

ANO
2020

FAGNER TAIANO DOS SANTOS SILVA | GÊNESE DO CARÁTER COESO EM SOLOS
DESENVOLVIDOS NOS TABULEIROS COSTEIROS DA BAHIA



UDESC

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

A presença de horizontes com caráter coesos é observada nos solos dos Tabuleiros Costeiros do Grupo Barreiras, ocorrendo predominantemente na transição entre os horizontes A e B, bem como no topo do horizonte B e a coesão se manifesta quando o solo está seco, limitando o uso agrícola de áreas que são de grande importância socioeconômica. O objetivo desse trabalho foi verificar a participação de atributos físicos, químicos, mineralógicos, Fe, Al e Si na gênese dos horizontes coesos de seis solos do Estado da Bahia. Objetivou-se também verificar a distribuição de frações de silício e caracterizar a assembleia fitolítica desses solos.

Orientador: Jaime Antonio de Almeida

Coorientador: Luciano da Silva Souza

Lages, 2020

TESE DE DOUTORADO

**GÊNESE DO CARÁTER COESO EM SOLOS
DESENVOLVIDOS NOS TABULEIROS
COSTEIROS DA BAHIA**

Fagner Taiano dos Santos Silva

Lages, 2020

FAGNER TAIANO DOS SANTOS SILVA

**GÊNESE DO CARÁTER COESO EM SOLOS DESENVOLVIDOS NOS
TABULEIROS COSTEIROS DA BAHIA**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em
Ciência do Solo da Universidade do Estado de
Santa Catarina, como requisito parcial para
obtenção do grau de Doutor em Ciência do Solo.

Orientador: Dr. Jaime Antonio de Almeida

Coorientador: Dr. Luciano da Silva Souza

LAGES, SC

2020

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Silva, Fagner Taiano dos Santos Silva

Gênese do caráter coeso em solos desenvolvidos nos
Tabuleiros Costeiros da Bahia / Fagner Taiano dos Santos Silva
Silva. -- 2020.

166 p.

Orientador: Jaime Antonio de Almeida Almeida
Coorientador: Luciano da Silva Souza Souza

Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina,
Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação
em Ciência do Solo, Lages, 2020.

1. Compartimentos de Silica. 2. Silica biogênica. 3. Compostos
amorfos. I. Almeida, Jaime Antonio de Almeida. II. Souza, Luciano
da Silva Souza. III. Universidade do Estado de Santa Catarina,
Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação
em Ciência do Solo. IV. Título.

FAGNER TAIANO DOS SANTOS SILVA

**GÊNESE DO CARÁTER COESO EM SOLOS DESENVOLVIDOS NOS
TABULEIROS COSTEIROS DA BAHIA**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciência do Solo.

Banca examinadora:

Orientador: _____
Prof. Dr. Jaime Antonio de Almeida
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: _____
Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: _____
Prof. Dr. Pablo Grahl dos Santos
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: _____
Profª. Drª. Márcia Regina Calegari
Universidade do Estadual do Oeste do Paraná

Membro: _____
Prof. Dr. José Coelho de Araújo Filho
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Lages, 28 de Fevereiro de 2020

DEDICO,

A toda minha ancestralidade (pretos, caboclos e índios) ao Movimento Preto, que tanto lutou e luta por igualdade. Sem vocês, não conseguiria ter chegado até aqui.

A vovô Amandio e vó Zinha (*in memoriam*), sempre recordarei de suas vontades em me ver feliz.

A minha família e aos meus amigos!

AGRADECIMENTOS

Pela finalização do doutorado, uma importante etapa na minha vida, tenho muito a agradecer e assim o farei:

Agradeço a todas as forças do universo, na figura dos orixás, pela coragem e ensinamentos nas mais diversas ocasiões que passei durante o processo de doutoramento e pelo privilégio de nascer na Bahia, terra de magia, encantos e simplicidade e em uma família incrível!!

A minha família, nas pessoas de minha mãe, Áurea, carinhosamente Aurinha e a meu pai Florisvaldo, carinhosamente Nego. Aos meus irmãos Meire, Nei e Mateus e a minha vovó Nenzinha.

In memoriam, agradeço a vovô Amandio e a vó Zinha. Quanto conhecimento humano, esotérico, índio e caboclo que vocês me permitiram acessar. Honro em todos os meus dias suas palavras de sabedoria. Axé!!

A minha segunda família, (família Verdi) essa ganhei aqui no Sul do Brasil, mais precisamente na cidade de Pouso Redondo - SC: Rovier, Tia Mirtes, Isidoro, Riciere, Ricardo, Elida, Isidoro Raimundo e Teodora e a vó Wali Gomes.

Ao meu orientador Jaime Antonio de Almeida, grande ser humano, dotado de um nível de raciocínio extraordinário. Na mesma pessoa, gostaria de agradecer ao amigo/irmão JAHimão, um amigo de aventuras, desde pescarias até capotamento de barco e ao nosso amigo e fiel escudeiro, Vardão, sempre presente nessas aventuras. Os levarei sempre no coração, meus amigos!

Ao meu coorientador Luciano da Silva Souza, que me acompanha desde a graduação e sempre me ajudou nas mais difíceis decisões da vida, obrigado pelos conselhos e pela atenção de sempre. Tenho que diferenciá-lo também como um grande irmão do coração. Parar pra ouvir Caetano, Gil, músicas de capoeira e sambas tradicionais da Bahia com uma boa cerveja depois de coletas de solos e viagens... quantas maravilhas vividas. Viva nossa Bahia!!

Ao irmão Devisson Peixoto, pela amizade de sempre e pelas ajudas inesperadas. Que honra poder contar com sua ajuda, em plenas férias, para realizar a coleta dos solos que foram estudados nesse trabalho.

Agradeço aos irmãos João Neto, João Victor, Victor Moraes e Luci Tomazzeli, Matheus Rocha, Guilherme Delgado (Guizzo), Paulo Vitor e Tales Maltez, Clemente Junior, Julio Chau, Felipe Sampaio, Kayrus Emanuel, Carla Salles, Patricia Fernandes, Carlinhos (Seu Leu), Caio, Fernando Dórea e Carlos Tham-es... Uma vida toda juntos, não tem distância que separe!!

Aos meus irmãos de fé, Rovier Verdi, Fernanda Cantoni, Gustavo Marx, Leonardo Faedo, Gabriel da Rosa... Haux Haux! Ainda bem que encontrei vocês nessa caminhada. Obrigado pelas filosofias esotéricas e reflexões postas nas nossa mesas de conversa. Vamos nessa, que é a nossa vez!!

Ao grupo Rosa Cristalina, que me deu muitos irmãos. Agradeço nas pessoas de Marcos Reis, Denilde Reis e Angela Perez.

Lucas (Parão) e Guilherme (Gui) Parisotto, Juliano Muniz (Pode Crê) e Eduardo Borges (Xixofe), pela presença em minha vida. Meus irmãos, vocês são especiais! Nessa mesma turma, agradeço a Allan Faedo (Faedinho), Eduardo Pelutto (Dudu), Jean Sampietro e Marcelo Bonnaza! Meus sinceros agradecimentos a toda a turma da República Velho Oeste.

A minha capoeira sagrada, a todos os amigos de treino em especial a Jefferson Souza (Tio Baia).

Agradeço aos professores Álvaro e Suelly Mafra, Jackson Albuquerque, Bertol, Leticia Sequinatto, Mari Campos, Dennis Goss (UDESC) e Marcia R. Calegari (UNIOESTE).

Ao laboratório de análises químicas, agradeço na pessoa de Ederson Rodrigues.

Aos colegas e amigos de todos os laboratórios da UDESC, em especial ao pessoal do Laboratório de Gênese, Morfologia e Classificação de Solos.

Agradeço a cada amigo que me foi permitido conhecer em Lages-SC. Em especial Vini Pelizzaro, Lê Peruzo e Caio Zimmermam.

A Gregory Kruker, pela dedicação de aproximadamente um ano na realização desse trabalho.

A Melissa Pierdoná, nossa querida secretária de pós graduação.

A todas os pretos que deram suas vidas na luta por igualdade e dignidade, me esforço para honrar diariamente os seus sacrifícios.

A todos vocês e a todas as pessoas que passaram pela minha vida durante essa longa jornada, agradeço e honro todos os ensinamentos com respeito, amor e justiça!

“A crítica quando despojada dos seus elementos negativos, se torna a mais alta tribuna do aperfeiçoamento.” José Henrique de Souza (JHS)

SILVA, Fagner Taiano dos Santos. **Gênese do caráter coeso em solos desenvolvidos nos Tabuleiros Costeiros da Bahia**. 2020. 166p. Tese de doutorado em Ciência do Solo. Área: Gênese, morfologia e classificação de solos. Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages-SC, 2020.

Resumo: A presença de horizontes com caráter coeso é observada nos solos dos Tabuleiros Costeiros do Grupo Barreiras, ocorrendo predominantemente na transição entre os horizontes A e B, bem como no topo do horizonte B e a coesão se manifesta quando o solo está seco, limitando o uso agrícola de áreas que são de grande importância socioeconômica. O objetivo desse trabalho foi verificar a participação de atributos físicos, químicos, mineralógicos, Fe, Al e Si na gênese dos horizontes coesos de seis solos do estado da Bahia. Objetivou-se também verificar a distribuição de frações de silício e caracterizar a assembleia fitolítica. Para a realização desse estudo, foram coletadas amostras em quatro perfis de solos localizados no município de Inhambupe, no Litoral Norte da Bahia e dois no Recôncavo Sul da Bahia, no município de Cruz das Almas. Os horizontes de cada perfil de solo, foram descritos e separados quanto às características morfológicas. Realizou-se a caracterização física, química, mineralógica e a extração de Fe e Al por ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) e Oxalato de amônio (Ox). O Si foi extraído por DCB, Ox e hidróxido de sódio (NaOH) e foi realizada a extração sequencial de sílica. Posteriormente foi feita a separação de fitólitos e materiais silicosos por densidade. Os resultados desse trabalho mostraram que os atributos físicos, químicos e mineralógicos não apresentaram correlação com a gênese dos horizontes coesos. Os teores de Fe e Al extraídos por DCB e oxalato de amônio não mostraram tendência expressiva de acumulação nos horizontes coesos evidenciando que esses elementos não possuem correlação com a gênese desses horizontes. A sílica amorfa minerogênica, a sílica amorfa biogênica e a sílica oclusa em óxidos/hidróxidos apresentaram acumulação nos horizontes coesos, indicando que as causas da coesão estão relacionadas com a presença dessas formas de sílica no solo, destacando a importância da sílica como agente condicionador desses horizontes. A distribuição dos diferentes compartimentos de sílica nos Latossolos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros estudados, mostrou que a manifestação do caráter coeso é consequência da acumulação de sílica oclusa em óxidos e hidróxidos e da sílica amorfa biogênica nos horizontes coesos, possibilitando a manifestação da coesão durante o período seco. A sílica biogênica tem origem da tofonomização de fitólitos e demais corpos silicosos, causada pelo processo de dissolução da estrutura dos mesmos. Os solos dos Tabuleiros Costeiros estudados, apresentaram poucos fitólitos ao longo do perfil com maior concentração dessas estruturas preservadas nos horizontes coesos.

Palavras-chave: Compartimentos de sílica, sílica biogênica, compostos amorfos.

SILVA, Fagner Taiano dos Santos. **Genesis of the cohesive character in soils developed in the Coastal Tablelands of Bahia. 2020. 111p.** PhD Thesis in Soil Science. Area: Genesis, morphology and soil classification. Santa Catarina State University – Agroveterinary Sciences Center, Lages- SC, 2020.

