Sociedade Brasileira De Ciência Do Solo, 2007. P.275-374.

Souza, D.M.G.; Miranda, L.N. & Oliveira, S.A. **Acidez Do Solo E Sua Correção.** In: Novais, R.F.; Alvarez V., V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B. & Neves, J.C.L., Eds. *Fertilidade Do Solo*. Viçosa, Mg, Sociedade Brasileira De Ciência Do Solo, 2007. P.205-274.

Thorp, J. & Smith, G.D. **Higher categories of soil classification:** order, suborder and great soil groups. *Soil Sci.*, 67: 177-226, 1949.

Toledo, M. C. M. et al. **Intemperismo e Formação do Solo.** In: TEIXEIRA, W. et al. *Decifrando a Terra*. São Paulo, Oficina de Textos, 2000. 568p. Il. p. 139-166. il.

Vezzani, F.M.; Mielniczuk, J. **Uma visão sobre qualidade do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo** , v.33, p.743-755, 2009.

## **ANEXO**



ANEXO A - Abertura de perfil de Cambissolo  
Fonte: Pesquisa de campo 2015



ANEXO B- Paisagem da Á. de Cambissolo  
Fonte: Pesquisa de campo 2015



ANEXO C- Perfil de Latossolo  
Fonte: Pesquisa de campo, 2015



ANEXO D- Perfil de Cambissolo  
Fonte: Pesquisa de campo, 2015



ANEXO E- Paisagem da Área de Gleissolo  
Fonte: Pesquisa de campo, 2015



ANEXO F- Perfil da Área de Gleissolo  
Fonte: Pesquisa de campo, 2015



ANEXO G- Perfil e paisagem do (APH)  
Fonte: Pesquisa de campo, 2015



ANEXO H- Perfil de Planossolo Nátrico  
Fonte: Pesquisa de campo, 2015



ANEXO I- Perfil de Área de Planossolo Nátrico 2  
Fonte: Pesquisa de campo, 2015