

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS**

LILIAN RAFAELLY DE SOUSA DUARTE

**PEDOGÊNESE DE HORIZONTES COM CARÁTER COESO EM DUAS
TOPOSSEQUENCIAS NOS TABULEIROS COSTEIROS DO CEARÁ**

FORTALEZA

2015

LILIAN RAFAELLY DE SOUSA DUARTE

PEDOGÊNESE DE HORIZONTES COM CARÁTER COESO EM DUAS
TOPOSSEQUENCIAS NOS TABULEIROS COSTEIROS DO CEARÁ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero

FORTALEZA

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- D872p Duarte, Lilian Rafaelly de Sousa.
Pedogênese de horizontes com caráter coeso em duas topossequências nos tabuleiros costeiros do Ceará / Lilian Rafaelly de Sousa Duarte. – 2015.
53 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências do Solo, Pós-Graduação em Agronomia, Fortaleza, 2015.
Orientação: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero.
1. Tabuleiros costeiros. 2. Solos-formação. I. Título.

LILIAN RAFAELLY DE SOUSA DUARTE

PEDOGÊNESE DE HORIZONTES COM CARÁTER COESO EM DUAS
TOPOSSEQUENCIAS NOS TABULEIROS COSTEIROS DO CEARÁ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero

Aprovada em ___/___/___.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Tiago Osório Ferreira
Universidade de São Paulo - USP

A Deus, pela graça de ter me permitido concluir este trabalho.

Aos meus amados pais, Luiz Duarte e Joana Duarte, pelo amor, educação e apoio.

Aos meus amados irmãos Eduardo Duarte e Débora Duarte, pelo incentivo, compreensão e amizade.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado forças e iluminado meu caminho para que pudesse concluir mais uma etapa da minha vida.

Ao meu pai Luiz Duarte, por todo amor e dedicação que sempre esteve comigo, homem pelo qual tenho maior orgulho de chamar de pai, meu eterno agradecimento.

A minha mãe Joana Duarte, pelo amor, por ser tão dedicada e amiga, e por ser a pessoa que mais me apoia e acredita na minha capacidade, meus agradecimentos pelas horas em que ficou ao meu lado e não me deixou desistir.

Aos meus irmãos Eduardo e Débora Duarte pelo apoio e carinho que sempre tiveram comigo, pelos momentos de alegria e pelos conselhos.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), pela oportunidade concedida dos estudos.

Ao Professor Dr. Ricardo Espíndola Romero, pela orientação, paciência, amizade, ensino e conselhos.

Ao professor Dr. Jaedson pela contribuição, ajuda e ensinamento.

Ao professor Dr. César pela disponibilidade e contribuição.

Ao Professor Dr. Tiago Osório Ferreira pelos conselhos, sugestões, ensino e amizade

Aos amigos que fiz durante todo esse tempo na Universidade, pela verdadeira amizade que construímos, em particular aqueles que estavam sempre ao meu lado: Juliana, Danilo (Danilinho), Winnie (ZuWinnie), Juliani, Carla, Fernando, Fabiana (Faby), Thiago Castanõn por todos os momentos que passamos durante esses anos, meu especial agradecimento. Sem vocês essa trajetória teria sido ainda mais difícil.

Ao meu namorado e amigo Thiago por ter me apoiado durante esses longos dois anos. Agradeço pela paciência e carinho.

Aos funcionários do Departamento de Ciências do Solo Edilson, Geórgia e Marilena, e aos funcionários da FUNCEME: Antônio José e Tavares, pelo apoio durante as análises.

Aos amigos do Departamento de Ciências do Solo, pela ajuda e amizade: Dimitri, Tales, Adriana, Gabriel, Daniel, Priscila, Juliana Vieira, Hermano, Sabrina, Timóteo, Cleuda.

Ao Joel e ao Agnaldo por toda disponibilidade, apoio e orientação durante as análises no laboratório de Geologia.

Agradeço, em especial, aos meus amigos André e Gislaine por todo o apoio durante a elaboração deste trabalho, por terem me acolhido e me ajudado nesse momento decisivo, muito obrigada.

Por fim, gostaria de agradecer a todos que de alguma forma contribuíram com a minha formação, meu eterno AGRADECIMENTO.

RESUMO

Os Tabuleiros Costeiros constituem uma unidade geomorfológica associada aos sedimentos da Formação Barreiras e apresentam grande interesse para exploração agrícola. No entanto, alguns solos dessa região apresentam horizontes subsuperficiais com caráter coeso, os quais podem causar impedimentos físicos ao desenvolvimento do sistema radicular e à dinâmica da água. A gênese do caráter coeso ainda não foi completamente esclarecida, apenas sabe-se que ocorre de forma natural. No entanto, alguns trabalhos têm associado a gênese desses horizontes a diversos fatores como a granulometria dos solos, processos de translocação de argila e a ação de agentes cimentantes orgânicos e inorgânicos. Dessa forma, este trabalho foi desenvolvido com o intuito de obter maior conhecimento sobre as características e a gênese de solos que apresentam esse caráter. Para tanto, foram estudados solos que apresentem horizontes com caráter coeso, procurando-se identificar e caracterizar processos que regem a gênese de horizontes com caráter coeso nos solos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará. O estudo foi realizado em duas áreas dos Tabuleiros Costeiros do estado do Ceará (Pacajus e Trairi), nas quais os solos estão dispostos em topossequência e apresentam caráter coeso. As amostras foram submetidas a fracionamento físico da fração areia e análise morfooscópica. A extração sequencial de Si foi realizada em horizontes de superfície e subsuperfície, assim como o fracionamento químico das substâncias húmicas. Os resultados apontam que, as duas áreas de estudos apresentam diferentes processos associados à gênese do coeso. Em Pacajus os solos apresentaram moderado grau de seleção, no entanto a elevada concentração de argila em subsuperfície influencia o adensamento desses solos. Os solos coesos de Trairi apresentam um pobre grau de seleção, o que facilita o ajuste dessas partículas e a ação de compostos de baixa cristalinidade como agente cimentante. Os fracionamentos horizontes com caráter coeso e sem caráter coeso, entretanto os compostos de baixa cristalinidade apresentam Al com teores mais altos e Si em menor proporção.

Palavra-chave: Formação Barreiras, extração química, pedogeoquímica, adensamento.

ABSTRACT

The Coastal Tablelands are a geomorphological unit associated with sediments of Barreiras Formation and feature great interest to farm. However, some soils of this region have subsurface horizons with cohesive character, which can cause physical impediments to the development of the root system and the dynamics of water. The genesis of the cohesive character has not yet been fully elucidated, but it is known that occurs naturally. However, some studies have linked the genesis of these horizons to several factors such as particle size of the soil, clay translocation processes and the action of organic and inorganic cementing agents. Thus, this study was conducted in order to obtain greater insight into the characteristics and the genesis of soils with this character. Therefore, soils were studied presenting horizons with cohesive character, seeking to identify and characterize processes that govern the genesis horizons with cohesive character in soils of Coastal Tablelands of Ceará. The study was conducted in two areas of the Coastal Plains of the state of Ceará (Pacajus and Trairi), where soils are arranged in topossequence and present cohesive character. The samples were subjected to physical fractionation of the sand fraction and morphoscopic analysis. Sequential extraction was carried out on Si surface and subsurface horizons, as well as chemical fractionation of humic substances. The results show that the two areas of study have different processes associated with the genesis of cohesive. In Pacajus soils showed moderate degree of selection, however the high concentration of clay subsurface influences the density of these soils. The cohesive soils of Trairi have a poor degree of selection, which facilitates the adjustment of these particles and the action of low crystalline compounds as cementing agent.

Keyword: Training Barriers, chemical extraction, pedogeoquímica, densification.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Mapa de ocorrência dos Tabuleiros Costeiros no Nordeste brasileiro. .. | 14 |
| Figura 2 - Foto ilustrando a limitação do solo com caráter coeso à penetração as raízes..... | 16 |
| Figura 3 - Efeito do transporte no tamanho e na angulosidade das partículas | 22 |
| Figura 4 - Grau de seleção das partículas grosseiras. | 22 |
| Figura 5 - Localização das áreas de estudo: A – Pacajus; B – Trairi | 25 |
| Figura 6 – Média histórica da precipitação pluvial da cidade de Pacajus (CE). | 27 |
| Figura 7 - Média histórica da precipitação pluvial da cidade de Trairi (CE). | 28 |
| Figura 8 - Amostras da fração areia dos solos estudados..... | 33 |
| Figura 9 - Minerais da fração areia nos perfis P3, P6 e P7..... | 33 |
| Figura 10 - Histogramas do percentual da fração areia dos horizontes Bt | 34 |
| Figura 11 - Morfoscopia da fração areia média dos perfis P1, P4, P5 e P6..... | 35 |
| Figura 12 - Morfoscopia da fração areia fina dos perfis P3, P5, P7 e P8..... | 36 |
| Figura 13 - Teores de silício, ferro e alumínio nos perfis de Pacajus e Trairi. | 41 |
| Figura 14 - Valores de pH em superfície e subsuperfície nos solos estudados. ... | 42 |
| Figura 15 - Solubilidade da sílica e alumina em função do pH..... | 43 |

LISTA DE TABELA

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Relação dos perfis de solo com os respectivos dados dos horizontes usados no estudo. | 26 |
| Tabela 2 - Teores de areia e argila total; pH dos solos estudados..... | 32 |
| Tabela 3 - Medidas estatísticas da distribuição de partículas da fração areia. ... | 37 |
| Tabela 4 - Teores de carbono orgânico total do solo (C.O.) e nas frações ácido fúlvico, ácido húmico e humina dos horizontes superficiais (A) e subsuperficiais (Bt); dos diferentes solos estudados..... | 38 |
| Tabela 5 - Comparativo do fracionamento da matéria orgânica dos horizontes não coesos e coesos dos diferentes solos estudados..... | 39 |
| Tabela 6 - Teores de alumínio, ferro e silício em diferentes frações nos solos de horizontes não coesos e coesos. | 44 |
| Tabela 7 – Porcentagem dos elementos extraídos em cada fase em relação ao total extraído de cada elemento | 44 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 15 |
| 2.1. Solos dos Tabuleiros Costeiros..... | 15 |
| 2.2. Definição do Caráter Coeso | 17 |
| 2.2. Identificação de horizontes com caráter coeso | 18 |
| 2.4. Gênese de horizontes com caráter coeso..... | 19 |
| 2.4.1. Importância do Silício no adensamento de solos..... | 21 |
| 2.4.2. Análise Morfoscópica: grau de arredondamento de partículas | 22 |
| 2.4.3. Fracionamento químico da matéria orgânica nos horizontes com caráter coeso. | 24 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 26 |
| 3.1. Áreas de estudo | 26 |
| 3.2. Caracterização das áreas..... | 28 |
| 3.3. Etapa de Laboratório | 30 |
| 3.4. Análise Estatística | 32 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 33 |
| 5. CONCLUSÃO..... | 47 |
| REFERÊNCIAS..... | 48 |

1. INTRODUÇÃO

Os Tabuleiros Costeiros são unidades geomorfológicas definidas em função da predominância de relevo de formas tabulares que estão localizados na proximidade do litoral (PEREIRA; CESTARO, 2012), estendendo-se do estado do Amapá até o Rio de Janeiro e ocupando aproximadamente 16% da área total dos estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará (SOUZA; SOUZA; CALDAS, 2001).

A área dos Tabuleiros Costeiros no Brasil tem sido de grande interesse para exploração agrícola devido a diversos fatores, tais como, localização, extensão, condições climáticas e algumas características edáficas, pois a maioria dos solos são profundos e arenosos, facilitando o manejo e desenvolvimento das culturas. No entanto, por serem desenvolvidos, predominantemente, de sedimentos da Formação Barreiras, os solos desta unidade geomorfológica caracterizam-se pela baixa fertilidade química e por limitações físicas relacionadas à presença de horizontes com caráter coeso que, segundo Lima Neto *et al.* (2010), têm ocorrência significativa em solos que formam esta unidade geomorfológica no Nordeste do Brasil.

De acordo com dados da Embrapa-CPAT, os Tabuleiros Costeiros dos estados nordestinos contribuem com 26,4% e 38,2% do PIB gerado nessa região pelas culturas temporárias e permanentes, respectivamente (REZENDE, 2000). Além disso, as atividades agrícolas que ocorrem na região dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste apresentam grande importância no cenário nacional, uma vez que, 90 % da cultura do dendê; 88 % do coco; 73 % do mamão; 68 % do caju; 65 % do abacaxi; 65 % da cana-de-açúcar; 48 % do cacau; e 33 % da mandioca são cultivados nesses solos. (SOUZA; SOUZA, 2012).

Nos últimos anos, os estudos sobre solos com caráter coeso têm se intensificado no Brasil, especialmente no Nordeste brasileiro (Corrêa *et al.*, 2008; Cintra *et al.*, 2009; Vieira *et al.*, 2012; Ramos *et al.*, 2013; Dantas *et al.*; 2014; Lima *et al.*, 2015). No entanto, a gênese de horizontes com caráter coeso ainda não está bem esclarecida, mas pode-se afirmar que isso ocorre de forma natural e provavelmente está associada a diferentes processos.

Alguns autores afirmam que a gênese desses horizontes pode estar relacionada a atributos físicos dos solos favorecendo o arranjo das partículas (ABRAHÃO *et al.*, 1998), facilitando assim a ação de agentes cimentantes como

material orgânico, compostos de baixa cristalinidade e argila. Já em estudos realizados na Bahia, a gênese desses horizontes foi atribuída a translocação e presença de argila muito fina no perfil (CORRÊA *et al.*, 2008). No entanto, alguns trabalhos apontam que a gênese dos horizontes coesos está relacionada a cimentação fraca e temporária de compostos amorfos, envolvendo a presença de sílica ou material sílico-aluminoso (RIBEIRO, M., 2001; ARAÚJO FILHO; CARVALHO; SILVA, 2001; VIEIRA *et al.*, 2012).

Fundamentando-se no fato de que os Tabuleiros Costeiros representam uma área importante para a produção agrícola, principalmente no Nordeste brasileiro, e nas dúvidas a respeito da gênese dos horizontes com caráter coeso, propôs-se com o presente trabalho, testar as seguintes hipóteses: (1) A sílica, como composto amorfo, é determinante na pedogênese dos horizontes com caráter coeso; (2) O grau de seleção, esfericidade e arredondamento das areias (partículas grosseiras) influenciam no adensamento e, conseqüentemente, na coesão desses horizontes do solo; (3) As frações orgânicas humificadas apresentam um papel importante da pedogênese de horizontes com caráter coeso.