Abstract: The presence of cohesive horizons is observed in the soils of the Coastal Tabuleiros of the Barreiras Group, occurring predominantly in the transition between horizons A and B, as well as at the top of horizon B and cohesion manifests when the soil is dry, limiting the use areas that are of great socioeconomic importance. The objective of this work was to verify the participation of physical, chemical, mineralogical attributes, Fe, Al and Si in the genesis of the cohesive horizons of six soils in the state of Bahia. The objective was also to verify the distribution of silicon fractions and to characterize the phytolytic assembly. In order to carry out this study, samples were collected from four soil profiles located in the municipality of Inhambupe, on the North Coast of Bahia and two in the Recôncavo Sul da Bahia, in the municipality of Cruz das Almas. The horizons of each soil profile were described and separated in terms of morphological characteristics. Physical, chemical, mineralogical characterization and the extraction of Fe and Al by dithionite-citrate-bicarbonate (DCB) and ammonium oxalate (Ox) were carried out. Si was extracted by DCB, Ox and sodium hydroxide (NaOH) and sequential silica extraction was performed. Subsequently, phytoliths and siliceous materials were separated by density. The results of this work showed that the physical, chemical and mineralogical attributes did not correlate with the genesis of cohesive horizons. The levels of Fe and Al extracted by DCB and ammonium oxalate did not show an expressive tendency of accumulation in the cohesive horizons, showing that these elements have no correlation with the genesis of these horizons. Minorogenic amorphous silica, biogenic amorphous silica and silica occluded in oxides / hydroxides showed accumulation in the cohesive horizons, indicating that the causes of cohesion are related to the presence of these forms of silica in the soil, highlighting the importance of silica as a conditioning agent of these horizons. The distribution of the different silica compartments in the Latosols and Argisols of the Coastal Tablets studied, showed that the manifestation of the cohesive character is a consequence of the accumulation of silica occluded in oxides and hydroxides and of the biogenic amorphous silica in the cohesive horizons, enabling the manifestation of cohesion during the dry season. Biogenic silica originates from the tofonomização of phytolith and other silica bodies, caused by dissolution of the same structure process. The soils of the Coastal Tabuleiros studied, presented few phytoliths along the profile with a higher concentration of these structures preserved in cohesive horizons.

Keywords: Silica compartments, biogenic silica, amorphous compounds.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1: GÊNESE DA COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS NO ESTADO DA BAHIA

- Figura 1. Mapa de localização dos perfis de solos estudados nos municípios de Inhambupe e Cruz das Almas-Ba 67
- Figura 2. Difrátogramas da fração argila orientada de amostras saturadas com magnésio (Mg) à temperatura ambiente de solos com horizontes coesos do Estado da Bahia. Leitura em Angstrom (Å)..... 75
- Figura 3. Ferro extraído com oxalato de amônio (Fe DCB) e ferro extraído com ditionito- citrato-bicarbonato (Fe DCB). Alumínio extraído com oxalato de amônio (Al DCB) e alumínio extraído com ditionito- citrato-bicarbonato (Al DCB). 78
- Figura 4. Silício extraído com oxalato de amônio (Si Oxalato); hidróxido de sódio (Si NaOH); e ditionito- citrato-bicarbonato de sódio (Si DCB) 81
- Figura 5. db-RDA com seleção direta de variáveis explicativas geradas a partir de matrizes de distâncias Euclidianas, com 499 permutações de Monte-Carlo e corrigidas pelo FDR..... 82

CAPÍTULO 2: SÍLICA EM SOLOS DE TABULEIROS COSTEIROS DO ESTADO DA BAHIA E SUA RELAÇÃO COM A GÊNESE DOS HORIZONTES COESOS

- Figura 1. Mapa de localização dos perfis de solos estudados nos municípios de Inhambupe e Cruz das Almas-Ba 97
- Figura 2. Extração sequencial de sílica de solos com caráter coeso desenvolvidos no Estado da Bahia..... 103
- Figura 3. db-RDA com seleção direta de variáveis explicativas geradas a partir de matrizes de distâncias Euclidianas, com 499 permutações de Monte-Carlo e corrigidas pelo FDR..... 117

CAPÍTULO 3: ASSEMBLEIA FITOLÍTICA PRESERVADA EM SOLOS COM HORIZONTES COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS DERIVADOS DE SEDIMENTOS TERCIÁRIOS DO GRUPO BARREIRAS

- Figura 1. Mapa de localização dos perfis de solos estudados nos municípios de Inhambupe e Cruz das Almas-Ba 120

Figura 2. Ampliação de fotomicrografias de fitólitos encontrados em horizontes com caráter coeso nos solos desenvolvidos no Estado da Bahia.....	127
Figura 3. Fotomicrografias de fitólitos e corpos silicosos dos horizontes dos perfis de solos estudados	130

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1: GÊNESE DA COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS NO ESTADO DA BAHIA

Tabela 1. Atributos físicos dos solos coesos no Estado da Bahia..... 71

Tabela 2. Caracterização química dos perfis de solos coesos no Estado da Bahia..... 74

CAPÍTULO 2: SÍLICA EM SOLOS DE TABULEIROS COSTEIROS DO ESTADO DA BAHIA E SUA RELAÇÃO COM A GÊNESE DOS HORIZONTES COESOS

Tabela 1. Atributos morfológicos dos solos coesos do estado da Bahia..... 101

CAPÍTULO 3: ASSEMBLEIA FITOLÍTICA PRESERVADA EM SOLOS COM HORIZONTES COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS DERIVADOS DE SEDIMENTOS TERCIÁRIOS DO GRUPO BARREIRAS

Tabela 1. Ocorrência de Morfotipos de fitólitos e presença de espículas de espojas e diatomáceas nos horizontes dos perfis de solos estudados do Estado da Bahia..... 123

Tabela 2. Atributos texturais dos solos coesos do estado da Bahia..... 125

LISTA DE ABREVIATURAS

Å	Angstrom
AF	Areia Fina
AG	Areia Grossa
AM	Areia Média
AMF	Areia Muito Fina
AMG	Areis Muito Grossa
ARG	Argila
Bls	Blocos
cm	Centímetros
Cmol dm ⁻³	Centimol por decímetro cúbico
D	Duro
DCB	Ditionito Citrato Bicarbonato
dm ³	Decímetro Cúbico
Dp	Densidade de partícula
Ds	Densidade do solo
Fr	Friável
g cm ⁻³	Gramas por centímetro cúbico
g kg ⁻¹	Gramas por quilo
Gr	Grande
km	Quilometro
Horz	Horizonte
m	metro
Ma	Maciça
m%	Saturação por alumínio
mg.dm ⁻³	Miligramas por decímetro cúbico
MP	Macroporosidade
mP	Microporosidade
MD	Muito Duro
NaOH	Hidróxido de sódio
Ox	Oxalato de amônio
Pc	Plana e clara
Pd	Plana e difusa
Pe	Pegajoso
Pg	Plana e gradual
Pl	Plástico
SB	Soma de bases
Si ad	Sílica adsorvida
Si b	Sílica biogênica
SIL	Silte
Si m	Sílica móvel
Si min	Sílica minerogenica
Si MO	Sílica da matéria orgânica
Si oc	Sílica oclusa em óxidos e hidróxidos
V%	Saturação por alumínio

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	31
HIPÓTESES	35
OBJETIVOS	37
OBJETIVO GERAL.....	37
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	37
REVISÃO DE LITERATURA	39
GRUPO BARREIRAS	39
TABULEIROS COSTEIROS.....	40
UTILIZAÇÃO ECONOMICA DE SOLOS COM CARÁTER COESO DOS TABULEIROS COSTEIROS	42
HORIZONTES COM CARÁTER COESO	42
IDENTIFICAÇÃO DE HORIZONTES COM CARÁTER COESO	45
GÊNESE DE HORIZONTES COM CARÁTER COESO.....	47
SILÍCIO EM HORIZONTES COM CARÁTER COESO DOS SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
CAPÍTULO 1: GÊNESE DA COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS NO ESTADO DA BAHIA.....	60
1.1.RESUMO-.....	60
1.2.ABSTRACT-	62
1.3.INTRODUÇÃO	64
1.4.MATERIAL E MÉTODOS	66
1.5.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
1.6.CONCLUSÕES	84
1.7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
CAPÍTULO 2: SÍLICA EM SOLOS DE TABULEIROS COSTEIROS DO ESTADO DA BAHIA E SUA RELAÇÃO COM A GÊNESE DOS HORIZONTES COESOS.....	91
2.1.RESUMO.....	91
2.2.ABSTRACT.....	93
2.3.INTRODUÇÃO	95
2.4.MATERIAL E MÉTODOS	96
2.5.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	99
2.6.CONCLUSÕES	08
2.7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109

CAPÍTULO 3: ASSEMBLEIA FITOLÍTICA PRESERVADA EM SOLOS COM HORIZONTES COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS DERIVADOS DE SEDIMENTOS TERCIÁRIOS DO GRUPO BARREIRAS.....	114
3.1.RESUMO.....	114
3.2.ABSTRACT.....	116
3.3.INTRODUÇÃO.....	118
3.4.MATERIAL E MÉTODOS.....	119
3.5.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	122
3.6.CONCLUSÕES.....	132
3.7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	133
CONCLUSÕES GERAIS.....	136
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	138
ANEXOS.....	140
DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DOS SOLOS ESTUDADOS.....	149
RESUMO ESTATÍSTICO.....	164

INTRODUÇÃO GERAL

Os solos coesos dos Tabuleiros Costeiros apresentam ampla distribuição geográfica no Brasil, ocupando desde o estado do Amapá até o Rio de Janeiro e configurando toda a faixa costeira (JACOMINE, 1996). A presença do caráter coeso é comumente observada em Latossolos e Argissolos e ocorre em geral, na transição entre os horizontes A e B, podendo ocupar boa parte desse último. É caracterizado por um estado de coesão manifestado quando o solo está seco, que desaparece ou torna-se bem menos expressivo quando o solo está úmido (PAIVA et al., 2000; EMBRAPA, 2006; SOUZA et al., 2008).

Devido a essas características, os solos com horizontes coesos limitam o uso agrícola de áreas que são de grande importância socioeconômica, principalmente as que estão situadas nas proximidades dos grandes centros urbanos, onde há maior escoamento e distribuição das produções (GIAROLA et al., 2009; LIMA NETO et al., 2009). Nas áreas deprimidas das paisagens dos Tabuleiros Costeiros, ocorrem duas outras feições morfológicas com camadas endurecidas que podem ser facilmente confundidas com os horizontes coesos: o fragipã e o duripã (EMBRAPA, 1999), este último atualmente reconhecido como caráter dúrico (SANTOS et al., 2018).

A principal diferença entre fragipã, caráter dúrico e horizonte coeso está no grau de coesão, avaliado pela dureza e capacidade de fragmentação do material quando imerso em água e na profundidade em que os mesmos ocorrem. No fragipã, o fragmento seco torna-se menos resistente quando imerso em água, podendo desenvolver fraturas, com ou sem desprendimento de pedaços, e se esboroa em curto espaço de tempo. No caráter dúrico, a cimentação é suficientemente forte, de modo que fragmentos úmidos não se esboroam, mesmo durante prolongado período de umedecimento e nos horizontes coesos o endurecimento manifesta-se quando o solo está seco, desaparecendo ou atenuando-se quando o solo está úmido (MOREAU et al., 2006).

Os horizontes coesos possuem plasticidade e ocorrem, geralmente numa faixa de profundidade que varia de 0,30 a 0,70 m, com limitações mais graves em solos mais argilosos, impondo dificuldades ao crescimento das raízes, a emergência das plântulas, a movimentação da água e do ar e facilitando o surgimento de uma zona saturada, que limita a respiração radicular e reduz a produtividade das culturas (RIBEIRO, 2001).

O fragipã e o caráter dúrico, ocorrem em profundidades superiores a 0,80 m e ambos não possuem plasticidade. Solos com presença de fragipã, pelo fato de estarem quase sempre úmidos não impedem totalmente a penetração de raízes e funcionam como um reservatório de

água por consequência da permeabilidade mais lenta que os horizontes subjacentes. Essas características hídricas favorecem uma boa produção agrícola, podendo-se destacar a fruticultura, que é mais difundida no estado de Sergipe (SOUZA, SOUZA & CALDAS, 2001). O caráter dúrico juntamente com o relevo plano em que ocorrem, favorecem a formação de abaciamentos e podem apresentar lençol freático suspenso, o que resulta em restrições na produção agrícola por excesso de água no inverno e por carência de água no período seco (RIBEIRO, 2001; SOUZA, SOUZA & CALDAS, 2001).

A grande extensão que ocupa e sua importância para a produção agrônômica, faz com que muitos esforços de pesquisa sejam direcionados para elucidar a gênese da coesão nos horizontes subsuperficiais dos solos dos Tabuleiros Costeiros. Sabe-se que a gênese desses horizontes tem origem pedogenética, o que foi confirmado por trabalhos realizados por Araújo Filho, Carvalho & Silva (2001), Ribeiro (2001) e por Lima Neto et al. (2009).

Vários processos podem estar relacionados à gênese dos horizontes coesos, segundo a literatura. Os processos de dispersão e eluviação/iluviação de argila ocasionados pela translocação e deposição da mesma, foram apontados como responsáveis pela gênese dos horizontes coesos em solos dos Tabuleiros Costeiros por Lima Neto et al. (2010). Contudo, Ribeiro (1991; 1998; 2001), já havia verificado em suas pesquisas que em raros casos, ocorrem cutãs de iluviação nesses solos e quando ocorrem geralmente localizam-se no topo do horizonte coeso, onde o material mineral está associado à matéria orgânica e aos poros. Com base nisso, o autor concluiu que o processo de argiluviação não explicaria a gênese dos horizontes coesos, já que grande parte da argila nos horizontes superficiais, geralmente são eliminados dos solos por elutriação, proporcionando a formação de gradientes texturais.

O processo de ferrólise, que atua na destruição de argilas durante os processos de oxidação e redução do ferro nos horizontes coesos mais adensados, junto com a presença de agentes cimentantes como o silício e o alumínio (SILVA, 2000), também tem sido apontados como tendo importância significativa na gênese dos horizontes coesos. Viera et al. (2012), estudando a gênese dos horizontes coesos em solos do Estado do Ceará, verificou que os acréscimos de material de baixa cristalinidade ou amorfo nos horizontes com caráter coeso evidenciam que esses compostos contribuem conjuntamente na gênese desses horizontes, concordando com estudos de Meirelles & Ribeiro (1995) que constataram uma estreita relação entre a coesão e a presença de sílica, alumínio e ferro, analisados por fluorescência de raio-X. Sobre a participação da sílica na gênese de horizontes coesos, esses autores utilizaram microscopia eletrônica de varredura e observaram a presença de sílica amorfa depositada nos horizontes coesos dos perfis de solos estudados. Segundo estes, os horizontes coesos mostraram

tendência à agregação dos fragmentos amorfos de sílica em relação ao horizonte superficial e ao horizonte abaixo do horizonte coeso.

No entanto, em relação à efetiva participação de compostos amorfos ou de baixa cristalinidade na gênese de horizontes coesos, Moreau et al. (2006) estudando a gênese de solos argilosos com horizontes coesos no Estado da Bahia, através de extrações de Si e Al com ditionito-citrato-bicarbonato e oxalato ácido de amônio, não constataram tendência de acumulação desses elementos, concluindo que a formação desses horizontes não estaria relacionada à presença de compostos amorfos. Resultados semelhantes foram encontrados por Corrêa et al. (2015) em estudo de solos coesos do extremo sul da Bahia e norte do Espírito Santo, utilizando sucessivas extrações com DCB e uma única extração com Oxalato de amônio para a determinação de Fe, Si e Al.

Ribeiro (1998), sugeriu que a gênese de horizontes com caráter coeso pode estar relacionada à ação simultânea de muitos dos processos citados na literatura, sendo que a intensidade com que as camadas coesas foram formadas estão relacionadas às variações climáticas e morfopedológicas, existentes nas diferentes unidades geoambientais que compõem os Tabuleiros Costeiros.

Ao estudar a literatura relacionada com a gênese dos horizontes coesos, verifica-se que os processos apontados na tentativa de elucidação da gênese desses horizontes são pouco conclusivos e quando comparados a outros trabalhos com objetivos similares, são frequentemente contraditórios, o que torna pertinente a continuidade de ações de pesquisa, sobretudo no que se refere a utilização de novas combinações de técnicas de investigação. Visto isso, o objetivo desse trabalho foi averiguar quais os atributos dos solos dos Tabuleiros Costeiros com horizontes coesos, derivados de sedimentos terciários do Grupo Barreiras, que poderiam estar relacionados com a gênese da coesão nos seus horizontes subsuperficiais.

HIPÓTESES

Os horizontes com caráter coeso possuem acúmulo de sílica que funciona como agente condicionador da coesão, passando no período seco pelo processo de polimerização e precipitação e, no período úmido, a despolimerização contribui para a condição de friabilidade do solo, causando variação na resistência a penetração em diferentes níveis de umidade do solo e diferentes concentrações de material silicoso.

A sílica acumulada no horizonte B, é proveniente de corpos silicosos tafonomizados (dissolvidos e quebrados) por ação dos agentes de intemperismo, principalmente fitólitos de plantas xerofíticas, que fizeram parte da paisagem dos Tabuleiros Costeiros no período Terciário.

Os fitólitos presentes nos horizontes dos perfis de solos dos Tabuleiros Costeiros apresentam alto grau de tafonomização por consequência dos atributos dos solos e pelas condições climáticas que favorecem a dissolução dessas estruturas, comprometendo sua conservação para possíveis estudos de reconstituição paleoambiental baseados em microfósseis e microrrestos botânicos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Identificar a influência de atributos do solo e de compostos de silício, ferro e alumínio na pedogênese de solos com caráter coeso, em duas paisagens do Grupo Barreiras nos Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1- Verificar quais atributos morfológicos, físicos, químicos, mineralógicos apresentam influência no adensamento do solo.
- 2- Avaliar a participação de formas de compostos de sílica, ferro e alumínio na coesão de solos dos Tabuleiros Costeiros;
- 3- Estudar a dinâmica de distribuição de diferentes frações de silício em solos com horizontes coesos dos Tabuleiros Costeiros e identificar as possíveis frações envolvidas na gênese desses horizontes.
- 4- Avaliar as condições de preservação de microrrestos de plantas, formados principalmente por sílica amorfa e sua relação com o aporte de sílica biogênica no solo, bem como sua importância para a ciclagem do silício no solo.

REVISÃO DE LITERATURA

GRUPO BARREIRAS

O Grupo Barreiras aflora desde o Estado do Rio de Janeiro até o Amapá e é a unidade geológica de ocorrência mais expressiva da costa brasileira, com faixa de largura variável, constituindo-se de um pacote de sedimentos continentais pouco consolidados que variam de argilas a sedimentos conglomeráticos (SUGUIO & NOGUEIRA, 1999). A deposição dos sedimentos do Grupo Barreiras iniciou no período Terciário e terminou durante o Pleistoceno, no período Quaternário, com o nível relativo do mar abaixo do atual, marcado por mudanças de um clima árido ou semiárido para um clima quente e úmido. Tal condição propiciou a formação de uma vegetação mais densa e alterações pedogenéticas e geoquímicas que favoreceram a formação de argilas caulinitas e a lixiviação de bases e silício (RODRIGUES, 2007; SUGUIO et al., 1985).

De acordo com Suguio et al. (1982), a dissecação do relevo em forma de tabuleiros é consequência do clima seco, caracterizado por chuvas torrenciais concentradas, o que permitiu a escavação dos vales e forneceu material para a sedimentação da planície costeira. A formação dessa paisagem, é consequência também de soerguimento epirogênico, que corresponde a movimentos tectônicos verticais internos que proporcionam a elevação da plataforma continental sem a presença de dobras ou falhas geológicas durante o período Terciário e Quaternário.

A epirogênese, por não apresentar dobras e falhas tectônicas, não causa terremotos ou movimentos vulcânicos e abrange dimensões continentais, ocorrendo geralmente em paisagens estáveis e de formação geológica antiga (BIGARELA, 1975; COSTA et al., 1993). Nas regiões Sudeste e Nordeste, essa fase foi marcada por um avanço do nível do mar sobre áreas litorâneas que erodiu a parte externa do pacote sedimentar, construindo falésias que podem hoje ser encontradas em alguns locais do litoral nordestino próximos à linha da costa. A deposição dos sedimentos do Grupo Barreiras, representa a evolução de um sistema fluvial desenvolvido em fortes gradientes, que pode ser observado pela presença de linhas de seixos rolados presente nos horizontes subsuperficiais (DUARTE et al., 2000).

As extensas áreas aplainadas, consequência da geomorfologia característica do Grupo Barreiras, são chamadas de Tabuleiros Costeiros, que são constituídos predominantemente por sedimentos muito intemperizados que podem ser argilosos, argilo-arenosos ou arenosos, caracterizados pela presença de caulinita e pela pobreza de ferro (OLIVEIRA, et al., 1992).

Após passar por ações de intemperismo, erosão, transporte e deposição, observa-se que a mineralogia do Grupo Barreiras não é complexa. A fração grossa dos sedimentos é predominantemente constituída por quartzo, podendo ocorrer a presença de concreções ferruginosas, enquanto, na fração argila, a caulinita é dominante (DUARTE et al., 2000; MELO et al., 2002).

A granulometria dos solos derivados do Grupo Barreiras é heterogênea, devido principalmente a grande variação dos ambientes de deposição dos sedimentos que os originaram. Essa heterogeneidade granulométrica permite que ao longo da sua extensão pela região litorânea do Brasil, sejam encontrados solos que variam de textura argilosa a arenosa, apresentando em sua morfologia o caráter coeso em horizontes subsuperficiais (BIGARELLA, 1975; LIMA et al. 2004. Esses solos geralmente apresentam perfis latossólicos ou argissólicos, caracterizados por processos intensos de intemperismo, o que resulta em baixa saturação por bases e elevada saturação por alumínio, podendo ter severas deficiências de micronutrientes, principalmente cobre e zinco (DEMATTÊ et al., 1996).

O Grupo Barreiras possui um conteúdo pobre de fósforo, essa característica dificulta a datação exata dos seus sedimentos, o que resulta em muita controvérsia científica a respeito desse assunto, no entanto, de forma geral, o Grupo Barreiras pode ser considerado de idade Terciária-Quaternária (ARAI, 2006).

TABULEIROS COSTEIROS

O termo “Tabuleiros Costeiros”, define uma paisagem com topografia plana a suavemente ondulada, com ausência de vales profundos ou encostas com fortes declividades, compostas por superfícies em forma de mesa com altitude que varia em geral de 10 a 220 m em relação ao nível do mar. Ocupam uma zona úmida costeira (Am), uma zona semiárida (Bsh) e uma parte sempre úmida (Af) das regiões Norte, Nordeste e Sudeste, sob clima de estações secas e úmidas bem definidas (JACOMINE, 2001). Os solos desenvolvidos nessa região, foram derivados dos sedimentos do Grupo Barreiras e suas variações ocorridas pela deposição dos sedimentos nos mais diversos ambientes. São solos constituídos principalmente por material caulinitico e quartzoso, que são resultado de intensos processos de intemperismo, com significativas alterações pelo qual passaram os sedimentos (UFV, 1984).