Desse modo, objetiva-se com este trabalho identificar e caracterizar processos que regem a gênese de horizontes com caráter coeso nos solos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará.

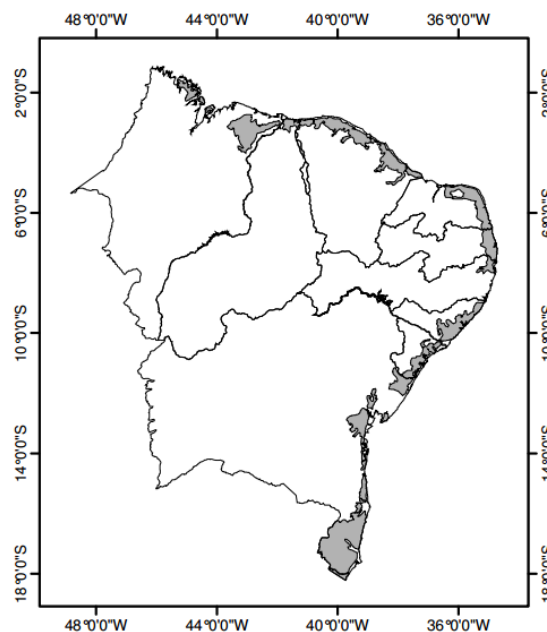
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Solos dos Tabuleiros Costeiros

As áreas de ocorrência de solos com caráter coeso no Brasil estão associadas aos sedimentos da Formação Barreiras, que ocorrem em grande parte do litoral brasileiro, desde o Rio de Janeiro até o estado do Amapá (MOREAU *et al.*, 2006), ocupando uma área significativa do Nordeste brasileiro (Figura 1).

Esses sedimentos apresentam idade Pliocênica (Final do período Terciário), caracterizando-se como de idades correspondentes à Terciária-Quaternária (SUGUIO *et al.*, 1985). Embora sejam objeto de estudo de vários autores, geologicamente, ainda não se conseguiu atribuir uma caracterização detalhada e largamente aceita a estes depósitos (MOREAU *et al.*, 2006). Bezerra, Mello e Suguio (2006) afirmam que os sedimentos da Formação Barreiras foram considerados de origem continental durante muito tempo, no entanto, alguns trabalhos afirmam ocorrer influências de oscilações do nível do mar (eustáticas) na gênese da Formação Barreira.

Figura 1-Mapa de ocorrência dos Tabuleiros Costeiros no Nordeste brasileiro.



Fonte: Lima Neto *et al.*, (2008)

As paisagens formadas pelas partes altas e planas da Formação Barreiras deram origem ao termo Tabuleiro Costeiro, que apresenta uma variação de altitude que, normalmente, não ultrapassa os 300 metros. Todavia, predominam altitudes entre 200 e 250 m, podendo chegar ao nível do mar (DEMATTE; MAZZA; DEMATTE; 1996; RIBEIRO, 1996).

As classes de solos que prevalecem nos Tabuleiros Costeiros são os Latossolos e Argissolos Amarelos, que, por sua vez, representam aproximadamente 67,5% e 25%, respectivamente, de todos os solos desta unidade geomorfológica (JACOMINE, 1996). No entanto, pode-se encontrar Neossolos Quartzarênicos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Acinzentados, Latossolos Vermelho-Amarelos, Plintossolos e Espodossolos em pequena proporção (JACOMINE, 1996; RIBEIRO, 1998; ARAÚJO FILHO; CARVALHO; SILVA, 2001; CORRÊA *et al.*, 2008; VIEIRA *et al.*; 2012;).

Esses solos apresentam uma grande variação granulométrica entre os horizontes superficiais arenosos e os de subsuperfície, mais argilosos (ARAÚJO FILHO; CARVALHO; SILVA, 2001), apresentando baixos teores de Fe, domínio de caulinita na fração argila e esqueleto quartzoso mal selecionado (MELO *et al.*, 2002).

Embora os solos presentes no Tabuleiro Costeiro sejam espessos, apresentam uma profundidade efetiva reduzida quando há ocorrência do caráter coeso (Figura 2), o que prejudica a dinâmica da água e o crescimento radicular (SOUZA, 1996). Esses solos apresentam elevada resistência, quando seco, tornam-se uma fonte de limitações físicas para o desenvolvimento vegetal. A ocorrência de horizontes com caráter coeso próximo a superfície, associada à distribuição irregular das chuvas é considerada a principal limitação do meio físico, devido à redução da taxa de infiltração e condutividade hidráulica comparada a dos horizontes não coesos (SANTOS, 1992).

O desenvolvimento radicular em profundidade nesses solos é pobre, decrescendo nos solos localizados em depressões, pois a camada coesa reduz a profundidade efetiva do solo. No entanto, a ocorrência de horizontes com caráter coeso em maiores profundidade pode ser uma característica favorável em solos arenosos dos Tabuleiros. Neste caso, o horizonte coeso funciona como uma barreira

para a passagem da água, mantendo o perfil úmido, em condições favoráveis para o desenvolvimento vegetal (DEMATTÊ, MAZZA, DEMATTÊ, 1996).

Além disso, apresentam dificuldade na retenção de água e nutrientes, bem como, na circulação de água e ar no solo (RIBEIRO, 1996), baixa fertilidade natural com limitações químicas, devido à elevada acidez e à presença de Al trocável em altas percentagens, assim, esses atributos indicam que esses solos podem apresentar baixo índice de qualidade para crescimento das plantas e produção vegetal, sob condições naturais (MELO FILHO; SOUZA; SOUZA, 2007).

Figura 2- Foto ilustrando a limitação do solo com caráter coeso à penetração das raízes.



Fonte: Brandão, (2005)

No entanto, o caráter coeso foi identificado também em outras formações geológicas, como em Argissolos Vermelhos, desenvolvidos de granito-gnaiss no sul da Bahia e norte do Espírito Santo por Corrêa *et al.* (2008). As características mineralógicas desses solos assemelham-se a mineralógica da fração argila dos solos que apresentam o caráter coeso nos Tabuleiros Costeiros.

Deve-se destacar, entretanto, que os fatores e processos que levam ao aparecimento de horizontes com caráter coeso não estão devidamente esclarecidos.

2.2. Definição do Caráter Coeso

No Brasil, alguns solos que apresentam horizontes minerais subsuperficiais adensados têm sido denominados como de caráter coeso. Esses

horizontes, além do adensamento de partículas, apresentam uma elevada resistência à penetração quando seco. Jacomine (2001) afirma que o horizonte com caráter coeso é de natureza pedogenética, que se apresenta friável quando úmido, deformando-se gradualmente quando pressionado, e extremamente duro quando seco.

Embora o material dos horizontes com caráter coeso seja semelhante ao fragipã, este, quando úmido, apresenta uma quebradicidade (desintegração em pedaços menores) de fraca a moderada, e seus elementos estruturais tendem a romper-se sobre pressão. Deve-se destacar, ainda, que o material de um horizonte com caráter coeso desmancha-se ao ser imerso em água (EMBRAPA, 2013), fato que não se observa no material do fragipã e duripã, que apresentam diferenças quanto ao grau de cimentação e quebradicidade quando imerso em água.

A ocorrência de horizontes com caráter coeso, fragipã e duripã é comum em solos dos Tabuleiros Costeiros, sendo o primeiro o de maior dominância na região, portanto, este deve ser identificado de forma eficiente para não ser confundido com os demais, já que ambos apresentam altos níveis de coesão (GIAROLA, 2002).

Os horizontes com caráter coeso apresentam textura média, argilosa ou muito argilosa e, em condições naturais, têm uma fraca organização estrutural, sendo geralmente maciços ou com tendência à formação de blocos (EMBRAPA, 2013), em função dessa estrutura, os torrões fragmentam-se em tamanhos menores e angulosos (RIBEIRO, M., 2001) ao serem pressionados. Estes horizontes também apresentam uma alta densidade, baixa permeabilidade e alta resistência a penetração quando comparados a outros horizontes adjacentes (LIMA, *et al.*, 2015).

No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (EMBRAPA, 2013), o caráter coeso aparece no terceiro nível categórico da classe dos Latossolos Amarelos e dos Argissolos Amarelos e Acinzentados.

Esse atributo pode ser observado comumente nos horizontes transicionais AB e, ou BA, normalmente entre 30 e 70 cm de profundidade, podendo atingir o horizonte Bw, ou coincidir com o Bt, parcial ou integralmente (EMBRAPA, 2013). No entanto, em alguns trabalhos pode-se encontrar horizontes com caráter coeso abaixo de 100 cm de profundidade (VIEIRA, 2013; DUARTE, 2013).

2.3. Identificação de horizontes com caráter coeso

As primeiras observações de horizontes com caráter coeso no Brasil foram realizadas na década de 50 (JACOMINE, 1996). No entanto, apesar dos avanços nas pesquisas em ciência do solo, a identificação do caráter coeso é feita somente de forma qualitativa, no campo, pela análise morfológica do perfil (GIAROLA; SILVA, 2002). Quando secos, os horizontes com caráter coeso apresentam elevada resistência à penetração da faca, com consistência muito dura a extremamente dura e, quando umedecidos, tornam-se friáveis ou firmes (EMBRAPA, 2013).

Com o objetivo de encontrar valores de referência para a identificação dos horizontes com caráter coeso, tem-se estudado a eficiência de alguns parâmetros quantitativos como: densidade do solo, variando de 1,5 a 1,8 kg.dm⁻³ (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2001), porosidade total, macroporosidade e microporosidade, argila dispersa em água, fracionamento da areia, condutividade hidráulica e curva de retenção de água e resistência do solo à penetração, que em solos endurecidos, normalmente excede os 3MPa, trazendo sérias implicações para o crescimento das raízes (GIAROLA, SILVA, 2002; LIMA, 2004).

Alguns autores, como Giarola *et al.* (2001), Souza; Souza; Caldas (2001), Santana (2006) e Vieira *et al.* (2012), utilizaram a resistência a penetração como parâmetro quantitativo na identificação dos horizontes com caráter coeso. Entretanto, também utilizou-se a macroporosidade e a densidade do solo como parâmetros quantitativos a fim de identificar a ocorrência deste atributo no solo (SANTANA, 2006).

2.4. Gênese de horizontes com caráter coeso

A formação dos horizontes com caráter coeso é natural, ou seja, ocorrem sem a influência humana, e pode estar associada a vários processos, tais como, a obstrução dos microporos, cimentação por compostos orgânicos poucos polimerizados e por compostos amorfos de sílica secundária; e adensamento por dessecação resultante da alteração da estrutura do solo pela alternância de ciclos de umedecimento e secagem (GIAROLA; SILVA, 2002; LIMA NETO, 2008; VIEIRA *et al.*, 2012), no entanto, ainda existem muitas incertezas a respeito dessa gênese.

A sílica de baixa cristalinidade tem sido destacada na literatura como sendo um importante agente cimentante, assim como o alumínio, que também é apontado como agente cimentante por alguns autores (MOREAU, 2001). Assim, o período seco favorece o processo de polimerização e precipitação da sílica e dos outros constituintes sílico-aluminosos amorfos, e a máxima expressão da coesão. No período úmido, por outro lado, a despolimerização da sílica e de outros aluminossilicatos deve contribuir para condição de friabilidade do material (ARAÚJO FILHO; CARVALHO; SILVA, 2001).

Diferente dos autores acima citados, Abrahão *et al.* (1998) relacionam a gênese de horizontes com caráter coeso a atributos físicos, como a presença do maior teor de areia fina e mal selecionada. Isso facilitaria o arranjo das partículas tornando-as mais compactadas em horizontes subsuperficiais.

Ainda no contexto dos atributos físicos, outro fator que pode vir a colaborar para o surgimento do caráter coeso em algumas áreas é a menor quantidade da fração da areia total associada ao elevado teor de argila (SOUZA, 1996). Corrêa *et al.* (2008), estudando Argissolos argilosos localizados em clima seco e úmido na Bahia, atribuíram a maior coesão dos horizontes ao maior conteúdo de argila muito fina translocada, dentro ou entre os horizontes, na forma de argila dispersa.

Estudando Latossolos caulíníticos do Sudeste do Brasil, Ferreira *et al.* (1999) afirmam que esse tipo de mineralogia proporciona o desenvolvimento de uma macroestrutura do tipo blocos e, assim, pode originar solos com densidade mais elevada, maior proporção de poros pequenos e menor permeabilidade, em razão do ajuste face a face das placas dos minerais da fração argila.

No entanto, Giarola *et al.* (2009), ao estudarem a mineralogia da fração argila de solos com caráter coeso nos tabuleiros costeiros, afirmam que os horizontes coesos apresentaram caulinita com grau de ordenamento estrutural semelhante ao do horizonte não coeso, não associando o empacotamento da fração argila com a manifestação do caráter coeso.

Deve-se ressaltar que a matéria orgânica é um dos constituintes do solo que praticamente não foi considerada nos estudos do caráter coeso, no entanto, Ribeiro, L. (2001) cita que os compostos orgânicos podem influenciar esse atributo do solo.

É provável, que a gênese de horizontes com caráter coeso esteja relacionada à ação simultânea de muitos dos processos citados acima, e que a intensidade com que as camadas coesas sejam formadas esteja relacionada às variações climáticas e morfopedológicas existentes nas diferentes unidades geoambientais que compõem os Tabuleiros Costeiros (RIBEIRO, 1998).

2.4.1. Importância do Silício no adensamento de solos.

O silício é o segundo elemento mais abundante da terra, constituindo cerca de 27% da crosta terrestre, superado apenas pelo oxigênio (LIMA FILHO, 2006). No entanto, alguns fatores como o material de origem, clima, vegetação, textura e intensidade de intemperismo limitam a quantidade e a distribuição de silício nos solos (CORNELIS *et al.*, 2011).

A presença da sílica no solo ocorre em vários estágios, numa transição gradual entre ácido monossilícico (H_4SiO_4) e as formas minerais sólidas, tais como feldspatos, quartzo e outros (DRESS *et al.*, 1989).