Os Tabuleiros Costeiros ocupam uma área significativa dos nove estados da região Nordeste, constituindo uma das 20 unidades de paisagens dessa região com localização próxima a grandes centros urbanos (NUNES et al. 2011). Em grande parte do Estado da Bahia,

predominam três unidades geológicas distintas, a saber: 1) rochas metamórficas Pré-Cambrianas do Complexo Granulítico; 2) rocha sedimentares Neo-Terciárias da Formação Capim Grosso e Tércio-Quaternárias; e 3) sedimentos aluvionares ou aluvio-coluvionares e detríticos Quaternários (Grupo Barreiras) (RIBEIRO, 1998).

Os Latossolos Amarelos, Argissolos Amarelos, Argissolos Acinzentados e os Neossolos Quartzarênicos são os solos de maior ocorrência nos Tabuleiros Costeiros, em menor proporção ocorrem os Argissolos Vermelho-Amarelo, Latossolos Vermelho-Amarelo, Plintossolos argilúvicos e Espodossolos Ferri-humilúvicos, e são caracterizados por serem profundos, geralmente ácidos, com elevada saturação por alumínio, baixa capacidade de troca de cátions, e pela presença de horizontes subsuperficiais coesos (JACOMINE, 1996; REZENDE, 2000; LIMA et al., 2004).

Segundo Cintra e Libardi (1998), os Tabuleiros Costeiros são de grande importância para o desenvolvimento econômico e social da região Nordeste, principalmente por estarem situados próximos a grandes centros urbanos e pela amplitude de exploração agrícola, além de oferecer infra-estrutura de transporte rodoviário e de terminais marítimos para escoamento da produção e por abrigar grande parte da mata atlântica ainda existente no País.

As vegetações de ocorrência natural nos Tabuleiros Costeiros são classificadas, de acordo com Veloso et al. (1991), como se segue: Floresta Ombrófila Densa (Floresta Pluvial Tropical); Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Tropical Subcaducifólia); Floresta Estacional Decidual (Floresta Tropical Caducifólia); Savana (Cerrado); Savana Estépica (Caatinga); Formações Pioneiras e Vegetação de Transição (Tensão Ecológica).

Anjos et al. (1995), salientam que os solos dos Tabuleiros Costeiros apresentam características favoráveis a produção agrícola, no entanto, o manejo inadequado dos solos desses ambientes traz como consequência uma drástica diminuição na sua produtividade. Segundo Cintra e Libardi (1998) a exploração dessas áreas acontece desde o processo de colonização e iniciou com o extrativismo que aliado com a agropecuária, levou à degradação de grande parte dos recursos naturais existentes, sobretudo a cobertura vegetal.

A potencialidade agrícola dos Tabuleiros Costeiros é consequência, principalmente, da topografia plana e da precipitação pluviométrica favorável, o que permite contribuir com grande parte do PIB gerado pelas culturas temporárias e permanentes cultivadas na região (CINTRA, LIBARDI & SAAD, 2000). As limitações agrícolas desses ecossistemas estão relacionadas com a resistência mecânica ao preparo do solo, baixa fertilidade natural, baixa capacidade de troca

de cátions, baixa saturação por bases e baixa capacidade de retenção de água e de nutrientes (GOMES & LEAL, 2003).

Os Tabuleiros Costeiros apresentam em seus solos a presença de horizontes subsuperficiais com o caráter coeso, que representam uma importante limitação agrícola por apresentarem elevada resistência à penetração do solo quando seco e afetarem o desenvolvimento radicular das plantas, a quantidade de água disponível, a aeração e a absorção de nutrientes e constituir um inibidor físico (REZENDE, 2000).

UTILIZAÇÃO ECONOMICA DE SOLOS COM CARÁTER COESO DOS TABULEIROS COSTEIROS

Nos Tabuleiros Costeiros, assim como na baixada litorânea, estão localizadas algumas das áreas de maior antropização do Nordeste, conseqüentemente as mais densamente povoadas, bem como as áreas de uso agrícola mais intensificado. Para os estados do Nordeste, os Tabuleiros Costeiros apresentam grande importância socioeconômica, principalmente pelo grande potencial de produção de alimentos aliados a um mercado potencial de demanda por produtos agrícolas (SILVA JÚNIOR, 2003).

As atividades econômicas relacionadas com a produção agrícola têm sido dificultadas devido a presença de impedimentos relacionados ao caráter coeso apresentado pelos solos dessa região (CINTRA & LIBARDI, 1998). As culturas alimentares correspondem a uma importante base para a agricultura familiar nos Tabuleiros Costeiros e apesar das grandes dificuldades que essa forma produtiva enfrenta, a presença de pequenas unidades de produção nessas áreas é uma constante.

De forma geral, as pequenas propriedades dedicam-se aos cultivos de mandioca, feijão, milho, frutíferas e a pecuária (SILVA et al., 1992). As grandes propriedades, que permanecem com a mesma estrutura do sistema colonial, apesar de reduzidas numericamente, ocupam grandes extensões e são cultivadas principalmente com monoculturas de cana de açúcar, cacau, coco, citros, grãos, pastagens, essências florestais exóticas, florestamentos e pecuária (CINTRA, LIBARDI & SAAD, 2000).

HORIZONTES COM CARÁTER COESO

Os horizontes coesos são objeto de investigação científica desde 1950, quando ocorreu a sua primeira identificação, durante o levantamento exploratório de solos do Estado do Rio de Janeiro (EMBRAPA, 1978). A primeira definição ocorreu inicialmente em 1970 em um

levantamento exploratório de solos do Estado do Espírito Santo, que discorre sobre os mesmos como sendo horizontes minerais subsuperficiais de solos que apresentam consistência no mínimo dura, quando secos, e friável a firme, quando úmidos (BARROS et al., 1958; LIMA NETO et al., 2009).

Jacomine (2001), define horizontes coesos como horizontes minerais subsuperficiais do solo que apresentam aumento da coesão entre as suas partículas, tornando-se duro, muito duro ou extremamente duro quando seco e friável quando úmido. Utilizando dessa definição e contribuições de Ribeiro (2001) e Santos et al. (2015), o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS, 2018) definiu o caráter coeso como: horizontes pedogenéticos subsuperficiais adensados, muito resistentes à penetração de faca ou martelo pedológico e que são muito duros a extremamente duros quando secos, passando a friáveis ou firmes quando úmidos.

Ainda segundo a definição do SBCS (2018), uma amostra úmida de horizontes com caráter coeso, quando submetida à compressão deforma-se lentamente, ao contrário do fragipã, que apresenta quebradicidade. Esses horizontes são de 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. O caráter coeso é comumente observado nos horizontes transicionais AB e/ou BA entre 30 cm e 70 cm a partir da superfície do solo, podendo prolongar-se até o Bw ou coincidir com o Bt, no todo ou em parte. Uma amostra de horizonte com caráter coeso, quando seca, desmancha-se ao ser imersa em água.

A presença de horizontes coesos diminui a produção agrícola através de efeitos como a elevada resistência à penetração radicular, diminuição na aeração e drenagem do solo e na disponibilidade de água e nutrientes, presença de microrganismos e como um inibidor físico ao crescimento de plantas (JACOMINE, 2001; LIMA, 2004).

A área ocupada por esses solos se estende por toda a faixa costeira do Brasil, desde o estado do Amapá até o Rio de Janeiro, penetram na Amazônia e constituem-se numa das maiores expressões de sedimentos terciários continentais do mundo. A topografia desses ambientes varia de plana a suave ondulada, formando tabuleiros que raramente excedem 3% de declividade, com predomínio de Neossolos Quartzarênicos, Latossolos e Argissolos ambos amarelos e distróficos. Ocorre também em Argissolos Acinzentados, Espodossolos e Plintossolos, porém em pequenas áreas (JACOMINI, 1996).

Os solos com horizontes coesos dos Tabuleiros Costeiros possuem baixa fertilidade química, são ácidos, com a presença de alumínio trocável e caráter álico, ou seja, saturação por alumínio geralmente igual ou maior do que 50% e com saturação por base menor do que 50%

(distróficos). Nesses solos, a CTC e a maior reserva de nitrogênio são garantidos pela presença de matéria orgânica, possuem também baixos valores de potássio e de fósforo (JACOMINE, 1996). Apresentam baixos teores de óxidos de ferro (menores do que 7%) e baixa capacidade de troca catiônica (CTC), o que confere a esse ambiente a suscetibilidade a perdas de partículas coloidais da parte superficial do solo para os horizontes subsuperficiais (JACOMINE, 2001), essa característica é agravada pela textura arenosa que aumenta o potencial para perda de íons de elevada mobilidade no solo (SALCEDO, 2001).

A profundidade em que os horizontes coesos aparecem no solo determinará a importância agrícola do mesmo, visto que, esse é um dos principais fatores que interferem no crescimento e desenvolvimento das plantas (REZENDE, 2000). Segundo Jacomine (2001), esses solos podem atingir boa produtividade para diversas culturas como verificado para eucalipto, citros, cana-de-açúcar, coco, mamão e outras. Para isso, precisam de práticas de manejo adequadas que considerem a integração de solo, clima e planta, os problemas da baixa fertilidade química, a presença de alumínio e tudo isso associado com as limitações impostas pela presença da coesão.

O caráter coeso foi identificado em solos de outras formações geológicas: Argissolos Vermelhos desenvolvidos de granito-gnaiss no sul da Bahia e norte do Espírito Santo (CORRÊA et al., 2008). No Rio Grande do Sul, Curcio et al. (2000) também identificaram forte coesão em Argissolo Vermelho-Amarelo de textura média/argilosa, desenvolvido de sedimentos alterados de migmatito. Os autores destacaram que as características mineralógicas da fração argila foram semelhantes aos solos coesos do Grupo Barreiras.

Em diferentes regiões da terra foram descritos solos com características similares aos coesos. Na Austrália os solos que se tornam duros o suficiente para dificultar e até inviabilizar o cultivo agrícola foram classificados como *hardsetting* (GIAROLA et al., 2001) e definido por Mullins (1997), como uma massa de solo quase homogênea ao secar, duro e quebradiço, e o horizonte do perfil de solo que apresenta esse comportamento é indeformável ao ser pressionado com o dedo indicador, não são permanentemente cimentados e apresentam consistência friável, quando úmidos, e se o solo foi suficientemente umedecido, se reverterá ao estado *hardset*, ao secar.

No entanto, Mullins (1999), destaca que os solos com horizontes *hardsettings* quando submetidos a um regime de saturação hídrica plena, esboroam-se subitamente e, quando secos, apresentam uma massa sem estrutura e endurecida, que se renova naturalmente mesmo depois de o solo ter sido preparado para o cultivo, destaca ainda que esse comportamento pode ser

intrínseco ou adquirido por consequência de uso e manejo. Essas características permitem diferenciá-lo dos solos com horizontes coesos.

Há registros de solos similares também no continente Africano, desenvolvidos a partir de sedimentos da formação Continental Terminal Africano, possivelmente por correspondência geológica das superfícies de extensão dos dois continentes (Sul-Americano e Africano) (RIBEIRO, 2007).

Nas áreas deprimidas das paisagens dos Tabuleiros Costeiros, ocorrem duas outras feições morfológicas com camadas endurecidas que podem ser facilmente confundidas com os solos coesos, o fragipã e o caráter dúrico. Os fragipãs apresentam à textura média e arenosa e raramente argilosa, é conceituado como um horizonte subsuperficial, com conteúdo baixo de matéria orgânica, aparentemente cimentado, com alta densidade do solo, consistência dura a muito dura, quando seco, e, quando molhado, apresenta-se quebradiço (EMBRAPA, 1999).

Segundo Moreau et al. (2006), a principal diferença entre fragipã, caráter dúrico e horizonte coeso está na consistência e no grau de cimentação, avaliado pela dureza e capacidade de fragmentação do material quando imerso em água. No fragipã, o fragmento seco torna-se menos resistente quando imerso em água, podendo desenvolver fraturas, com ou sem desprendimento de pedaços, e se esboroa em curto espaço de tempo.

No caráter dúrico, a cimentação é suficientemente forte, de modo que fragmentos úmidos não se esboroam, mesmo durante prolongado período de umedecimento. O endurecimento do horizonte coeso manifesta-se quando o solo está seco, desaparecendo ou atenuando-se quando úmido. Dessa forma, pode-se resumir que as amostras de horizontes coesos de perfis de solo no estado úmido torna-se plástico e deforma-se lentamente sob pressão. Já nos horizontes cimentados (fragipã e caráter dúrico) não deformam, mas se rompem subitamente sob pressão (RIBEIRO, 2001; SOUZA, SOUZA & CALDAS, 2001).

IDENTIFICAÇÃO DE HORIZONTES COM CARÁTER COESO

Um conjunto de características são comuns aos solos coesos e permitem a sua distinção dos demais, tais como, modificações na relação solo-planta e nas propriedades físicas, químicas, mineralógicas, micromorfológicas e morfológicas. Na planta, é possível observar o baixo índice de emergência de plântulas, crescimento desuniforme das plantas, crescimento deficiente do sistema radicular e coloração deficiente. Nos sistemas florestais, os horizontes coesos impedem que as raízes das árvores cresçam em profundidade por conta da elevada resistência a penetração dos mesmos, forçando que as raízes cresçam lateralmente e que as árvores fiquem com poucas

raízes profundas, que por sua vez, garantem a sustentação das mesmas e previnem tombamentos ocasionados principalmente por fatores climáticos como vento e chuva (CINTRA et al., 1997).

No solo, a descrição das características morfológicas, tais como, cor, textura, estrutura, consistência e porosidade podem ser indicativos da presença de camadas coesas (SILVA, 2000; GIAROLA & SILVA, 2001). Para a identificação da presença do caráter coeso com base em critérios seguros, é imprescindível a análise quantitativa de parâmetros que comprovem sua coesão.

Os atributos físicos podem designar a presença de horizontes adensados por consequência de modificações decorrentes de processos pedogenéticos e fornecer o conhecimento de importantes propriedades para a identificação desses, podendo-se destacar a resistência a penetração, porosidade e estrutura do solo. No que se refere aos atributos químicos, a baixa capacidade de troca de cátions (CTC), o baixo conteúdo de matéria orgânica e as baixas concentrações de cátions trocáveis são importantes indicações da presença do caráter coeso nos solos dos Tabuleiros Costeiros (LIMA NETO, 2010).

Os constituintes minerais do solo têm influência direta em diversas propriedades, entre elas as físicas e químicas, além de fornecer importantes informações a respeito dos processos envolvidos na formação de camadas adensadas. Em diferentes tipos de solos com caráter coeso foi verificada certa diversidade na constituição mineralógica, encontrando-se, além da caulinita quartzo e, menos frequentemente, os minerais interestratificados, consequência das variações do clima, relevo, geologia e drenagem em cada local (EMBRAPA, 1999).

A micromorfologia utiliza microscopia e ultramicroscopia para identificar os diferentes constituintes do solo e suas relações mútuas no espaço e quando possível, no tempo. Identifica argilas de iluviação, distribuição dos constituintes matriciais, tipo de porosidade, preenchimento de poros, presença de cimentantes como óxidos, argila e matéria orgânica, empacotamento das partículas e grãos da fração grossa, além de detalhar o conteúdo interno das pedofeições do solo, constituindo-se como fundamental no estudo da gênese dos processos de formação do solo (VIANA et al., 2004; SOUZA et al., 2006). Junto a necessidade do entendimento da gênese dos horizontes coesos em solos dos Tabuleiros Costeiros, vêm surgindo técnicas e sugestões de novos estudos e novas análises, principalmente no que diz respeito aos materiais silicosos (VIEIRA et al. 2012; CORRÊA et al., 2015).

GÊNESE DE HORIZONTES COM CARÁTER COESO

Os horizontes com caráter coeso tem origem pedogenética, o que foi confirmado pelas investigações de Araújo Filho, carvalho & Silva (2001), Ribeiro (2001) e por Lima Neto et al., (2009), esses últimos constataram horizontes coesos em Latossolos e Argissolos tanto nos solos sob vegetação nativa como naqueles sob cultivo.

O fenômeno que faz com que ocorra a coesão é objeto de estudo de muitos cientistas. Os processos de umedecimento e secagem (ARAÚJO FILHO et al., 2001); dispersão e eluviação/iluviação de argila ocasionados pelos processos de translocação e deposição (LIMA NETO et al., 2010); ferrólise, que atua na destruição de argilas durante os processos de oxidação e redução do ferro e agentes cimentantes como o silício e o alumínio (SILVA, 2000), têm importância significativa na discussão a respeito da gênese dos horizontes coesos, por se tratarem de processos ou fatores básicos para a identificação das variações da natureza geológica e do modo de deposição do material de origem ao longo do perfil do solo (BREWER, 1976; SCHAETZL, 1996).

Chartres et al. (1990), argumentam que a cimentação química teria um papel fundamental nesse processo. Estudos têm demonstrado que os horizontes coesos apresentam em comum, limitada disponibilidade de nutrientes, com baixos valores de soma de bases (SB), baixa capacidade de troca de cátions (T) e altos valores de saturação por Al^{3+} (m). Os baixos valores de T, indicam a forte ação do intemperismo sobre o material de origem, sendo essa uma característica comum dos solos dos Tabuleiros Costeiros (DANTAS et al., 2014; CORRÊA et al., 2015).

A forma laminar das partículas de caulinita vem tendo atenção especial, pelo fato de possibilitarem ajuste face-a-face nos horizontes com menores teores de matéria orgânica, podendo contribuir para a coesão de horizontes subsuperficiais (RESENDE, 1982). Essa hipótese é reforçada com os estudos de Moreau et al. (2006), em solos dos Tabuleiros Costeiros do sul da Bahia. Todavia, estudos recentes não têm corroborado essa hipótese (CORRÊA et al., 2008; GIAROLA et al., 2009).

Estudando Latossolos cauliniticos 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, poderia originar solos com densidade mais elevada, maior proporção de poros pequenos e menor permeabilidade. 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

longo do perfil de solo, não associando o empacotamento da fração argila com a manifestação do caráter coeso.

Dantas et al., (2014), estudaram a gênese de solos com horizontes coesos do leste maranhense e observaram que ela pode estar relacionada com o acúmulo de partículas de argila oriundas dos horizontes superficiais, as quais preenchem poros, aumentando a densidade do solo e tornando o horizonte subsuperficial muito coeso. O horizonte estudado apresentou textura franco-argiloarenosa. Os autores sugerem que essa classe textural, nos horizontes coesos, coincide com o aumento proporcional dos teores de argila.

Lima Neto et al. (2010), em estudo sobre horizontes coesos em Argissolos e Latossolos dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas, verificaram por meio dos resultados das análises que realizaram que a formação dos horizontes coesos pode ocorrer de maneira distinta entre os solos, ou até no mesmo solo. Segundo os autores o aumento da densidade causada pela iluviação das argilas dispersas, cuja dispersão é promovida por ácidos orgânicos de baixo peso molecular, entope os poros e a redução da permeabilidade aumenta as condições de redução, provocando, conseqüentemente, a perda de Fe e gerando um colapso na estrutura da camada que fica logo acima da profundidade em que foi depositada a argila dispersa, formando assim um horizonte coeso.

As feições de iluviação em horizontes coesos foram descritas por Melo & Santos (1996), através de estudos micromorfológicos em Argissolos Amarelos dos Tabuleiros Costeiros de Pernambuco. Esses autores descrevem argilãs nos horizontes Bt1, Bt2 e partes do Bt/Bw e atribuem a coesão ao acúmulo de argila iluvial, que preenche a porosidade. Silva et al. (1998), em estudo sobre os Latossolos Amarelos dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas, afirmam que esses solos possuem uma certa relação textural alta, mas não suficiente para formar um horizonte B textural e que esse gradiente textural é formado por perda diferencial de argila do horizonte A, principalmente pelo processo de elutriação.

Corrêa et al., (2008), estudando Argissolos coesos, observaram através de análises micromorfológicas, a deposição de argila muito fina nos horizontes coesos, e verificaram que a porosidade nesses horizontes se mostrou preenchida por essa argila, visto isso, concluíram que a gênese dos horizontes coesos se deve ao maior conteúdo de argila muito fina, menores que 0,2 μm , translocadas entre horizontes ou dentro do mesmo horizonte na forma de argila dispersa.

Contudo, análises micromorfológicas desenvolvidas em horizontes coesos, mostraram que, em raros casos, ocorrem cutãs de iluviação e quando ocorrem geralmente localizam-se no topo do horizonte coeso, onde o material mineral está associado à matéria orgânica e aos poros (RIBEIRO, 1991; RIBEIRO, 1998).

Embora geralmente se saiba que o incremento de argila em profundidade pela iluviação possa explicar a redução da porosidade e da drenagem interna, e aumentar com isso a densidade, isto em princípio não explica a coesão, que é causada por agentes condicionadores, uma vez que quando o solo umedece, a coesão se reduz ou é eliminada. Por outro lado, muitos solos com altíssimo gradiente textural, com iluviação comprovada pela micromorfologia, não apresentam coesão. Deve-se reforçar, portanto que a coesão, com endurecimento da matriz do solo, não deve prescindir da presença de um agente condicionador.

Ribeiro, (2001) concluiu que o processo de argiluviação não explicaria a gênese dos horizontes coesos, já que o gradiente textural observado em muitos Latossolos e Argissolos pode ter sido originado por perda diferencial de argila dos horizontes superficiais pela erosão lateral, também denominada elutriação. Meirelles e Ribeiro (1995), sugerem que o entupimento de poros estaria relacionado à sílica oriunda do ataque de quartzo pelos ácidos orgânicos.

Viera et al. (2012), observaram em seus estudos em solos coesos do Estado do Ceará, que a gênese dos horizontes coesos está relacionada com acréscimos de material de baixa cristalinidade ou amorfos de sílica nesses horizontes, concordando com estudos de Meirelles & Ribeiro (1995) sobre a participação da sílica na gênese de horizontes coesos. Os autores utilizaram microscopia eletrônica de varredura e observaram a presença de sílica amorfa em maior quantidade nos horizontes coesos dos perfis de solos cearenses. O horizonte coeso mostrou uma tendência à agregação dos fragmentos amorfos de sílica em relação ao horizonte superficial e ao horizonte abaixo do horizonte coeso.

Contudo, não há estudos conclusivos em relação à efetiva participação de compostos amorfos ou de baixa cristalinidade na gênese de horizontes coesos, tal como já destacado nos trabalhos de Moreau et al. (2006) e Corrêa et al., (2015).

A gênese de horizontes com caráter coeso pode estar relacionada à ação simultânea de muitos dos processos citados, sendo que a intensidade com que as camadas coesas foram formadas estão relacionadas às variações climáticas e morfopedológicas, existentes nas diferentes unidades geoambientais que compõem os Tabuleiros Costeiros (RIBEIRO, 1998).

Observa-se que existem várias tentativas, frequentemente contraditórias, de explicação da gênese dos horizontes coesos, o que torna pertinente a continuidade das ações de pesquisa, sobretudo no que se refere a utilização de novas combinações de técnicas para o estudo dos mesmos.

SILÍCIO EM HORIZONTES COM CARÁTER COESO DOS SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS

O silício é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre após o oxigênio, ocorrendo na forma de silicatos tanto primários como secundários, podendo ser encontrado na forma cristalina, amorfa e em solução (WOLLAST & MACKENZIE, 1983). A distribuição das frações de Si no solo é dependente de fatores como o material de origem, clima, vegetação, textura e intensidade de intemperismo. Esse último possibilita as transformações e alterações de minerais e a solubilização da sílica incrementando sua forma predominante na solução do solo, que é o ácido monossilícico (H_4SiO_4) (DIETZEL, 2000).