Na solução do solo, a sílica solúvel encontra-se na forma de ácido monossilícico, onde a variação do pH determina a dissociação e a polimerização desse ácido em espécies silicatadas. Em valores de pH superiores a 10 o ácido monossilícico se dissocia, devido a sua maior solubilidade em meio muito alcalino. Além disso, a presença de alumínio induz a gênese de minerais aluminossilicatos, pois em pH ácido, como ocorre nos Tabuleiros Costeiros, uma pequena quantidade de alumínio (traços) faz a sílica coloidal precipitar, visto que o alumínio reduz a solubilidade do silício (DREES *et al.*, 1989; MOREAU, 2001).

A opala, termo utilizado de maneira genérica para designar corpos silicosos de origem orgânica e inorgânica de menor cristalinidade (MOREAU, 2001), é indicada como a forma de sílica cimentante em duripãs (FLACH *et al.*, 1974; CHADWICK; HENDRICKS; NETTLETON, 1987).

Trabalhos apontam o silício, bem como outros aluminossilicatos, como os principais atuantes na gênese de horizontes endurecidos e/ou cimentados, como os coesos e os *hardsetting* (VIEIRA, 2013). No entanto, Chadwick, Hendricks e Nettleton (1987) afirmam que a cimentação é influenciada pela relação entre o teor de sílica solúvel e a quantidade de superfícies deposição de sílica. Na forma de

H₄SiO₄, o silício presente na solução do solo está sujeito a processos de precipitação e adsorção na fase sólida.

Ribeiro (1996) afirma que existe uma relação entre a coesão dos solos dos Tabuleiros Costeiros e a presença de silício, alumínio, ferro e a presença de argilominerais. Já Araújo Filho, Carvalho e Silva (2001) afirmam que durante o período de secagem, o processo de desidratação faz com que novas camadas de sílica sejam depositadas sobre as superfícies das partículas, favorecendo a polimerização da sílica.

Embora alguns autores (Moreau *et al.*, 2006 e Corrêa *et al.*, 2008) não tenham atribuído a gênese de horizontes com caráter coeso aos agentes cimentantes, trabalho recente (Vieira *et al.*, 2012) mostra que compostos (“amorfos”) extraídos por oxalato de amônio, possivelmente contendo sílica, estavam associados à coesão.

2.4.2. Análise Morfoscópica: grau de arredondamento de partículas

Numa vertente divergente da ação dos compostos cimentantes, Abrahão *et al.* (1998) associam o caráter coeso a atributos da areia fina (teor e grau de seleção), que permitiriam um arranjo das partículas de forma mais adensada.

No entanto, pouco se sabe sobre o ambiente de deposição dos sedimentos da Formação Barreiras da costa brasileira (Arai *et al.*, 1988). Com isso, estudos têm sido intensificados e contribuíram para o entendimento dos diversos processos e ambientes sedimentares, mas muito ainda deve ser feito para identificar e caracterizar estas variações (BEZERRA, 2009).

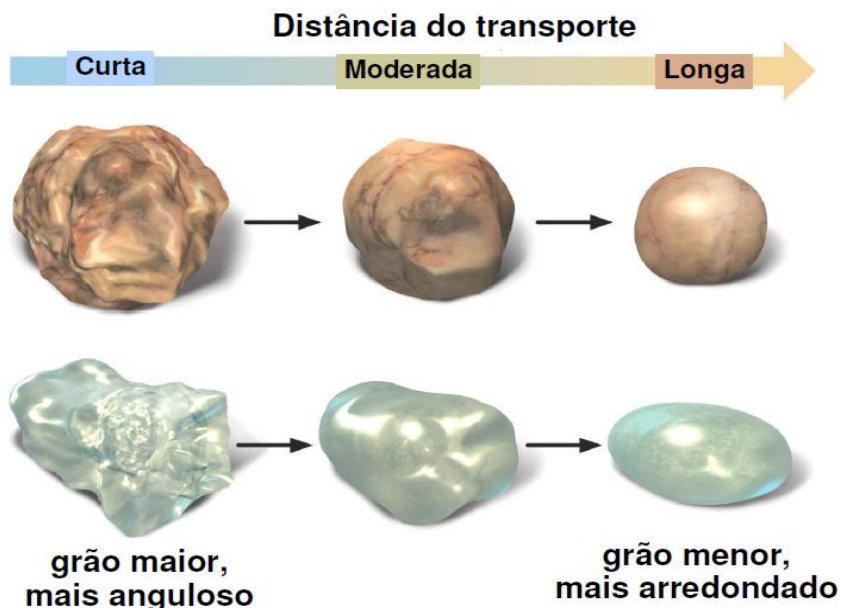
A história dos depósitos sedimentares pode ser decifrada utilizando-se a forma e o arredondamento dos grãos de areia e dos seixos que fazem parte desses sedimentos, técnica que vem sendo utilizada há muito tempo (BEZERRA, 2009).

A análise morfoscópica de sedimentos é um método que se refere ao estudo das propriedades (esfericidade e arredondamento) e a textura superficial (brilho e fosqueamento) das partículas sedimentares (BARROS *et al.*, 2007). As observações permitem fazer inferência sobre o tempo de existência do grão e a condição de transporte a qual foi submetido.

A esfericidade está relacionada com o transporte e deposição das partículas, e depende de vários fatores como a conformação inicial das partículas, a

fragilidade e a resistência à abrasão, e dos agentes de transporte a que o sedimento foi sujeito. Este parâmetro corresponde ao nível de aproximação da forma de uma partícula de areia, com a de uma esfera perfeita, e pode ser expressa como função de relações entre diâmetros principais perpendiculares (BEZERRA, 2009). O grau de arredondamento reflete a distância e o rigor do transporte das partículas (SUGUIO, 1973), indicando um bom índice de maturidade de um sedimento (Figura 3).

Figura 3-Efeito do transporte no tamanho e na angulosidade das partículas.



Fonte: Press *et al.*, (2006).

O grau de seleção das partículas é uma medida relacionada com a variação de tamanho dos grãos de areia, classificados como (i) bem selecionado: quando consiste em partículas de tamanho predominantemente uniforme, submetidas a ação prolongada da água ou vento, e (ii) pobremente selecionado: quando contém partículas de tamanho variados, pois não tiveram um transporte prolongado ou foram depositados por geleiras (Figura 4) (TEIXEIRA *et al.*, 2000; PRESS *et al.*, 2006).

Figura 4- Grau de seleção das partículas grosseiras: o grupo da esquerda é bem selecionado; o grupo da direita é pobremente selecionado.



Fonte: Press *et al.*, (2006).

2.4.3. Fracionamento químico da matéria orgânica em horizontes com caráter coeso.

A matéria orgânica é composta por substâncias orgânicas, representada por um sistema complexo, onde o húmus (fração húmica) constitui a maior parte do composto orgânico e é considerada a parte mais estável (CORRÊA, 2000), contribuindo assim para a reserva orgânica do solo. Essas substâncias orgânicas (fração húmica) são divididas em ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina (substâncias orgânicas de alto peso molecular), e são fracionadas de acordo com sua solubilidade a diferentes valores de pH (ROSSI *et al.*, 2011).

As substâncias húmicas são consideradas importante agente de ligação dos constituintes minerais do solo. No entanto, algumas várias substâncias orgânicas podem agir como dispersantes em sistemas multifases (CORRÊA *et al.*, 2008).

Meireles e Ribeiro (1995) sugerem a participação de ácidos fúlvicos na degradação da estabilidade estrutural e, conseqüentemente, nas propriedades hídricas do solo. De acordo com Ribeiro (1998) e Ribeiro, L. (2001), as substâncias leves ou pouco humificadas e os ácidos fúlvicos podem atacar quimicamente os argilominerais, provocando assim a liberação da sílica, do alumínio e do ferro, causando uma desorganização da estrutura do solo, devido a destruição ou modificação da estrutura dos argilominerais.

Estudos com solos arenosos apontam que a cimentação dos grãos de areia individuais pode estar associada a substâncias inorgânicas de vários tipos, como por exemplo, sílica secundária, complexos imogolite-alofana, ou Al-complexos que são mobilizados pelo intemperismo e depositados dentro do horizonte B dos

solos lixiviados (FARMER *et al.*, 1983; TUCKER, 1991). Contudo, Suchy *et al.* (2013) afirmam que nas áreas costeiras com uma densa cobertura vegetal, onde as substâncias húmicas estão prontamente disponíveis através da decomposição de restos de plantas, podem formar géis de húmus que facilmente migram para os espaços porosos entre as areia.

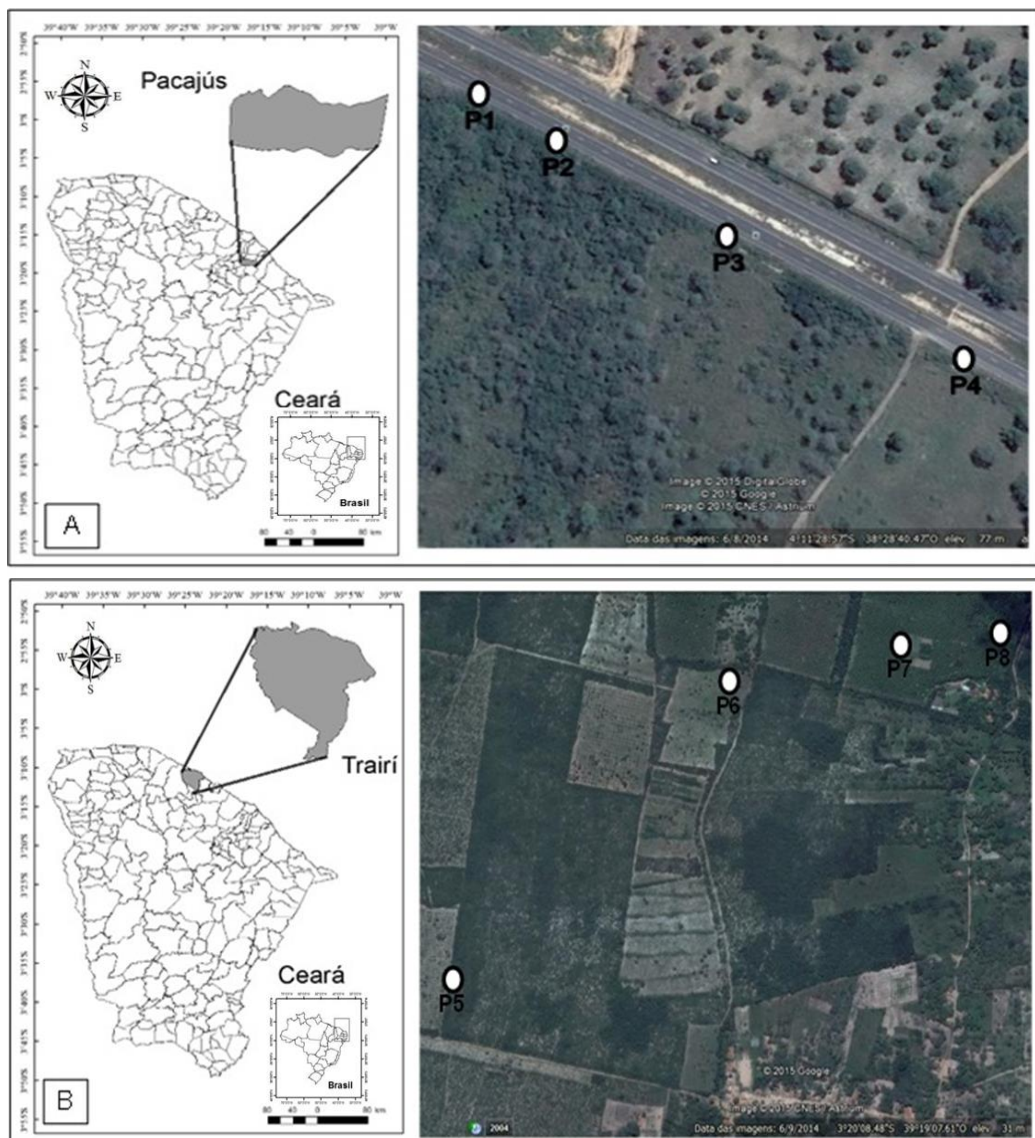
No Nordeste do Brasil, são poucos os estudos com as substâncias húmicas (SOUSA; FRAGA; SALCEDO, 2008), e são praticamente inexistentes na região dos Tabuleiros Costeiros. No entanto, é importante entender processos envolvidos na dinâmica da matéria orgânica do solo, e entender a pedogênese das classes de solo, assim como a composição química das frações humificadas (CORRÊA, 2000).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Áreas de estudo

O estudo foi realizado com amostras de solos coletadas em duas áreas (Figura 5) situadas no Tabuleiro Costeiro do Estado do Ceará, onde existem solos que apresentam o caráter coeso e solos com ausência desse atributo, já caracterizados em estudos anteriores (FREITAS, 2010; VIEIRA, 2010).

Figura 5- Localização das áreas de estudo: A – Pacajus; B – Trairi.



Lado esquerdo da imagem refere-se ao Município no Estado do Ceará e Lado direito imagem (google earth) da área com indicação dos pontos de coleta.

Fonte: Google Earth (2010)

A primeira área está localizada no município de Pacajus-CE (Figura 5A), nordeste do Estado, situada na margem direita da Rodovia Santos Dumont (BR 116) sentido Fortaleza – Pacajus, na qual foram selecionados quatro perfis de solo (P1, P2, P3 e P4), onde um desses (P4) apresenta horizonte com caráter coeso (Tabela 1).

A segunda área selecionada foi no município de Trairi-CE (Figura 6B), norte do Estado, na Fazenda Alberto Antônio, na qual foram selecionados quatro perfis de solo (P5, P6, P7 e P8), onde o caráter coeso ocorre em três desses perfis (P6, P7 e P8)(Tabela 1).