O ácido monossilícico (H_4SiO_4), pode ser originado da decomposição de restos vegetais, dissociação de cadeias poliméricas de silício, liberação de silício de óxidos de Fe e Al e dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos. A adsorção do ácido monossilícico acontece quando ele entra em contato com argilas, óxidos de Fe e de Al, sendo esse último o principal composto capaz de adsorvê-lo formando polímeros coloidais (Al-Si) (DOUCET et al., 2001). Um dos fatores que influenciam na maior ou menor adsorção da sílica pelo Al é o pH (CORNELIS et al., 2011). Na faixa ácida, mesmo em quantidades muito baixas, o alumínio favorece a precipitação da sílica coloidal. Em meio alcalino, são necessárias quantidades muito maiores de alumínio para promover a precipitação da sílica monomérica (ARAÚJO FILHO et al., 2001).

A sílica no solo faz parte de um sistema dinâmico e suas quantidades nas diferentes frações dependem da composição mineral, efeitos de adsorção, balanço hídrico, temperatura e atividade bioquímica (MILNES & TWIDALE, 1983). Em relação a distribuição de diferentes frações de Si no solo Georgiadis et al. (2013), descreveram seis compartimentos: 1- a fração sílica móvel ou solúvel, presente na solução do solo; 2- sílica adsorvida nas superfícies dos minerais; 3- sílica da matéria orgânica do solo; 4- sílica oclusa em óxidos e hidróxidos pedogenéticos; 5- sílica amorfa minerogênica, resultante da precipitação de Si em superfícies de grãos minerais e; 6- sílica amorfa biogênica, resultante da acumulação de Si nos tecidos das células das plantas.

Nos vegetais a acumulação de sílica é dependente de processos ativos, regulados por meio de mecanismos genéticos e fisiológicos das plantas e passivos, que estão relacionados às condições climáticas locais e o ambiente de crescimento da planta (PIPERNO, 2006). Porém, em muitas espécies os dois mecanismos são atuantes e possibilitam a formação de estruturas silicosas microscópicas amorfas aos raios X, que resultam de processos nos quais determinadas

plantas depositam sílica intra e entre as células após absorvê-la da solução do solo (PIPERNO, 2006). Essas estruturas silicosas são chamadas de fitólitos (COSTA et al. 2010). A passagem do ácido monossilícico para dentro da célula da raiz pode ocorrer por canais de entrada de água e pelos espaços livres da membrana plasmática, atingindo os espaços intercelulares (RAVEN, 2001).

Nas estruturas aéreas, como folhas, frutos e brácteas a presença de fitólitos é mais comum do que em órgãos subterrâneos (PIPERNO, 1991). Madella (2009) salienta ao menos quatro razões para a produção de fitólitos pelas plantas, a saber: i) oferecer suporte mecânico para as células; ii) dar suporte aos órgãos e estruturas da planta; iii) proteger a planta de herbívoros e parasitas e iv) neutralizar ânions e cátions nocivos ao desenvolvimento das plantas. Alguns morfotipos de fitólitos são específicos de determinadas famílias e subfamílias e quando preservados em solos e/ou sedimentos, podem permitir a identificação das plantas que os produziram (PIPERNO, 2006).

Mesmo após a morte do vegetal os fitólitos não são destruídos e são depositados em solos ou sedimentos formando uma assembléia fitolítica que pode caracterizar uma formação vegetal, fornecendo um importante conjunto de dados para estudos de mudanças climáticas, de paisagens e para o entendimento da influência da vegetação na dinâmica da sílica nos solos, bem como sua pedogênese. No entanto, a utilização dos fitólitos como ferramenta de reconstrução paleoambiental depende das condições da sua estabilidade em solos e em sedimentos (LORENT et al. 2015).

Das frações de sílica presentes no solo, a sílica amorfa, juntamente com ciclos constantes de umedecimento e secagem têm sido destacados na literatura como importantes agentes condicionantes de horizontes coesos de solos dos Tabuleiros Costeiros (MEIRELLES & RIBEIRO, 1995; VIEIRA et al. 2012; GOMES et al. 2017). 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).

Os Tabuleiros Costeiros derivados do Grupo Barreira apresentam fitofisionomia que passaram por diversas modificações durante o período Holoceno, principalmente no que diz respeito ao clima, geomorfologia e variações do nível relativo do mar (CUNHA et al. 2017). Esses processos de modificação, resultaram na substituição da vegetação existente por uma vegetação adaptada às condições ambientais predominantes e pode ter alterado a dinâmica do

Si e influenciado na formação dos solos da região litorânea do Brasil. Dessa forma, o entendimento sobre a dinâmica da sílica nos solos, torna-se essencial, uma vez que esse elemento pode fornecer informações que esclareçam a gênese dos horizontes coesos dos solos dos Tabuleiros Costeiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; ANDRADE, G. A.; CEDDIA, M. B.- **Caracterização dos estágios de degradação dos solos dos Tabuleiros Costeiros na região Norte Fluminense – RJ**. Seropédica, RJ, 1995. (Proposta de trabalho enviado à EMBRAPA/CPATC para trabalho em conjunto).
- ARAÚJO FILHO, J. C.; CARVALHO, A.; SILVA, F. B. R. Investigações preliminares sobre pedogênese de horizontes coesos sobre solos dos Tabuleiros Costeiros do nordeste do Brasil. In: **Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros**, 2001, Aracaju. Anais.Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, p.123-142, 2001.
- BIGARELLA, J.J. The Barreiras Group in Northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.47, p.365-393, 1975.
- BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soil**. New Yoik: Robert Krieger Publishing Company, 428p. 1976.
- CHARTRES C.J., KIRBY J.M. & RAUPACH M. Poorly ordered silica and aluminosilicates as temporary cementing agents in hard-setting soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.54, p.1060-1067, 1990.
- CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L. Caracterização física de uma classe de solo do ecossistema do Tabuleiro Costeiro. **Scientia Agricola**, v.55, p.367-378, 1998.
- CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; SAAD, A. M. Balanço hídrico no solo para portaenxertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.4, p. 23-28, 2000.
- CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L.; SILVA, A.P. Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil: Uma análise dos efeitos do regime hídrico e da presença de camadas coesas nos solos. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.77-80, 1997.
- CORNELIS J.T.; DELVAUX, B.; GEORG, R. B.; LUCAS, Y.; RANGER, J.; OPFERGELT, S. Tracing the rigin of dissolved silicone transferred from various soil-plant systems to wards rivers: a review. **Biogeosciences**. v.8, p. 89-112, 2011.
- COSTA, J. B. S.; BORGES, M. S.; BEMERGUY, R. L.; FERNANDES, J. M. G.; COSTA JR., P. S.; COSTA, M. L. Evolução cenozóica da região de Salinópolis, Nordeste do Estado do Pará. **Geociências**, v.12, p.373-396, 1993.
- CORREA, M.M.; KER, J.C.; BARRON, V.; TORRENT, J.; FONTES, M.P.F.; CURI, N. Propriedades cristalograficas de caulinitas de solos do ambiente Tabuleiros Costeiros, Amazonia e Reconcavo Baiano. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.32, p.1857-1872, 2008.
- CORRÊA, M.M.; KER, J. C.; ARAÚJO FILHO, J.C.; CAMÊLO, D.L. Formas de Ferro, Silício e, ou, Alumínio na Gênese de Fragipãs e Horizontes Coesos dos Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.1-10, 2015.

COSTA, L.M.; SANTOS, R.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; MOREAU, A.M.S.S.; MOREAU, M.S. Ocorrência de corpos silicosos em horizontes superficiais de solos de diferentes ecossistemas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v.34, p. 871-879, 2010.

CURCIO, G.R.; CARVALHO, A.P.; BOGNOLA, I.A.; GOMES, I.A.; ROSSI, M.; COELHO, M.R.; SANTOS, R.D. In: Reunião de classificação, correlação e aplicação de levantamentos de solos, 6.ed., **Guia de excursão de estudos de solos nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná**. Embrapa Florestas/Rio de Janeiro, Embrapa Solos/Campinas. IAC, 2000. 222p.

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

DEMATTE, J.A.M.; GARCIA, G.J.; PROCHNOW, L.I. Relações entre a reflectância espectral e atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos desenvolvidos de rochas eruptivas. In: **Congresso Latino Americano de Ciência do Solo**, Águas de Lindóia, 1996. Resumos. Águas de Lindóia, 1996. CD-ROM

Dietzel, M. Interaction of polysilicic and monosilicic acid with mineral surfaces. In: Stober, I., Bucher, K. **Water-rock interaction**. Kluwer, Netherlands, p. 207–235, 2002.

DOUCET, F. J.; SCHNEIDER, C.; BONES, S. J.; KRETCHMER, A.; MOSS, I.; TEKELY, P.; EXLEY, C. The formation of hydroxy aluminosilicates of geochemical and biological significance. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 65, p. 2461–2467, 2001

DUARTE, M.N.; CURI, N.; PÉREZ, D.V.; KÄMPF, N.; CLAESSEN, M.E.C. Mineralogia, química e micromorfologia de solos de uma microbacia nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1237-1250, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412p

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2018. 345p.

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

GEORGIADIS, A.; SAUER, D.; HERRMANN L.; BREUER, J.; ZAREI, M.; STAHR, K. Development of a method for sequential Si extraction from soils. **Geoderma**, v.210, p.251–261, 2013.

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

GIAROLA, N. F. B.; DE LIMA, H. V.; ROMERO, R. E.; BRINATTI, A. M. DA SILVA, A. P. Mineralogia e cristalografia da fracao argila de horizontes coesos de solos nos Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.33-40, 2009.

GOMES, J. C.; LEAL, E. C. **Cultivo da mandioca para a região dos Tabuleiros Costeiros**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Sistema de Produção, 11).

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: **Reunião técnica sobre solos coesos dos Tabuleiros Costeiros**, 1996. Cruz das Almas, BA: Anais... Aracaju-SE: EMBRAPA-CPATC, EMBRAPACNPMF/EAUFBA/IGUFBA, 1996. 80p.

JACOMINE, P.K.T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: Cintra LFD, Anjos JL, Ivo WMPM, editores. **Workshop Coesão em solos dos Tabuleiros Costeiros**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros; 2001. p.19-46.

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 de Ciência do Solo**, v. 28, p.467-476, 2004.

LIMA NETO, J. A.; RIBEIRO, M. R.; CORREA, J. F.; SOUZA JUNIOR, V. S.; LIMA, J. F. W. F.; FERREIRA, R. F. A. L. Caracterizacao e genese do carater coeso em Latossolos Amarelos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1001-1011, 2009.

LIMA NETO, J.A.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; SOUZA JÚNIOR V. S.; ARAÚJO FILHO, J. C.; 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**, n.34, p.473-486, 2010.

LORENTE F.L., PESSEDA L.C.R. CALEGARI M.R., COHEN M.C.L., ROSSETTI D., GIANNINI P.C.F., BUSO JR. A.A., CASTRO D.F., FRANÇA M.C., BENDASSOLLI J.A., MACARIO K. Phytoliths as indicators of environmental changes during the Holocene in the northern coast of the Espirito Santo State (Brazil). **Quaternary and Environmental Geosciences**, n.6, p.01-15, 2015.

LU H., LIU K. Morphological variations of lobate phytoliths from grasses in China and the Southeastern USA. **Diversity and distributions**, n.9, p.73-87, 2003.

MADELLA, M.; JONES, M.K.; ECHLINC, P.; POWERS-JONES, A.; MOORED, M. Plant water Availability and analytical microscopy of phytoliths: Implications for ancient irrigation in arid zones. **Quaternary International**, v.193, p.32-40, 2009.

MEIRELLES, M. C. S.; RIBEIRO, L. P. Caracterização da sílica em horizontes coesos de solos de tabuleiros. In: **25º Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Viçosa, 1995. Resumos expandidos. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Universidade Federal de Viçosa, 1688-1689. 1995.