Tabela 1-Relação dos perfis de solo com os respectivos dados dos horizontes usados no estudo. Municípios de Pacajus e Trairi, Ceará.

| Horizontes | Prof. cm | Classe textural |
|---|---------------------|------------------------|
| Pacajus* | | |
| P1-Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico típico | | |
| A1 | 0-14 | Areia |
| Bt3 | 126-149 | Franco arenosa |
| P2- Argissolo Amarelo Eutrófico típico | | |
| A1 | 0-18 | Areia |
| Bt1 | 152-174 | Franco arenosa |
| P3- Argissolo Amarelo Eutrófico típico | | |
| A1 | 0-10 | Areia |
| Bt1 | 110-152 | Franco arenosa |
| P4- Argissolo Acinzentado Eutrófico abrupção | | |
| A1 | 0-7 | Areia |
| Bt1 (coeso) | 125-156+ | Franco arenosa |
| Trairi** | | |
| P5- Argissolo Amarelo Eutrófico solódico | | |
| Ap1 | 0-10 | Areia |
| Bt1 | 90-138 | Franco arenosa |
| P6- Argissolo Amarelo Distrocoeso arênico | | |
| Ap | 0-16 | Areia |
| Bt1 (coeso) | 92-125 | Franco arenosa |
| P7- Argissolo Amarelo Distrocoeso típico | | |
| Ap | 0-17 | Areia |
| Bt1 (coeso) | 91-142 | Franco arenosa |
| P8- Argissolo Acinzentado Eutrófico abrupção | | |
| Ap | 0-13 | Areia |
| Bt1 (coeso) | 142-170+ | Franco arenosa |

Fonte: * Freitas, 2010; ** Vieira, 2010

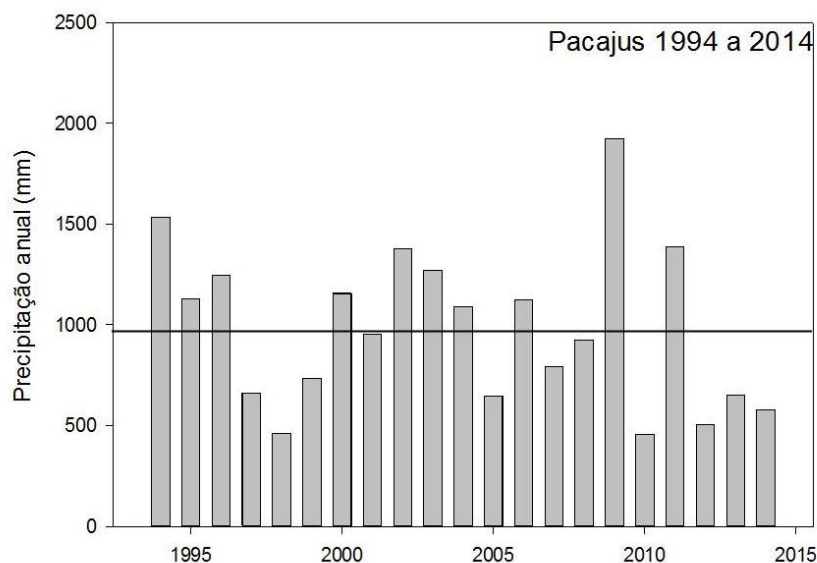
Nas duas áreas de estudo, os solos estão dispostos em topossequência e foram descritos e classificados em trabalhos prévios realizados por Freitas (2010) e Vieira (2010). Para o estudo, foram selecionados os horizontes de superfície de cada perfil e o horizonte Bt com caráter coeso (P4, P6, P7 e P8), entretanto, nos perfis que não apresentam caráter coeso (P1, P2, P3 e P5) foram selecionados os horizontes Bt de mesma classe textural daqueles com caráter coeso (em cada área) e de profundidade aproximadamente semelhante.

3.2. Caracterização das áreas

Pacajus

Pacajus é um município que está situado a uma distância de 48 km de Fortaleza, numa altitude 60 m acima do nível do mar (IPECE, 2011). Apresenta tipo climático Aw, de acordo com a classificação de Köppen, pertencente ao grupo de clima tropical quente semiárido brando e tropical quente subúmido, com temperatura média anual variando de 26°C a 28°C e precipitação média anual de aproximadamente 981 mm (Figura 6; FUNCEME, 2015), onde o período chuvoso concentra-se entre os meses de janeiro a abril (AGUIAR, BARRETO JUNIOR, LIMA, 2004; IPECE, 2012).

Figura 6 - Média histórica da precipitação pluvial da cidade de Pacajus (CE). A linha pontilhada demarca a média histórica de 981 mm.



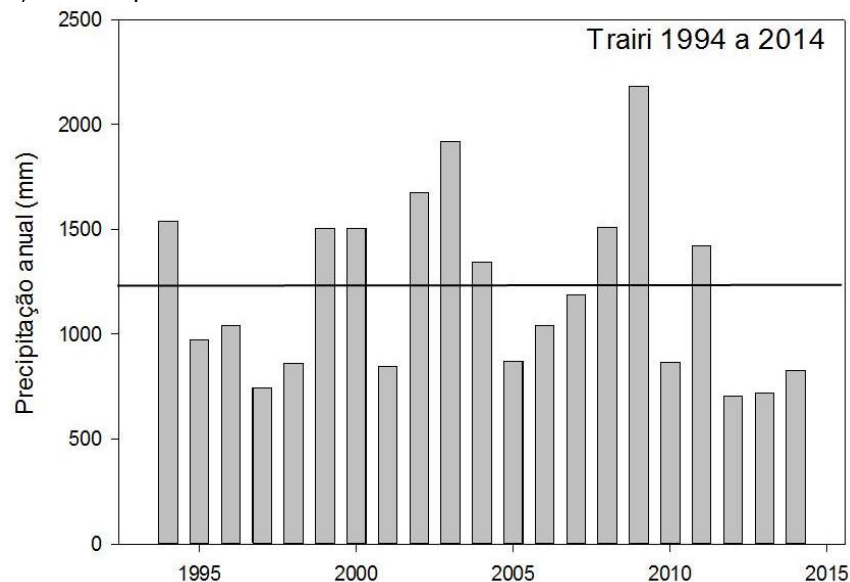
Fonte: Funceme (2015), adaptado pela autora

A região possui relevo predominantemente plano, característico da unidade geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros. A vegetação primária da região era constituída pela caatinga arbustiva densa e complexo vegetacional da zona litorânea (IPECE, 2012).

Trairi

O clima da região do município de Trairi é, segundo classificação de Köppen, BSw'h', caracterizado como tropical quente semiárido brando, com precipitação pluviométrica média de 1204 mm (Figura 7; FUNCEME, 2015), com chuvas concentradas de janeiro a abril, e temperaturas média anual de 24 °C a 28 °C (IPECE, 2012).

Figura 7 - Média histórica da precipitação pluvial da cidade de Trairi (CE). A linha pontilhada demarca a média histórica de 1204 mm.



Fonte: Funceme (2015), adaptado pela autora

O relevo da região é tipicamente plano, característico da unidade geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros. A vegetação primária da região era constituída pelo complexo vegetacional da zona litorânea e floresta subperenifolia (IPECE, 2012).

3.3.Etapa de Laboratório

As amostras de solos coletadas dos horizontes selecionados foram acondicionadas em sacos plásticos, colocadas para secar ao ar, destorroadas, passadas em peneira e, assim, obtida a terra fina seca ao ar (TFSA) para a realização das análises de rotina, conforme metodologia proposta por EMBRAPA (2011).

Análises Físicas

Granulometria: A análise granulométrica, antes determinada por Freitas (2010) e Vieira (2010), foi novamente realizada a fim de obter a fração areia dos horizontes Bt para fracionamento. Para tanto, foi utilizado o método da pipeta, seguindo-se a metodologia sugerida pela EMBRAPA (2011), utilizando como dispersante químico o hexametáfosfato de sódio (NaPO_3)₆ 0,015 mol.L⁻¹.

Fracionamento da Areia: Após a separação da fração areia dos horizontes Bt, as amostras foram secas e pesadas para obtenção do teor de areia total, e posteriormente fracionadas em cinco tamanhos, utilizando-se um jogo de peneiras com 12,5 cm de diâmetro contendo as peneira com malha de 1,00 mm (areia muito grossa), 0,50 mm (areia grossa), 0,25 mm (areia média), 0,106 mm (areia fina) e 0,053 (areia muito fina) (AMARO FILHO; ASSIS JUNIOR; MOTA, 2008).

Análise Morfoscópica: Após o fracionamento foi realizada a análise morfoscópica mediante a seleção de 100 grãos de areia e observação em lupa binocular pela metodologia proposta por Barros *et al.*(2007). Foram observados os graus de arredondamento (POWERS, 1953) das duas frações grosseiras predominantes de cada horizonte Bt.

Análises Químicas

Potencial Hidrogeniônico (pH): Foram realizadas medições do pH em H₂O na proporção 1:2,5 no método do efeito do eletrodo combinado imerso em suspensão solo:líquido.

Extração Sequencial de Silício: Realizou-se um procedimento de extração sequencial modificado, originalmente descrito por Tessier *et al.* (1979), Li *et al.*, (1995) e Kryc *et al.*(2003). As extrações foram realizadas no horizonte superficial A e subsuperficial Bt de cada perfil, da seguinte forma:

F1 – Si trocável e solúvel: Extração com cloreto de magnésio (MgCl₂1M), a pH 7,0, com agitação contínua;

F2 – Si associado aos óxidos de Fe-Mn: Foi utilizada solução de hidroxilamina (NH₂OH.HCl 0,04M) + ácido acético (CH₃COOH 25% v/v) e aquecimento à 96°C;

F3 – Si associado aos compostos orgânicos: A extração foi realizada com peróxido de hidrogênio (H₂O₂ 30%), ácido nítrico (HNO₃ 0,02M) e acetato de amônio (C₂H₃O₂NH₄3,2M)+ ácido nítrico (HNO₃ 20% v/v);

F4 - Si associado a compostos de baixa cristalinidade: Utilizou-se reagente Tamm (ácido oxálico e oxalato de amônio);

F5 - Si associado a compostos cristalinos: Foram utilizadas solução de citrato de sódio (Na₃C₆H₅O₇ 0,25M) + bicarbonato de sódio (Na₂CO₃ 0,11 M) com adição de ditionito de sódio (Na₂S₂O₄ PA).

As leituras foram realizadas em espectrômetro de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), obtendo-se os dados de Si, Fe e Al..

Fracionamento químico da matéria orgânica: O fracionamento químico das substâncias húmicas foi realizado nos horizontes diagnósticos com ausência de caráter coeso e com caráter coeso, seguindo a metodologia de Benites *et al.* (2003), onde foram obtidas as frações huminas (H), ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF). A separação foi feita com base na solubilidade em meio ácido/alcalino para a extração das substâncias húmicas e não húmicas. Para tanto, as amostras foram

tratadas com hidróxido de sódio ($\text{NaOH } 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$), solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4 20%) e hidróxido de sódio ($\text{NaOH } 0,1 \text{ mol.l}^{-1}$).

3.4. Análise Estatística

Os valores obtidos no fracionamento das areias foram tratados estatisticamente de acordo com os critérios de Folk e Ward, utilizando-se o software Phi (JONG VAN LIER; VIDAL TORRADO, 1992). Neste caso, os limites de Atterberg (mm) foram transformados para a escala phi de Krumbein (1934) a partir da equação $\phi = -\log_2 D$, em que D é o diâmetro do grão (mm). Assim a conversão ficou da seguinte forma: $\phi = -1$ a 0 (areia muito grossa), $\phi = 0$ a 1 (areia grossa), $\phi = 1$ a 2 (areia média), $\phi = 2$ a 3,32 (areia fina), $\phi = 3,32$ a 4,24 (areia muito fina).

Os dados do fracionamento da matéria orgânica dos horizontes coesos e não coesos, assim como os dados da sequencial, comprando-se horizontes coesos e não coesos, e superfície e subsuperfície, foram submetidos à análise de comparação das médias realizada pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Todas as análises foram realizadas com o programa ASSISTAT versão 7.6-2013.

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos estudados apresentam predominância de areia em sua fração granulométrica (Tabela 2), sendo classificados como de textura franco arenosa nos horizontes Bt, cujos maiores teores de areia total (804 g.kg^{-1}) foram encontrados no perfil P5.

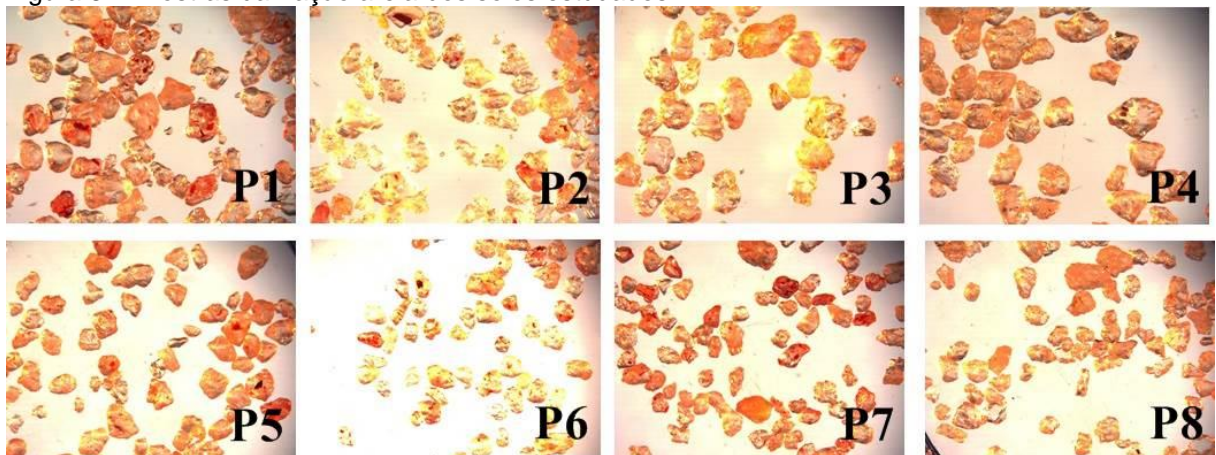
Tabela 2-Teores de areia e argila total dos solos estudados.

| Amostras | Prof. cm | Areia total | Argila total | |
|----------------|-------------|--------------------|--------------|-----|
| | | g.kg ⁻¹ | | |
| Pacajus | | | | |
| P1 | A | 0 - 14 | 903 | 64 |
| | Bt3 | 126-149 | 793 | 177 |
| P2 | A1 | 0-18 | 913 | 29 |
| | Bt1 | 152-174 | 770 | 200 |
| P3 | A | 0-10 | 918 | 22 |
| | Bt1 | 110-152 | 790 | 198 |
| P4 coeso | A1 | 0-7 | 916 | 34 |
| | Bt1 | 125-156 | 728 | 221 |
| Trairi | | | | |
| P5 | A | 0-10 | 893 | 69 |
| | Bt1 | 90-138 | 804 | 148 |
| P6 coeso | A | 0-16 | 902 | 72 |
| | Bt1 | 92-125 | 789 | 146 |
| P7 coeso | A | 0-17 | 913 | 40 |
| | Bt1 | 91-142 | 614 | 256 |
| P8 coeso | A | 0-13 | 919 | 26 |
| | Bt1 | 142-170 | 794 | 130 |

Fonte: Freitas, 2010; Duarte, 2013.

Essas frações são composta principalmente por quartzo (SiO_2) (Figura 8 e 9), podendo ser observados outros tipos de minerais nas frações mais finas, como por exemplo traços de ilmenita (FeTiO_3) (Figura 9).

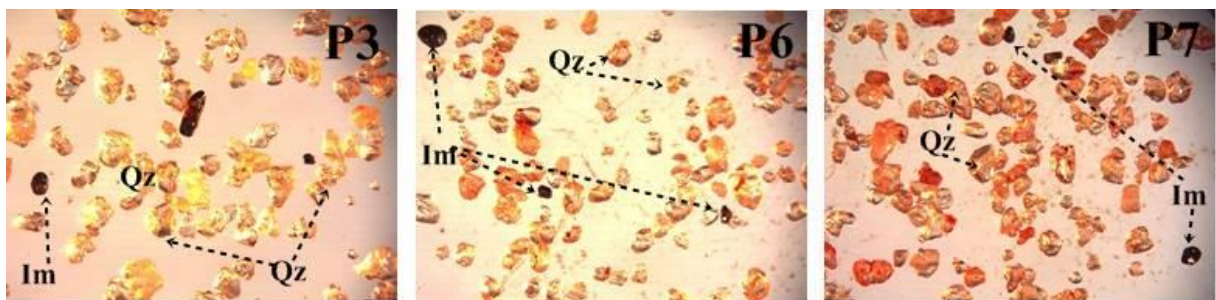
Figura 8- Amostras da fração areia dos solos estudados.



Fonte: Autora

Isto reforça a concepção de que a área fonte para o aporte desses minerais, de elevada resistência, é o embasamento cristalino (sobretudo gnaiss e granitos) localizado no interior do continente. Dados mineralógicos similares foram obtidos por Moreau *et al.* (2006) e Ribeiro (1998), ao analisar solos de Tabuleiros Costeiros.

Figura 9-Minerais da fração areia nos perfis P3, P6 e P7.



Im: Ilmenita; Qz: Quartzo

Fonte: Autora

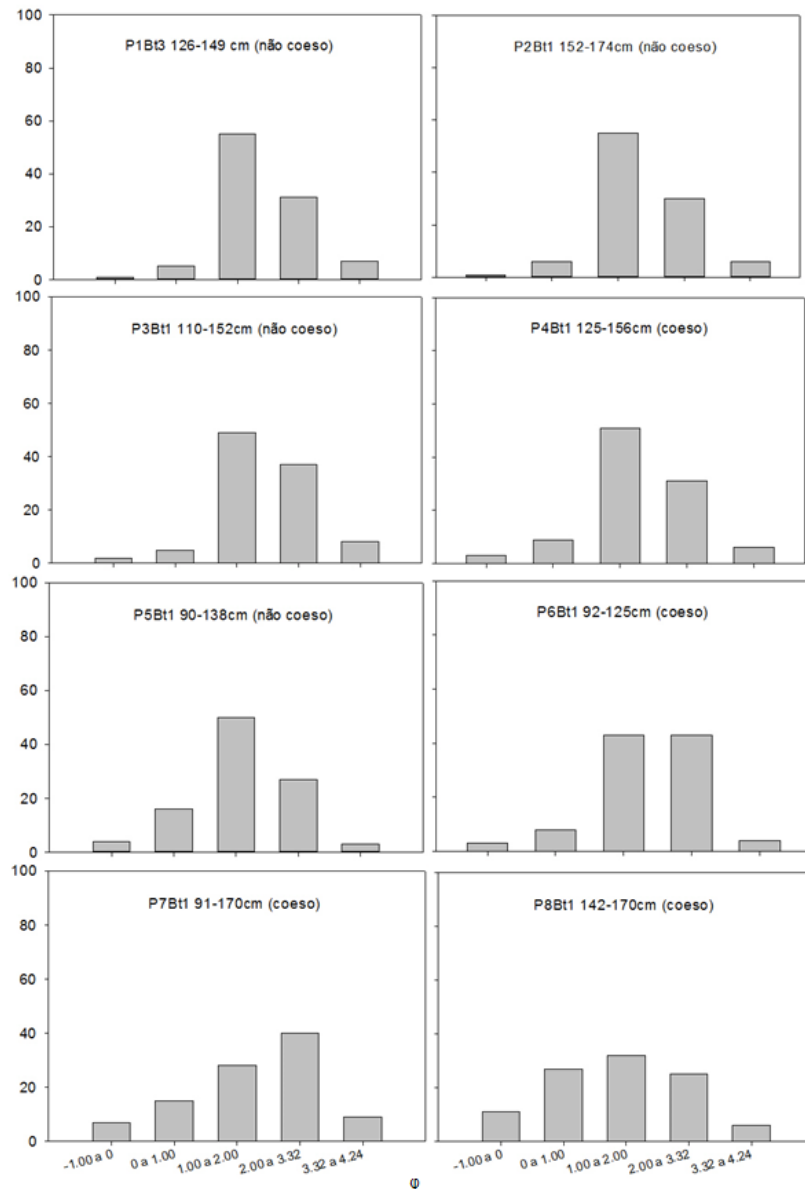
Assim a elevada quantidade de areia em ambas as áreas estudadas é reflexo do material de origem. Além disso, a intensa ação do intemperismo ocorrido nessa região favorece a predominância de quartzo na fração grosseira, devido sua grande resistência aos processos de intemperismo submetidos durante a origem da Formação Barreiras, o que explica a predominância dos elevados valores de areia média e fina em todos os solos analisados (Figura 10).

Em relação aos perfis localizados na primeira área de estudo (Pacajus), nos perfis P1, P2 e P3 (Figura 10), que não apresentam horizonte com caráter

coeso, observou-se a seguinte ordem areia média > fina > muito fina. Já no perfil P4, que apresenta caráter coeso segue-se a seguinte ordem média > fina > grossa.

Na segunda área de estudo os perfis P5 (sem horizonte coeso) e P6 (com horizonte coeso) apresentam a sequência areia média > fina > grossa (Figura 10). No perfil P7 a sequência é areia fina > média e grossa, e no perfil P8 areia média > grossa > fina (Figura 10).

Figura 10 – Histogramas do percentual da fração areia dos horizontes Bt estudados.

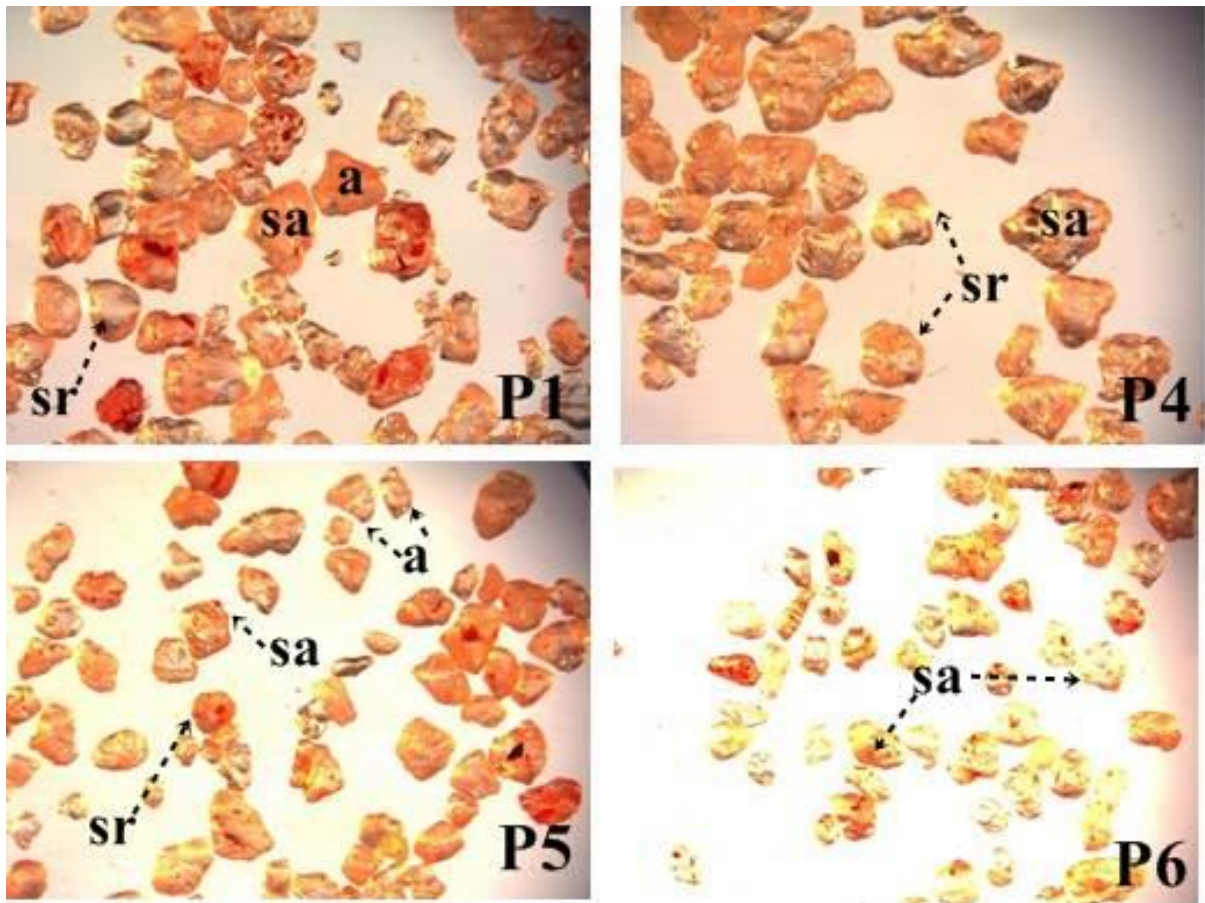


*1,00 a 0 (areia muito grossa); 0 a 1,00 (areia grossa); 1,00 a 2,00 (areia média); 2,00 a 3,32 (areia fina); 3,32 a 4,24 (areia muito fina).

Fonte: Autora

Os resultados da morfoscopia apresentaram predominância de grãos sub rolados, subangulares e angulares na fração areia média em todas as amostras, com exceção ao perfil P6 onde foram observados somente grãos sub rolados e subangulares (Figura 11).

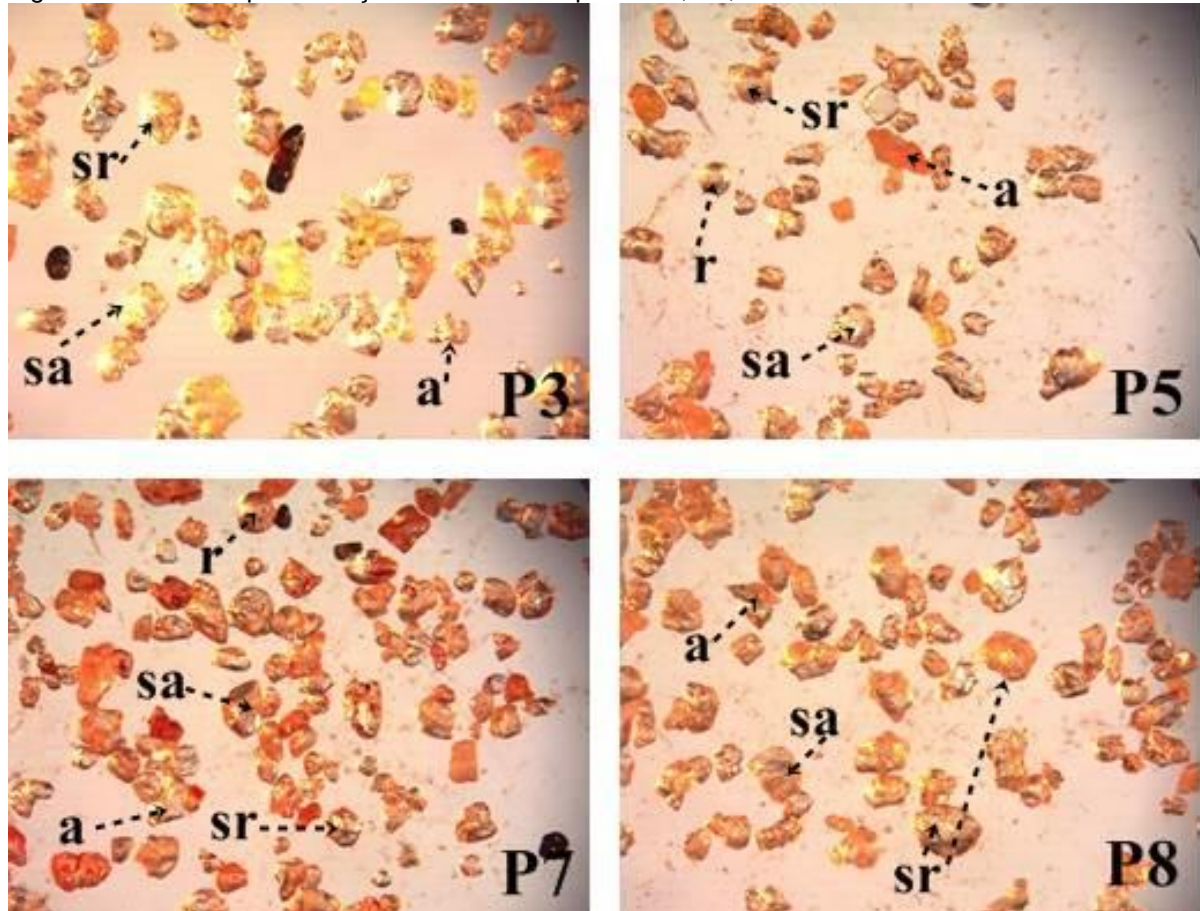
Figura 11- Morfoscopia da fração areia média dos perfis P1, P4, P5 e P6.



A: Angular; SA: Sub angular; SR: Sub rolado.
Fonte: Autora

Na fração areia fina observou-se o predomínio de grãos subangulares e angulares (Figura 12), indicando que o material foi transportado de distância mais curta. Nos perfis P3 e P8 foram encontrados grãos subrolados, e nos perfis P5 e P7 observaram-se também grãos rolados.

Figura 12- Morfoscopia da fração areia fina dos perfis P3, P5, P7 e P8.



A: Angular; SA: Sub angular; SR: Sub rolado; R: Rolado.