MELO, F.J.R.; SANTOS, M.C. Micromorfologia e mineralogia de dois solos de Tabuleiros Costeiros de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.20, p.99-108, 1996.

MELO VF, SCHAEFER CEGR, SINGH B, NOVAIS RF, FONTES MPF. 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, p.53-64, 2002.

MILNES, A. R.; TWIDALE, C.R. An overview of silicification in Cainozoic landscapes of arid central and southern Australia. **Australian Journal of soil research**, v.21, p.387-410, 1983.

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.

MULLINS, C.E. Hardsetting. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C.; STEWART, B.A. **Methods for assesment of soil degradation. Advances in Soil science**. New York: CRC Press, 1997. p.109-128

NUNES, F.C; VILAS BOAS, G.S; SILVA, E.F; CALDERANO, S.B; CARVALHO, J.J.S. Faciologia e Análise Tectônica dos Materiais de Origem dos Solos dos Tabuleiros Costeiros do Litoral Norte da Bahia. **Boletim de Desenvolvimento e Pesquisa: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Embrapa Solos, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2011, 41p.

OLIVEIRA, J.B de, JACOMINE, P.T.K., CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201p.

PIPERNO, D.R. Phytolith: **A comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists**. Lanham, AltaMira Press, 2006. 238p.

Piperno D.R. The Status of Phytolith Analysis in the American Tropics. **Journal of World Prehistore**, v.5, p.155-191, 1991..

RAVEN, J.A. Silicon transport at the cell and tissue level. In: DATNOFF, L.E. et al. (Ed.). **Silicon in agriculture**. The Netherlands: Elsevier Science, 2001. 403p.

REZENDE, J.O. **Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Salvador: SEAGRI, SPA, (Serie Estudos Agrícolas), 2000. 117p

RESENDE, M. **Pedologia**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1982. 100p.

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

RIBEIRO, L.P. Premiers resultas sur la genèse des sols a horizons indures dans la region du Cruz das Almas, BA, BrÈsil. In: **Table ronde sur líorganization et dynamique interne de la couverture pedologique**, Caen, 1991. Anais. Caen: CNRS, 1991

- RIBEIRO, L. P. Uma visão pedogenética transcontinental do Grupo Barreiras: Um novo paradigma? **Revista Magistra**, v.19, p.89-97, 2007.
- 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, p.161-168, 2001.
- RODRIGUES, M.G.F. A era cenozóica e a origem do Grupo Barreiras, **Textura**, n.2, p. 59-69, 2007.
- ROMERO, R.E. Gênese e Degradação de Duripãs em uma Toposseqüência dos Tabuleiros Costeiros, Conde - Bahia. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 2003. 144p. (**Tese de Doutorado**).
- SALCEDO, I. H. Movimento de nutrientes no solo: possíveis efeitos dos horizontes coesos/compactados. In: **Workshop coesão em solos dos Tabuleiros Costeiros**. Aracajú, 2001. Anais. Aracajú. EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 209-228.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. Viçosa: SBCS, 100p. 2015.
- SCHAETZL, R.J. Spodosol-Alfisol intergrades: Bisequal soils in NE Michigan, USA. **Geoderma**, v.74, p.23-47, 1996.
- SILVA, A.J.N.; RIBEIRO, M.R. Caracterização de Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: Propriedades químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.291-299, 1998.
- SILVA, F.B.R. e; RICHE, G.R.; TONNEAU, J.P.; SOUSA NETO, N.C.; BRITO, L.T. de; CORREIA, R.C.; CAVALCANTI, A.C.; SILVA, J.C. de A. **Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e socioeconômico**. Brasília: Embrapa-CPATSAISNLCS. 1992.
- SILVA JUNIOR, J.F. da. Recursos genéticos da mangabeira nos Tabuleiros Costeiros e baixada Litorânea do Nordeste. In: **Simpósio Brasileiro Sobre a Cultura da Mangaba**, 2003, Aracaju, SE. Anais... Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2003. Disponível em CD-ROM.
- SILVA, L.; EMER, A.A.; BORTOLINI, C.E. & ARRUDA, J.H. Estudo de um Nitossolo Vermelho com evidencia de caráter coeso da Região Sudoeste do Paraná. **Synergismus Scientifica**, v.4, p.301-304, 2009.
- SILVA, M.S.L. Caracterização e gênese do adensamento subsuperficial em solos de tabuleiro do semi-árido do Nordeste do Brasil. Porto Alegre: UFRGS, 2000. 127p. (**Tese Doutorado**)
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; COOPER, M.; PEREIRA, G.T. Micromorfologia do solo e sua relação com atributos físicos e hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.487-492, 2006.
- SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.M. & AZEVEDO, A.E.G. 1985. 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.; MARTIN, L.; DOMINGUES, J.M.L. Evolução do delta do Rio Doce (ES) durante o Quaternário: influência das variações do nível do mar. In: **4º Simpósio do Quaternário no Brasil**, 1981, Rio de Janeiro. Atas. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia Comissão Técnico- Científica do Quaternário, P.93-116. 1982.

SUGUIO, K.; NOGUEIRA, A.C.R. Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a Formação (ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu possível significado como testemunho de alguns eventos geológicos mundiais. **Geociências**, v.18, p.461-479, 1999.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. **Caracterização de solos e avaliação dos principais sistemas de manejo dos Tabuleiros Costeiros do Baixo Rio Doce e da Região Norte do Estado do Espírito Santo e sua interpretação para uso agrícola**. Convênio Nº 545-81, Viçosa: Companhia Vale do Rio Doce, Universidade Federal de Viçosa, 1984, 153p.

VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE – Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. 124p.

VIANA, J.H.M.; FERNANDES FILHO, E.I.; SCHAEFER, C.E.G.R. Efeitos de ciclos de umedecimento e secagem na reorganização da estrutura microgranular de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.11-19, 2004.

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 Agronômica**, n.43, p.623-632, 2012.

WOLLAST, R.; MACKENZIE, F.T. The global cycle of silica. In: **Aston SR (ed) Silicon geochemistry and biochemistry**. Academic Press, San Diego, p 39–76, 1983.

CAPÍTULO 1: GÊNESE DA COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS NO ESTADO DA BAHIA

1.1. Resumo- A presença de horizontes com caráter coesos é observada nos solos dos Tabuleiros Costeiros do Grupo Barreiras, ocorrendo destacadamente na transição entre os horizontes A e B. A coesão se manifesta quando o solo está seco, limitando o uso agrícola de áreas que são de grande importância socioeconômica. A grande extensão territorial dos solos coesos e sua importância para a produção agrônômica, faz com que muitos esforços de pesquisa sejam direcionados para elucidar a gênese dessa coesão, no entanto, os processos apontados são pouco conclusivos. O objetivo desse trabalho foi verificar a participação de atributos físicos, químicos, mineralógicos, Fe, Al e Si na gênese da coesão de horizontes de seis solos dos Tabuleiros Costeiros, localizados no Estado da Bahia, nos municípios de Inhambupe e Cruz das Almas. Em seguida realizou-se a caracterização física, química e mineralógica e a extração de Fe e Al por ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) e Oxalato de amônio (Ox) e de Si por DCB, Ox e hidróxido de sódio (NaOH). Os resultados indicaram que os atributos físicos, químicos, mineralógicos, Fe e Al extraídos por DCB e Ox não apresentaram relação com a gênese do caráter coeso nos horizontes dos solos estudados, porém o teor de Si extraído por Ox e NaOH foi maior nos horizontes coesos de todos os perfis de solos estudados, indicando acumulação deste elemento e estreita relação com a gênese da coesão desses horizontes destacando seu papel como possível agente condicionador.

Palavras-chave: compostos amorfos, largura a meia altura da caulinita, sílica biogênica.

GENESIS OF COHESION IN SOILS OF COASTAL TABLES IN THE STATE OF BAHIA

1.2.Abstract- The presence of cohesive horizons is observed in the soils of the Coastal Tabuleiros of the Barreiras Group, occurring prominently in the transition between horizons A and B. Cohesion manifests itself when the soil is dry, limiting the agricultural use of areas that are of great socioeconomic importance. The large territorial extension of cohesive soils and their importance for agronomic production, means that many research efforts are directed to elucidate the genesis of this cohesion, however, the processes mentioned are not conclusive. The objective of this work was to verify the participation of physical, chemical, mineralogical attributes, Fe, Al and Si in the genesis of the horizons cohesion of six soils of the Coastal Tabuleiros, located in the state of Bahia, in the cities of Inhambupe and Cruz das Almas. Then, physical, chemical and mineralogical characterization and the extraction of Fe and Al by dithionite-citrate-bicarbonate (DCB) and ammonium oxalate (Ox) and Si by DCB, Ox and sodium hydroxide (NaOH) were carried out. The results indicated that the physical, chemical, mineralogical, Fe and Al attributes extracted by DCB and Ox were not related to the genesis of the cohesive character in the studied soil horizons, however the Si content extracted by Ox and NaOH was higher in the cohesive horizons. of all studied soil profiles, indicating the accumulation of this element and a close relationship with the genesis of the cohesion of these horizons, highlighting its role as a possible conditioning agent.

Keywords: amorphous compounds, kaolinite half-width, biogenic silica.

1.3.INTRODUÇÃO

A presença de horizontes com caráter coeso é comumente observada nos Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos e Acinzentados dos Tabuleiros Costeiros Terciários do Grupo Barreiras. Essa unidade de paisagem corresponde a uma das maiores do Brasil (JACOMINE, 2001; EMBRAPA, 2006), ocupando desde o Estado do Amapá até o norte do Estado do Rio de Janeiro, com maior expressividade na região Nordeste, ocupando toda a faixa costeira (JACOMINE, 1996).

Os horizontes subsuperficiais com caráter coeso são fortemente adensados, ocorrem em geral na transição entre os horizontes A e B, podendo ocupar boa parte desse último, em uma ampla faixa de profundidade, que varia de 0,2 a 1,4 m. A coesão se manifesta quando o solo está seco, mas desaparece quando o solo está úmido, impondo dificuldades ao crescimento das raízes, à emergência das plântulas, a movimentação da água e do ar e facilitando o surgimento de uma zona saturada, que limita a respiração radicular e altera a produtividade das culturas (PAIVA et al., 2000; SOUZA et al., 2008). Os solos com horizontes coesos limitam o uso agrícola de áreas que são de grande importância socioeconômica, devido à proximidade dos grandes centros urbanos (GIAROLA et al., 2009; LIMA NETO et al., 2009).

A grande extensão que ocupa e sua importância para a produção agrônômica, faz com que muitos esforços de pesquisa sejam direcionados para elucidar a gênese da coesão nos horizontes subsuperficiais desses solos. Sabe-se que a gênese desses horizontes tem origem pedogenética, o que foi confirmado pelas investigações de Araújo Filho, carvalho & Silva (2001), Ribeiro (2001) e por Lima Neto et al. (2009).

Abraão et al. (1998) analisando a distribuição de frequência de tamanho das subfrações da areia em solos desenvolvidos de sedimentos do Grupo Barreiras, concluíram que a maior resistência a penetração em horizontes coesos dos solos dos Tabuleiros Costeiros pode estar relacionada com a classificação das partículas de areia, herdadas do ambiente sedimentar, que aumentariam a densidade do solo, como consequência do empacotamento de suas partículas e, portanto, a resistência do solo a penetração de raízes. A distribuição de tamanho, arredondamento, esfericidade e rugosidade da fração areia têm sido destacados por influenciar a distribuição de tamanho de poros no solo e a proporção de espaços vazios (COULON & BRUAND, 1989). No entanto, deve-se mencionar que a distribuição das subfrações da areia dentro de uma camada de solo também pode estar relacionada à processos de bioturbação (COOPER et al. 2005).