Fonte: Autora

Assim, o grau de seleção das partículas de areia (FOLK; WARD, 1957), indica um predomínio de areia moderadamente selecionada nos perfis P1, P2, P3 e P4, não havendo diferença entre horizontes sem caráter coeso e com caráter coeso (Tabela 3) nos solos dessa área (Pacajus). No entanto, o maior teor de argila no solo com caráter coeso (P4), contribuí no adensamento desse horizonte, juntamente com a estrutura maciça descrita Freitas (2010). Estudos indicam que a maior coesão de Argissolos Amarelos de clima secos, comparado aos mesmos solos em clima úmido, esta associado à granulometria menos argilosa desses solos de clima seco e a maior quantidade de translocação de argila (CORRÊA *et al.*, 2008).

Nos perfis P5 e P6 observou-se o predomínio de areia moderadamente selecionada, no entanto, os perfis P7 e P8 foram classificados como pobremente selecionada (Tabela 3).

Esses resultados (Tabela 3) confirmam parcialmente a hipótese de alguns autores, os quais indicam que um dos fatores que promove o adensamento do solo é a má seleção das partículas da areia (RESENDE; CARVALHO; LANI, 1992; ABRAHÃO *et al.*, 1998), pois isto permite a formação de um arranjo mais compacto que favorece a deposição da argila nos poros.

Deve-se ressaltar que este baixo grau de seleção das areias pode ser o fator determinante da coesão nestes solos, pois, os perfis P7 e P8 apresentam o caráter coeso e têm a areia classificada como pobremente selecionada, entretanto, na mesma área (Trairi) há dois perfis com areia moderadamente selecionada, sendo que um com caráter coeso (P6) e outro sem esse caráter (P5). Além disso, na área de Pacajus (P1 a P4) há um só grau de seleção (moderado), tanto para horizontes com (P4 coeso) como sem caráter coeso (P1, P2 e P3). No entanto, percebe-se que o P4 (coeso) apresenta o maior valor de desvio padrão, comparado aos outros perfis da mesma área. Isso indica que há uma maior variação no grau de seleção desse horizonte, embora todos os perfis tenham sido classificados pelo programa como moderadamente selecionado.

Tabela 3 - Medidas estatísticas da distribuição de partículas da fração areia.

| Horizonte | Mz | Φ_1 | SK ₁ | K _G | Grau de Seleção |
|-----------|-------|----------|-----------------|----------------|---------------------------|
| Pacajus | | | | | |
| P1 | 1.959 | 0.786 | +0.249 | 1.147 | Moderadamente Selecionado |
| P2 | 1.920 | 0.777 | +0.215 | 1.162 | Moderadamente Selecionado |
| P3 | 2.039 | 0.831 | +0.185 | 1.098 | Moderadamente Selecionado |
| P4 coeso | 1.872 | 0.867 | +0.119 | 1.223 | Moderadamente Selecionado |
| Trairi | | | | | |
| P5 | 1.635 | 0.857 | +0.013 | 1.191 | Moderadamente Selecionado |
| P6 coeso | 1.938 | 0.821 | +0.030 | 1.130 | Moderadamente Selecionado |
| P7 coeso | 1.865 | 1156 | -0.136 | +0.995 | Pobremente Selecionado |
| P8 coeso | 1.427 | 1168 | +0.049 | +0.973 | Pobremente Selecionado |

Mz- média gráfica; Φ_1 - desvio padrão; SK₁- grau de simetria; K_G- curtose.

De qualquer forma, a alta proporção de areia nos perfis estudados (Tabela 2) possibilita uma melhor infiltração da água e, assim, favorece a eluviação de argila para os horizontes subsuperficiais do solo (CORRÊA *et al.*, 2008). Além

disto, partículas mais finas da fração areia podem ter sido depositadas nos macroporos do solo durante o processo de formação dos Tabuleiros Costeiro, causando assim o maior empacotamento destas partículas.

As camadas adensadas podem ser resultado do predomínio das frações mais finas da areia, associado a outros fatores, como, por exemplo, agentes cimentantes (SOUZA, 1996), tais como material orgânico, amorfo e argila.

Em relação à matéria orgânica, que pode ser estimada pelos teores de carbono orgânico (C.O.), os resultados indicam que os valores são baixos em todos os perfis estudados, ocorrendo o mesmo nas frações húmicas (Tabela 4).

As frações mais reativas, ácido fúlvico (FAF) e ácido húmico (FAH), que poderiam contribuir para a cimentação, possuem valores inexpressivos. Assim, nos horizontes com caráter coeso das duas áreas estudadas, não foi observado incremento de compostos orgânicos, comparado a solos não coesos.

Tabela 4- Teores de carbono orgânico total do solo (C.O.) e nas frações ácido fúlvico, ácido húmico e humina dos horizontes superficiais (A) e subsuperficiais (Bt); dos diferentes solos estudados.

| Amostras | Profundidade | C.O. | Fracionamento Matéria Orgânica | | | |
|----------------|--------------|--------------------|--------------------------------|--------------|--------|-----|
| | | | Ácidos Fúlvico | Ácido Humico | Humina | |
| | cm | g.Kg ⁻¹ | % | | | |
| Pacajus | | | | | | |
| P1 | A | 0 - 14 | 4,195 | 18 | 7 | 75 |
| | Bt3 | 126-149 | 2,433 | nd | 4 | 96 |
| P2 | A1 | 0-18 | 5,538 | 7 | 8 | 85 |
| | Bt1 | 152-174 | 2,056 | nd | nd | 100 |
| P3 | A | 0-10 | 2,517 | 53 | 10 | 37 |
| | Bt1 | 110-152 | 0,545 | 24 | nd | 76 |
| P4 coeso | A1 | 0-7 | 3,985 | 37 | 10 | 54 |
| | Bt1 | 125-156 | 0,545 | 12 | nd | 88 |
| Trairi | | | | | | |
| P5 | A | 0-10 | 7,719 | 18 | 26 | 56 |
| | Bt1 | 90-138 | 1,636 | 31 | 12 | 57 |
| P6 coeso | A | 0-16 | 4,027 | 17 | 18 | 65 |
| | Bt1 | 92-125 | 1,175 | 12 | 11 | 77 |
| P7 coeso | A | 0-17 | 4,573 | 18 | 33 | 49 |
| | Bt1 | 91-142 | 2,098 | 28 | 16 | 57 |
| P8 coeso | A | 0-13 | 3,524 | 38 | 55 | 7 |
| | Bt1 | 142-170 | 0,713 | nd | nd | nd |

nd:não foram detectados.

Fonte: Autora

A matéria orgânica nestes solos, com exceção do P8, é constituída principalmente por compostos da fração humina (Tabela 4), o que pode estar relacionado ao fato de essa fração ser considerada um aglomerado de materiais húmicos com baixa reatividade.

Observa-se que a porcentagem das FAF e FAH apresentam uma redução em profundidade (Tabela 4), o que está relacionado tanto ao menor aporte de material orgânico nestes solos (Tabela 4), como devido à diminuição destes teores em profundidade. Da mesma forma, a irregularidade pluviométrica não favorece a translocação destas frações para os horizontes subsuperficiais, concentrando-se em superfície.

A pequena quantidade de frações húmicas, em relação à proporção de C.O, no perfil P4 (Tabela 4) e a ausência desses no perfil P8 (Tabela 4) pode estar relacionado a posição desses perfis na paisagem. Nestes casos, os perfis estão localizados em ambientes com hidromorfismo temporário, onde a oscilação do lençol freático pode favorecer a perda desses compostos no perfil.

O perfil P7 apresentou o maior valor de ácido fúlvico (Tabela 4) em profundidade. Em conjunto com esta informação, esse perfil apresenta o maior teor de argila (Tabela 3) entre os solos estudados, formando com os ácidos fúlvicos, complexos argilo-húmicos (MENDONÇA; ROWELL, 1996), o que explica a maior quantidade de desses compostos em solos argilosos.

Em relação à contribuição destas frações na gênese dos solos estudos, não foi observada diferença estatística (Tabela 5) entre os teores dos FAF, FAH e FH dos solos não coesos e coesos. Isto indica que o material orgânico não está favorecendo a cimentação dos horizontes coesos da área de estudo.

Tabela 5 – Comparativo do fracionamento da matéria orgânica dos horizontes não coesos e coesos dos diferentes solos estudados.

| Horizonte | Fracionamento Matéria Orgânica | | |
|-----------|--------------------------------|--------------|---------|
| | Ácidos Fúlvico | Ácido Humico | Humina |
| | g.kg^{-1} | | |
| Não Coeso | 0,158 a | 0,075 a | 1,433 a |
| Coeso | 0,198 a | 0,113 a | 0,642 a |

Os valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem em nível de 5% pelo teste de Tukey.

Em relação aos demais elementos cimentantes, os teores de alumínio, ferro e silício trocáveis foram baixos para todos os perfis analisados, pois esses solos apresentam baixa quantidade de matéria orgânica e são cauliníticos, apresentando, assim, baixa adsorção de cátions. Além disso, apresentam uma boa drenagem por serem arenosos (Tabela 3) permitindo a lixiviação desses íons.

Assim, os teores de Fe extraídos associados aos óxidos de Fe-Mn (Figura 13) variaram de 1,83 a 10,85 mmol.Kg⁻¹ nos perfis P4 e P3 na área de Pacajus, e de 0,77 a 21,47 mmol.Kg⁻¹ nos perfis P8 e P7 em Trairi, ambos em subsuperfície. Os valores de Fe de baixa cristalinidade (Figura 13) encontram-se na primeira área de estudo no intervalo entre 0,44 mmol.kg⁻¹ e 0,95 mmol.kg⁻¹ nos perfis P4 e P2, respectivamente; e entre 0,42 mmol.kg⁻¹ no P8 e 1,37 mmol.kg⁻¹ no P7, na segunda área estudada.

Em relação aos teores de ferro, foi verificada uma diminuição dos teores deste elemento nos perfis, acompanhando distribuição destes no relevo (Figura 13). Os perfis P4 e P8 estão localizados na parte mais baixa da paisagem em suas respectivas áreas, o que justifica os pequenos teores de ferro encontrados (Figura 13), já que essa localização favorece a ocorrência de ambientes hidromórficos, onde ocorre a redução do Fe³⁺ para a forma mais solúvel (Fe²⁺), facilitando a saída desse elemento do perfil por lixiviação (SCHWERTMANN, 1985) em detrimento da formação dos óxidos. O mesmo ocorre com os valores de ferro de baixa cristalinidade e cristalino. Lima Neto *et al.* (2010) e Moreau (2001) encontraram resultados semelhante.

Além disso, os solos dos Tabuleiros Costeiros apresentam baixos teores de ferro devido ao reduzido teor desse elemento no material de origem e também relacionado com um possível processo de desferrificação, promovido pelas condições climáticas e pedoclimáticas da área (CORRÊA *et al.*, 2008).

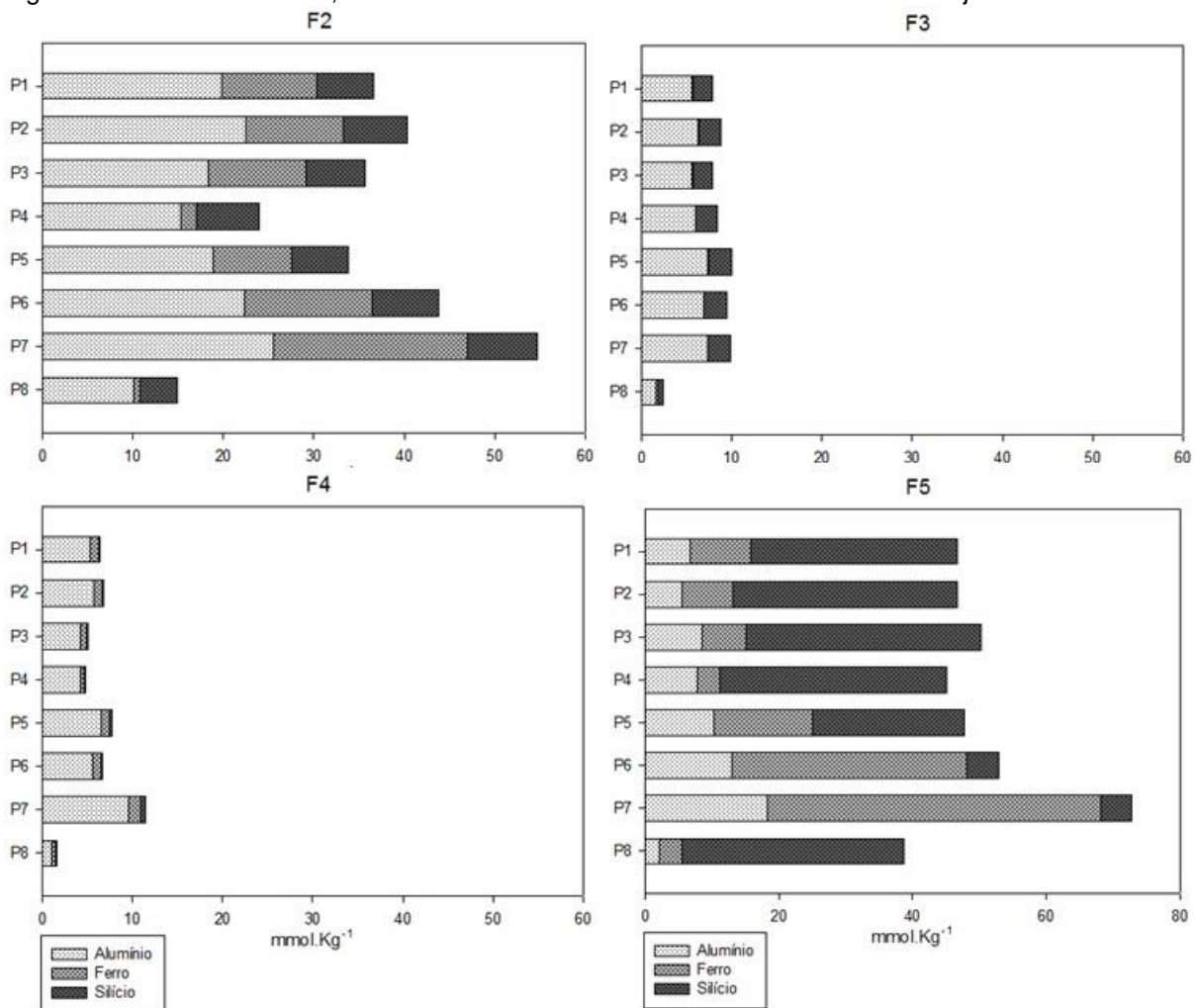
A ocorrência de concreções e mosqueados é comum na região dos Tabuleiros Costeiros, embora sejam observados baixos teores de ferro nesse ambiente, sendo essas mudanças associadas ao regime hídrico do solo, sugerindo a ocorrência de um processo de plintitização (Batista e Santos; 1995).

Observa-se que os valores de alumínio associados aos óxidos de Fe - Mn e minerais de baixa cristalinidade são predominantes. Os valores de Al associados aos óxidos de Fe-Mn na área de Pacajus variaram, em subsuperfície, entre 15,24

mmol.Kg⁻¹ no perfil P4 a 22,45 mmol.Kg⁻¹ no perfil P2 (Figura 13). Já em Trairi, variaram de 10,05 mmol.Kg⁻¹ no perfil P8 a 25,52 mmol.Kg⁻¹ no perfil P7 (Figura 13).

Os valores de alumínio de menor cristalinidade apresentaram maiores valores nos solos situados na região do Trairi, apresentando teores que variaram de 1,07 mmol.kg⁻¹ a 9,57 mmol.kg⁻¹ em subsuperfície (Figura 13).

Figura 13 - Teores de silício, ferro e alumínio nos horizontes Bt dos solos de Pacajus e Trairi.



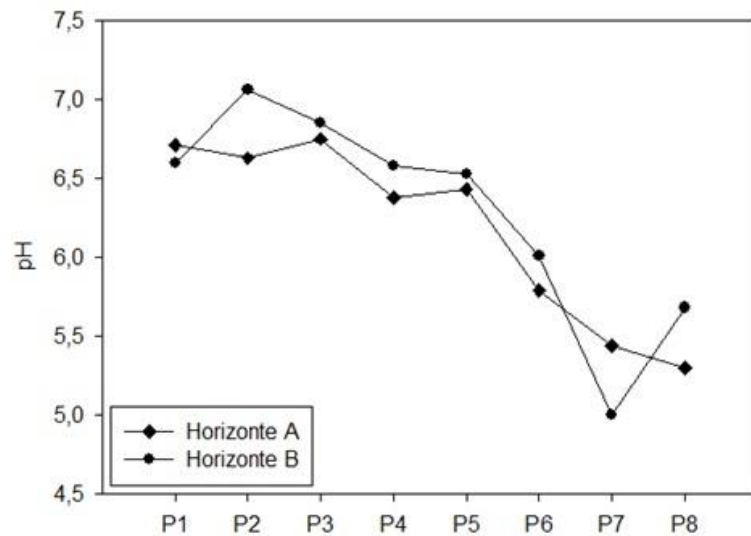
F2 – associado aos óxidos de Fe-Mn. F3 – associado aos compostos orgânicos. F4 - associado a compostos de baixa cristalinidade. F5 - associado a compostos cristalinos.

Fonte: Autora

Sabendo-se que os solos de Trairi apresentaram maior acidez (Figura 14), comparando com os solos situados na região de Pacajus, pode-se afirmar que os maiores teores de alumínio de baixa cristalinidade nessa área estão relacionados com a maior solubilidade dos argilominerais em condições de acidez mais elevada

Em Pacajus os valores de pH (Figura 14) encontram-se próximo a neutralidade variando de 6,4 a 6,8 em superfície e de 6,6 a 7,1 em subsuperfície. Já em Trairi os valores encontrados representam solos levemente ácidos a neutros (Figura 14), com valores variando de 5,3 a 6,4 em superfície e de 5,0 a 6,5 em subsuperfície.

Figura 14- Valores de pH em superfície e subsuperfície nos solos de Pacajus (P1 a P4) e Trairi (P5 a P8).



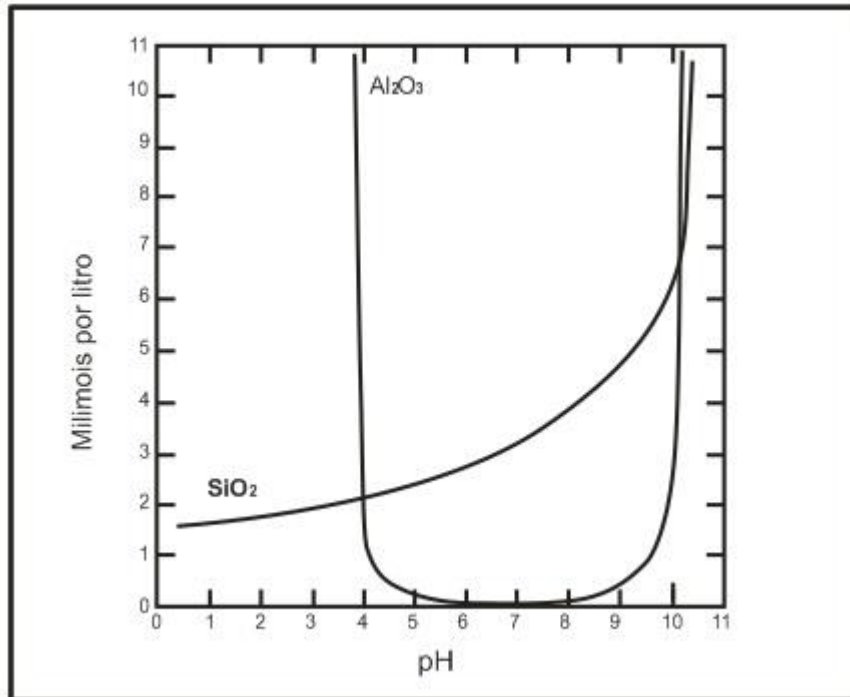
Fonte: autora

Essa mudança entre as duas áreas pode estar relacionada com a diferença na pluviosidade, onde em Trairi (1204 mm) observa-se a maior precipitação média anual quando comparado a Pacajus (981 mm). Com isso, a elevada pluviosidade causa, conseqüentemente, uma maior perda de bases, concentrando-se nos complexos de troca os íons H^+ , fazendo com que o solo se torne mais ácido. Além disso, a granulometria arenosa dos solos estudados contribui para esse resultado.

Quando o pH do solo encontra-se próximo a neutralidade, as taxas de solubilidade de alumínio são baixas (Figura 15). No entanto, em condições de pH próximos e inferiores a 5 ocorre um incremento na taxa de solubilização desse elemento, aumentando assim a competição de Al^{3+} com os cátions de outros elementos para os locais de troca nos minerais argilosos e matéria orgânica. No caso do ferro, a maior solubilidade está associada a solos muito ácidos ($pH < 3$), recristalizando-se quando eleva-se o valor de pH (MENDONÇA e PACCOLA, 2005).

A alumina (Al_2O_3) é solúvel tanto em meio ácido quanto em ambientes alcalinos, apresentando baixa solubilidade em meio neutro (Figura 15). No entanto, em relação ao silício, sabe-se que a sílica (SiO_2) é muito solúvel em meio básico, conseqüentemente pouco solúvel em meio ácido (CASSETI,2005).

Figura 15-Solubilidade da sílica e alumina em função do pH.



Fonte: Masson (1966 apud Caseti 2005)

Os valores de silício de menor cristalinidade mostraram-se baixos em ambas as áreas estudadas (Figura 13). Em Pacajus o menor valor, em subsuperfície, foi encontrado no perfil P4 ($0,07 \text{ mmol.Kg}^{-1}$) e o maior valor no perfil P3 ($0,17 \text{ mmol.Kg}^{-1}$). Já em Trairi, observou-se o menor valor no P8 ($0,06 \text{ mmol.Kg}^{-1}$) e maior valor em P7 ($0,52 \text{ mmol.Kg}^{-1}$). Dessa forma, não foram observado incremento nos teores de silício de baixa cristalinidade nos perfis com horizontes coesos (Tabela 6).

Tabela 6 –Teores de alumínio, ferro e silício em diferentes frações nos solos de horizontes não coesos e coesos.

| Frações | Al | | Fe | | Si | |
|---------|-----------------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| | mmol.kg ⁻¹ | | | | | |
| | Não Coeso | Coeso | Não Coeso | Coeso | Não Coeso | Coeso |
| F1 | 1,892 a | 2,512 a | 0,058 a | 0,049 a | 0,106 a | 0,035 a |
| F2 | 19,887 a | 18,304 a | 10,180 a | 9,525 a | 6,532 a | 6,485 a |
| F3 | 6,231 a | 5,433 a | 0,061 a | 0,099 a | 2,314 a | 2,002 a |
| F4 | 5,465 a | 5,124 a | 0,879 a | 0,801 a | 0,148 a | 0,190 a |
| F5 | 7,792 a | 10,268 a | 9,474 a | 22,910 a | 32,786 a | 19,194 a |

F1– fração trocável; F2 – associado aos óxidos de Fe-Mn. F3 – associado aos compostos orgânicos. F4 - associado a compostos de baixa cristalinidade. F5 - associado a compostos cristalinos.

Os valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem em nível de 5% pelo teste de Tukey

No entanto, observa-se uma diferença na proporção de Si de baixa cristalinidade em relação aos perfis com caráter coeso e não coeso (Tabela 7). Observa-se que a proporção de Si extraído na F4 nos perfis coesos e aproximadamente o dobro a quantidade proporcional extraídas nos horizontes não coesos, o que indica que, embora em baixa quantidade, os compostos de silício de baixa cristalinidade podem estar contribuindo para a gênese desses horizontes com caráter coeso.

Tabela 7: Porcentagem dos elementos extraídos em cada fase em relação ao total extraído de cada elemento.

| Frações | Al | | Fe | | Si | |
|---------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | % | | | | | |
| | Não Coeso | Coeso | Não Coeso | Coeso | Não Coeso | Coeso |
| F1 | 4,58 | 6,03 | 0,28 | 0,15 | 0,25 | 0,13 |
| F2 | 48,19 | 43,96 | 49,29 | 28,53 | 15,59 | 23,24 |
| F3 | 15,10 | 13,05 | 0,30 | 0,30 | 5,52 | 7,17 |
| F4 | 13,24 | 12,31 | 4,26 | 2,40 | 0,35 | 0,68 |
| F5 | 18,88 | 24,66 | 45,87 | 68,63 | 78,27 | 68,78 |

Autores afirmam que deve ser liberada uma alta concentração de sílica na solução do solo para que sejam formados compostos amorfos, independente da fonte de sílica (DUNCAN e FRANZMEIER, 1999).

Nos fragipãs localizados na depressão sertaneja, os principais agentes cimentantes são os compostos silicosos. Já nos Tabuleiros Costeiros, os fragipãs

apresentaram maiores proporções de compostos aluminosos (ROMERO, 2003). No entanto, o alumínio e o silício, por apresentarem afinidade química, formam aluminossilicatos não cristalinos que agem como agente cimentantes em solos endurecidos (MOREAU, 2001).

Dessa forma, o Al de baixa cristalinidade pode apresentar importância na gênese desses horizontes com caráter coeso, no entanto sabe-se que as formas menos cristalinas de Si podem também participar desse processo em grau variado.

Deve-se destacar que Vieira *et al.* (2012) já mostraram que extração por oxalato de amônio diminui a coesão, quantificada através da resistência à penetração. Então, compostos de Al, ou Si, ou aluminossilicatos de baixa cristalinidade estão envolvidos como agentes cimentantes nos horizontes com caráter coeso.

5.CONCLUSÃO

A pedogênese dos solos estudados apresenta diferentes processos físicos relacionados às duas áreas de estudo. O grau de seleção da fração areia está associada a gênese desses horizontes com caráter coeso, permitindo um melhor arranjo das partículas tornando o perfil mais adensado e sujeito a cimentação, além de facilitar a acomodação de partículas mais finas de argila iluviadas em perfis mais argulosos.

O fracionamento do Si e Al não apresentou diferença entre os horizontes com caráter coeso e sem caráter coeso, entretanto os compostos de baixa cristalinidade extraídos por oxalato de amônio, e que podem atuar na cimentação, apresentam Al com teores mais altos e Si em menor proporção.

As frações da matéria orgânica (ácido fúlvico, ácido húmico e humina) não apresentaram diferença entre os horizontes com caráter coeso e sem caráter coeso e, assim, não devem ter relação direta com esse caráter do solo.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, W. A. P.; COSTA, L. M.; MELLO, J. W. V.; NEVES, J. C. L. Distribuição de Frequência de Tamanho da Fração Areia e Compacidade Relativa de Solos Desenvolvidos de Sedimentos do Grupo Geológico Barreiras. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 22, p. 1-9, 1998.
- AGUIAR, M. de J.N.; BARRETO JUNIOR, J.H.C.; LIMA, M.W. de. Dados climatológicos: Estação de Pacajus, 2003. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 2004. 16p. (EMBRAPA-CNPAT. Documento, 85).
- AMARO FILHO, J. ASSIS JUNIOR, R.N., MOTA, J.C.A. **Física do Solo**: conceitos e aplicações. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008.
- ARAI, M.; UESUGUI, N. ; ROSSETI, D.F. e GOES, A.M. Considerações sobre uma idade do Grupo Barreiras no Nordeste do Estado do Pará. In: XXXV Congresso Brasileiro de Geologia, 35. Belém. **Anais**. Belém. SBG. 1 v.2. p. 738-750, 1988.
- ARAÚJO FILHO, J.C.; CARVALHO, A.; SILVA, F.B.R. Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solos dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.123-142.
- BARROS, L.C.; VALENÇA, L.M.M.; MANSO, V. do A.V.; MADRUGA FILHO, J.D.; OLIVEIRA, J.A.R.de. Textura, composição e arredondamento dos sedimentos da plataforma continental interna adjacente às desembocaduras sul do canal de Santa Cruz e do rio Timbó, Norte do estado de Pernambuco. **Revista Estudos Geológicos**. v. 17, p. 58-70, 2007.
- BATISTA, M. de A.; SANTOS, M.C. dos. Morfologia e gênese de dois solos com plintita da região Meio-Norte do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.287-296, 1995
- BEZERRA, F. H. R.; MELLO, C. L.; SUGUIO, K. **A Formação Barreiras: recentes avanços e antigas questões**. *Geologia USP Série Científica*, São Paulo, v.6, n. 2, out. 2006.
- BEZERRA, L.J.C. **Caracterização dos tabuleiros pré-litorâneos do estado do Ceará**. 2009. 144p. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar-LABOMAR, 2009.
- BRANDÃO, F.J.C. **Subsolagem em um Latossolo Amarelo Coeso de Tabuleiro Costeiro e conseqüências no desenvolvimento do cultivar TangorMurcote (etapa ii)**. 2005. 87p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2005.
- BRASIL. Secretaria de Minas e Metalurgia (CPRM). Mapa geológico do Estado do Ceará. 2003. Disponível em:

file:///C:/Users/gisamarques/Google%20Drive/doutorado/cap%204/109917849-Mapa-Geologico-do-Ceara-2003.pdf
Acesso em: 26 maio 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará**. Vol. 2. Recife, 1973. 502p.

CASSETI, Valter. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em:<<http://www.funape.org.br/geomorfologia/cap3/index.php>>. Acesso em: 20maio2015.

CHADWICK, O.A.; HENDRICKS, D.M.; NETTLETON, W.D. Silica emduric soils: I. A deposicional model. **Soil Science Society of American Journal**.v.51, p.975-982, 1987.

CINTRA, F. L. D. *et al.* Efeito de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos tabuleiros e na produção de coqueiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33 n. 04, p. 1041-1051, 2009.

CORNELIS, J.T.; DELVAUX, B.; GEORG, R.B.; LUCAS, Y.; RANGER, J.; OPFERGELT, S. Tracing the origin of dissolved silicon transferred from various soil-plant systems towards rivers: a review. **Biogeosciences**. v.8, p. 89-112, 2011.

CORRÊA, M.M.; KER, J.C. ; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T. C. P. Caracterização Física, Química, Mineralógica e Micromorfológica de Horizontes Coesos e Fragipãs de Solos Vermelhos e Amarelos do Ambiente Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 297-313, jan./fev. 2008.

CORRÊA, M. M. **Atributos físicos, químicos, mineralógicos e micromorfológicos de solos e ambiente agrícola nas várzeas de Sousa - PB**. 2000. 120p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.

DANTAS, J. S.; MARQUES JUNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; RESENDE, J. M. do A.; CAMARGO, L. A.; BARBOSA, R. S. Gênese de solos coesos do leste maranhense: relação solo-paisagem. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, p. 1039-1050. 2014.

DEMATTÊ, J. L. I.; MAZZA, J. A.; DEMATTÊ, J. A. M. Caracterização e gênese de uma toposseqüência Latossolo Amarelo – Podzol originado de material da Formação Barreiras – Estado de Alagoas. **Scientia Agrícola** vol.53, n. 1, p. 20–30, jan./abr. 1996.

DREES, L.R. *et al.* Silica in soils: quartz and disordered sílicapolymer. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B (Ed). **Minerals in soil environments**. 2 ed. Madison: Soil Science Society of America, v. 19, p. 913-974. 1989.

DUARTE, L. R. de S. **Atributos físicos e químicos e suas influências na coesão de solos nos Tabuleiros Costeiros de Trairi-ce**. 2013. 41p. Monografia

(Graduação em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

DUNCAN, M.M.; FRANZMEIER, D.P. Role of free silicon, aluminum, and iron in soil formation. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 63:923-929, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação do Solo**. 3. ed. rev. ampl. Rio de Janeiro, 2013, 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos e análise de solo**. 2.ed. revista. Rio de Janeiro, 2011, 230p.

FARMER, V.C., SKJEMSTAD, J.O., THOMPSON, C.H., 1983. **Genesis of humus B horizons in hydromorphic humus podzols**. *Nature* 304 (5924), 342–344.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURTI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p.507-514, 1999.

FLACH, K.W. *et al.* The micromorphology of silica cemented soil horizons in western North America. In: **Soilmicroscopy**. Rutherford (Ed.) Limestone Press, Ontario, 1974, p. 715-729.

FOLK, R.L.; WARD, W.C. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**. Tulsa, Okla., n.27, p. 3- 27. 1957.

FREITAS, E.D. **Gênese de solos de uma toposequência dos tabuleiros costeiros (CE): Ênfase na dinâmica do ferro**. 2010. Monografia (Graduação em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Calendário das chuvas no Estado do Ceará. 2015. Disponível em: <http://www.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/maxima/diario?data=hoje> Acessado em 26 maio 2015.

GIAROLA, N. F. B.; LIMA, H. V. de; ROMERO, R. E.; BRINATTI, A. M.; SILVA, A. P. da. Mineralogia e Cristalografia da fração argila de horizontes coesos de solos nos Tabuleiros Costeiros. *Viçosa*, v. 33, n. 1, p. 33-40, jan./fev. 2009.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P. Conceitos sobre solos coesos e hardsetting. *ScientiaAgricola*, v. 59, p. 613-620, 2002.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.; SOUZA, L.S.; RIBEIRO, L.P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e comportamento hardsetting: estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 25, p. 239-247, 2001.

IPECE. **Perfil Básico Municipal 2012. Ceará.** Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2012/Pacajus.pdf> acesso em: 10 de março de 2014.

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. *In*: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1., 1996. Aracaju, **Anais**. Aracaju: EMBRAPA CPATC/EMBRAPA-CNPMF/AGRUFBA/IGUFBA, 1996. 80 p.

JACOMINE, P.K.T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. *In*: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001, Aracaju. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.19-46

JONG van LIER, Q.; VIDAL-TORRADO, P. PHI: Programa de microcomputador para análise estatística da granulometria de sedimentos. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:277-281, 1992.

KRYC, K.A., MURRAY, R.W., MURRAY, D.W. Elemental fractionation of Si, Al, Ti, Fe, Ca, Mn, P, and Ba in five marine sedimentary reference materials: results from sequential extractions. **Analytica Chimica Acta**, v. 487, p. 117-128, jul., 2003.

LI, X., COLES, B.J., RAMSEY, M.H., THORNTON, I. Sequential extraction of soils for multielement analysis by ICP-AES. **Chemical Geology**. v.124, p. 109-123, jul. 1995.

LIMA, R. P.; ROLIM, M. M.; OLIVEIRA, V. S.; SILVA, A. R.; PEDROSA, E. M.; FERREIRA, R. L. C. Load-bearing capacity and its relationships with the physical and mechanical attributes of cohesive soil. **Journal of Terramechanics**, v. 58, p. 51–58. 2015.

LIMA FILHO, O.F. de. O silício em sistemas intensivos de produção agropecuária. *In*: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 27.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 11. Bonito, MS. 2006. **Anais**. A busca das raízes. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 82). 1 CD-ROM

LIMA NETO, J. de A.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; SOUZA JÚNIOR V. S. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; LIMA, J. F. W.F. Atributos Químicos, Mineralógicos e Micromorfológicos de Horizontes Coesos de Latossolos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Estado De Alagoas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 473-486, mar/ abr. 2010

LIMA NETO, J. de A. **Caracterização e gênese do caráter coeso em Latossolos Amarelos e Argissolos da região dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas Recife**. 2008. 83p. Dissertação (Ciências do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2008.

LIMA, H. V., SILVA, A. P., JACOMINE, P. T. K., ROMERO, R. E., LIBARDI, P. L. Identificação e caracterização de solos coesos no estado do Ceará. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v. 28, p. 467- 476. 2004.

MEIRELES, M. C. S.; RIBEIRO, L. P. Caracterização da sílica em horizontes coesos de solos de tabuleiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25. Viçosa, 1995. Resumos expandidos. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Universidade Federal de Viçosa, p.1688-1689. 1995.

MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SINGH, B.; NOVAIS, R. F.; FONTES, M. P. F. Propriedades químicas e cristalográficas da caulinita e dos óxidos de ferro em sedimentos do Grupo Barreiras no município de Aracruz, estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n. 01, p. 53-64, 2002.

MELO FILHO, J. F. de; SOUZA, A. L. V.; SOUZA, L. da S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo amarelo coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 31, p .1599-1608. 2007.

MENDONÇA, C. C. T. N.; PACCOLA, A. A. Solubilização e neoformação de óxidos de ferro, zinco, cobre e manganês em Latossolo Vermelho Distrófico com adição de Sacarose. **Energ. Agric.**, Botucatu, vol. 20, n. 3, 2005, p.63-75

MENDONÇA, E.S.; ROWELL,P.L. Mineral and organic fractions of two oxisols and their influence on effective cation – exchange capacity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 1-60, p.188-192, 1996.

MOREAU A. M. S. S.; COSTA, L.M.; KER, J.C.; GOMES; F.H. Gênese de horizonte coeso, fragipã e duripã em solos do tabuleiro costeiro do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.1021-1030, 2006.

MOREAU, A.M.S.S. **Gênese, mineralogia e micromorfologia de horizontes coeso, fragipã e duripã em solos dos Tabuleiros Costeiros do Sul da Bahia**. 2001. 138p. Tese (Doutorado em Agronomia-Solos e Nutrição de Plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

PEREIRA, V. H. C.; CESTARO, L. A. A Unidade Geoambiental Tabuleiro Costeiro e o planejamento municipal: o caso de Senador Georgino Avelino/RN. **RevistaGeonorte**, Edição Especial, v.3, n.4, p. 390-401, 2012.

PRESS, F, SIEVER R.;GROTZINGER, J.;JORDAN, T. H., 2006. **Para Entender a Terra**. Tradução RualdoMenegat, 4 ed. – Porto Alegre: bookman, 656 p.

POWERS, M. C. Sizeanalysisofsandsby a sedimentationtechnique. *JournalofSedimentaryPetrology*, v. 27, p. 460-468. 1953.

RAMOS, M. R.; CURCIO. G. R.; DEDECEK, R. A.; MELO, V. de F.; UHLMANN, A. Influência da posição na encosta na manifestação do caráter coeso em solos da formação macacu, no estado do rio de janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37, p. 837-845. 2013.

RESENDE, M.; CARVALHO FILHO, A.; LANI, J.L. Características do solo e da paisagem que influenciam a susceptibilidade à erosão. In: SIMPÓSIO SOBRE

MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1., Campinas, 1992. Anais. Campinas, Fundação Cargil, 1992. p.32-67.

REZENDE, J. O. **Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros**: limitações agrícolas e manejo. Salvador: SEAGRI-SPA, 2000. 27,31p. (Série Estudos Agrícolas, 1).

RIBEIRO, L.P. Evolução da cobertura pedológica dos tabuleiros costeiros e a gênese dos horizontes coesos. *In*: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais**. Aracaju, EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2001. p.93-121.

RIBEIRO, L.P. Os Latossolos Amarelos do Recôncavo Baiano: gênese, evolução e degradação. Salvador, **SEPLANTEC, CADCT**, 1998. 99p.

RIBEIRO, L.P. Gênese, evolução e degradação dos solos amarelos coesos dos Tabuleiros Costeiros. *In*: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas, 1996. **Anais**. Aracaju, EMBRAPA-CPATC & CNPMF/ EAUFBA / IGUFBA, 1996. p.17-35.

RIBEIRO, M.R. Características morfológicas dos horizontes coesos dos solos dos Tabuleiros Costeiros. *In*: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais**. Aracaju, EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2001. p.161-168.

ROMERO, R. E. **Gênese e Degradação de Duripãs em uma Toposseqüência dos Tabuleiros Costeiros**. 2003.144p. Tese (Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; GLACOMO, S.G.; BETTA, M.; POLIDORO, J.C. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p.622-630, 2011.

SANTANA, M. B.; SOUZA, L. DA S.; SOUZA, L. D.; FONTES, L. E. F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de Tabuleiros Costeiros do estado da Bahia. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v. 30, p. 1-12, 2006.

SANTOS, D. M. B. **Efeitos da subsolagem mecânico sobre a estrutura de um solo de “tabuleiro” (Latosolo amarelo álico coeso) no município de Cruz das Almas – Bahia (Caso 2)**. 1992. 78p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, 1992.

SCHWERTMANN, U. The effect of environments on iron oxide minerals. **Adv. SoilSci.**, 1:172-200, 1985.

SOUZA, S.M.S.C.; FRAGA, V.S.; SALCEDO, I.H. Frações lábeis da matéria orgânica de solos na região semiárida. *In*: MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. **Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido**. Recife: Universitária UFPE, p. 105-122. 2008.

SOUZA, L.D.; SOUZA, L.S. **Irrigação nos Tabuleiros Costeiros no Nordeste do Brasil. Portal do Agronegócio**. Disponível em:

<<http://www.portaldoagronegocio.com.br>>. Acesso em: 06 out. 2012.

SOUZA, L. da S. Uso e manejo dos solos coesos do tabuleiros Costeiros. **In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS**, 1996, Cruz das Almas. **Anais**. Aracaju : Embrapa-CPATC, 1996. p.36-75.

SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; CALDAS, R.C. Identificação da coesão com base em atributos físicos convencionais em solos dos Tabuleiros Costeiros. **In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS**. Aracaju, 2001. **Anais**: Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2001, p. 169-190.

SUCHY, V.; SÝKOROVÁ, I.; HAVELCOVÁ, M.; MACHOVIC, V. ZEMAN, A.; TREJTNAROVÁ, H. Cementation and blackening of Holocene sands by peat-derived humates: A case study from the Great Dune of Pilat, Landes des Gascogne, Southwestern France. **International Journal of Coal Geology**. v.114, p.19–32. 2013.

SUGUIO K.; MARTIN L.; BITTENCOURT A. C. S. P.; DOMINGUEZ J. M. L., FLEXOR J. M.; AZEVEDO A. E. G. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 15, p. 273-286. 1985.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo, Edgard Blüncher, Ed. da Universidades de São Paulo, 317 p, 1973.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.de; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. **Decifrando a terra**. São Paulo: Oficina de textos, p. 569. 2000.

TESSIER, A., CAMPBELL, P.G.C., BISSON, M., 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. **Analytical Chemistry**, v.51, n.7, p. 844-851, 1979.

TUCKER, M.,. **Sedimentary petrology, An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks** 2nd ed Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1991.

VIEIRA, J. M. **Contribuição de compostos de baixa cristalinidade e ciclos de umedecimento e secagem na gênese do caráter coeso em solos do Ceará**. 2013. 113p. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Solos e Nutrição de Plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

VIEIRA, J. M.; ROMERO, R. E.; FERREIRA, T. O.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Contribuição de material amorfo na gênese de horizontes coesos em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**. Fortaleza, v. 43, n. 4, p. 623-632, out/dez. 2012.

VIEIRA, J. M. **Caracterização dos solos de uma topossequência dos Tabuleiros Costeiros e Avaliação do material amorfo na cimentação de horizontes coesos**. Trairi – Ceará. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2010. 59p. (Monografia).