A forma laminar das partículas de caulinita e a possibilidade de ajuste face-a-face nos horizontes com menores teores de matéria orgânica, já foram apontados como responsáveis pela coesão (RESENDE, 1982; MOREAU et al. 2006), além disso, Ajayi et al. (2009) enfatizaram que a ausência de gibbsita e baixas quantidades de óxidos de ferro na assembleia mineralógica desses solos, favorecem o processo de arranjo face-a-face da caulinita. No entanto, Giarola et al. (2009), ao estudarem a mineralogia da fração argila de solos com caráter coeso nos Tabuleiros Costeiros dos Estados da Bahia, Ceará e Espírito Santo, afirmam que os horizontes coesos apresentam caulinita com grau de ordenamento estrutural semelhante a de horizontes não coesos, não associando o empacotamento da fração argila com a manifestação desse caráter.

Estudos de Corrêa et al. (2008) e Lima Neto et al. (2010) sugerem que a formação dos horizontes coesos, pode estar relacionada à translocação de argila que, após dispersão, aumentariam o contato entre partículas maiores do solo e a resistência do solo a penetração de raízes. As feições de iluviação em horizontes coesos foram descritas por Melo & Santos (1996), através de estudos micromorfológicos em Argissolos Amarelos dos Tabuleiros Costeiros de Pernambuco. Esses autores atribuíram a gênese da coesão ao acúmulo de argila iluvial, que preenche a porosidade e descreveram argilãs nos horizontes subsuperficiais abaixo dos horizontes coesos. Silva et al. (1998), em estudo sobre os Latossolos Amarelos dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas, afirmam a existência de empobrecimento de argila dos horizontes superficiais e possível formação de um horizonte B textural com o tempo, como consequência dessa iluviação.

No entanto, Ribeiro (1998) concluiu, através de análises micromorfológicas desenvolvidas em horizontes coesos dos Tabuleiros Costeiros da região do Recôncavo da Bahia, que em raros casos, ocorrem cutãs de iluviação, e quando ocorrem, geralmente localizam-se no topo do horizonte coeso, onde o material mineral está associado à matéria orgânica e aos poros e que o processo de argiluviação não explicaria a gênese dos horizontes coesos, já que a perda de argila nos horizontes superficiais pode ter ocorrido por elutriação.

Gomes et al. (2017), afirmam que a cimentação química teria um papel fundamental na gênese dos horizontes coesos. Os autores utilizaram ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) e oxalato ácido de amônio (OX) para extrair Fe e Al e pirofosfato de sódio para extrair Si e verificaram que os acréscimos de material de baixa cristalinidade ou amorfos nos horizontes com caráter coeso evidenciam que esses compostos contribuem na sua gênese. Meireles & Ribeiro (1995), utilizaram microscopia eletrônica de varredura em solos dos Tabuleiros

Costeiros e observaram a acumulação de sílica amorfa com tamanhos variáveis nos horizontes coesos dos solos estudados.

Nesse contexto, Vieira et al. (2012) estudaram a contribuição do material amorfo na gênese dos horizontes coesos de Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Estado do Ceará e verificaram que os maiores valores de densidade do solo encontrados podem estar associados a uma maior concentração de sílica amorfa e concluíram que esses compostos são atuantes na gênese de horizontes coesos. A sílica amorfa, cuja maior fração é constituída por sílica biogênica (SACONNE et al., 2007), juntamente com ciclos constantes de umedecimento e secagem têm sido destacados na literatura como importantes agentes condicionadores do caráter coeso em solos dos Tabuleiros Costeiros (ARAÚJO FILHO et al., 2001).

Contudo, não há estudos conclusivos em relação à efetiva participação de compostos amorfos ou de baixa cristalinidade na gênese de horizontes coesos. Moreau et al. (2006), estudando a gênese de solos argilosos com horizontes coesos no Estado da Bahia, através de extrações de Si e Al com ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) e oxalato ácido de amônio (Ox), não constataram tendência de acumulação desses elementos, concluindo que a formação desses horizontes não estaria relacionada à presença de compostos amorfos. Resultados semelhantes foram encontrados por Corrêa et al. (2015) em estudo com solos coesos do extremo sul da Bahia e norte do Espírito Santo, utilizando sucessivas extrações com DCB e uma única extração com Ox para a determinação de Fe, Si e Al.

Os processos apontados na tentativa de elucidação da gênese dos horizontes coesos, são pouco conclusivos e apresentam lacunas e dúvidas, o que torna pertinente a continuidade de ações de pesquisa, sobretudo no que se refere a utilização de novas combinações de técnicas de investigação. Posto isso, o objetivo desse trabalho foi verificar a participação de atributos físicos, químicos, mineralógicos, Fe, Al e Si na gênese do caráter coeso de horizontes de seis solos dos Tabuleiros Costeiros do Grupo Barreiras, localizados no estado da Bahia.

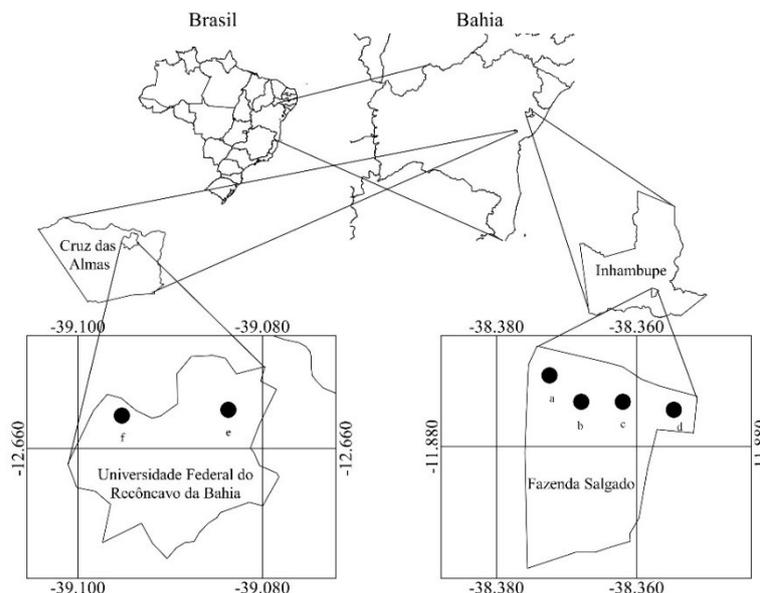
1.4.MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização desse estudo, foram coletadas amostras em seis perfis de solos com expressiva manifestação do caráter coeso, localizados em duas áreas, a primeira no município de Inhambupe, na mesorregião geográfica do Litoral Norte da Bahia, inserida na fazenda Salgado, pertencente a empresa Bahia Pulp, atualmente utilizada com florestamento comercial de eucalipto. Foram coletadas nesse local, amostras de solos em quatro trincheiras correspondentes aos seguintes perfis de solo: Latossolo Amarelo Distrocoeso psamítico (a);

Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico (b); Latossolo Vermelho Distrocoeso típico (c); e Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico (d). A diferença topográfica da paisagem é de 18 m; o perfil (a) está localizado na cota altimétrica mais alta de 232 m, os perfis (b) e (c) em cotas intermediárias, 227 e 222 m respectivamente, e o perfil (d) na cota mais baixa, 214 m, em relação ao nível do mar.

A segunda área está localizada na mesorregião geográfica do Recôncavo Sul da Bahia, no município de Cruz das Almas, mais precisamente no campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, a 178 km da primeira, sendo utilizada com pastagem. Foram coletadas amostras de dois perfis de solo: Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (e) e Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (f). A paisagem apresenta diferença de 13 metros de altitude, estando o perfil (e) localizado em cota altimétrica de 224 m e o perfil (f) a 211 m em relação ao nível do mar. As duas áreas estão localizadas na unidade geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros (BRASIL, 1982), como apresentado na Figura 1.

Figura 1. Mapa de localização dos perfis de solos estudados nos municípios de Inhambupe e Cruz das Almas-Ba. Latossolo Amarelo Distrocoeso psamítico (a); Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico (b); Latossolo Vermelho Distrocoeso típico (c); e Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico (d); Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (e) e Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (f).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Os horizontes genéticos de cada perfil de solo, foram descritos e separados quanto às características morfológicas e do ambiente segundo o manual de descrição e coleta de solo em campo (SANTOS et al., 2015), sendo coletadas amostras deformadas e indeformadas em todos

os horizontes. Os horizontes com caráter coesos foram identificados com a utilização de martelo pedológico e trados e com testes de umidade e compressão, conforme SBCS (2013). As amostras deformadas foram preparadas para análise, por meio de secagem, destorroamento e tamisação em peneira de malha de 2 mm, a fim de se obter a terra fina seca ao ar (TFSA).

Em sequência, realizou-se a caracterização física das amostras dos solos por meio das análises granulométricas, densidade do solo, densidade de partícula e porosidade. Todas as análises foram realizadas em duplicata, seguindo o manual de análises de solo da EMBRAPA (2011).

Nas amostras deformadas os teores de argila foram determinados pelo método da pipeta (GEE & BAUDER, 1986), após a dispersão química do solo com NaOH 1 mol L⁻¹, seguido de agitação mecânica com o agitador horizontal por 4 horas. As subfrações areia muito grossa, grossa, média, fina e muito fina foram obtidas por tamisação e os teores de silte por diferença.

A determinação da distribuição de poros do solo foi feita pelo método da dessorção de água em mesa de tensão nas amostras indeformadas previamente saturadas e submetidas à tensões equivalentes a 6 e 10 kPa (OLIVEIRA, 1968). As amostras saturadas foram colocadas sob a mesa de tensão e após o equilíbrio, foi determinada a quantidade de água ainda retida nas tensões de 6 e 10 kPa, possibilitando a estimativa da macroporosidade, microporosidade e porosidade total determinada.

A densidade do solo foi determinada nas amostras indeformadas pela relação entre a massa da amostra seca e o volume do cilindro (BLAKE, 1965). A densidade de partículas foi determinada em balão volumétrico. Para isso foi quantificado o volume de álcool necessário para completar a capacidade do balão volumétrico contendo solo seco em estufa a 105 °C na TFSA (BLAKE & HARTGE, 1986).

Para a caracterização química, foram realizadas as seguintes análises, todas conforme EMBRAPA (2011): pH em água e em KCl; P; K; Na; Ca; Mg, Al e H+Al. As análises de caracterização química foram realizadas em duplicata. Os valores de pH foram determinados potenciométricamente em suspensão 1:2,5 de solo:água e solo: solução de KCl 1 mol L⁻¹.

Os valores de soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), porcentagem de saturação por bases (V%) e saturação por Al da CTC efetiva (m%) foram calculados segundo Embrapa (2011).

A análise mineralógica foi procedida em lâminas de argila orientada em difratômetro de raios X Philips, modelo PW 3710, com tubo de cobre, ângulo de compensação $\theta/2\theta$ e monocromador de grafite, com variação angular de 3,2 a 42°2 θ . A velocidade angular foi de 0,02° 2 θ /s, em modo por passos (*step*), com tempo de um segundo de leitura por passo. Os

difratogramas foram confeccionados utilizando o programa Higscore Plus (Panalytical, versão 1.0). As amostras foram saturadas com magnésio (Mg) e quantificadas em temperatura ambiente.

Os métodos utilizados para a extração da sílica amorfa minerogênica e sílica oclusa em óxidos/hidróxidos foram baseados no trabalho de Danilova et al. (2010). A extração de sílica amorfa minerogênica (baixa cristalinidade), que consiste principalmente de sílica precipitada nas superfícies dos minerais e da sílica biogênica resultante da acumulação de Si nos tecidos das células das plantas (GEORGIADIS et al., 2013), foi feita com hidróxido de sódio 0,2 M (razão solo:solução de 1:400) à temperatura ambiente, com agitação lenta durante 48h.

A extração de sílica oclusa, que corresponde ao silício adsorvido por óxidos/hidróxidos cristalinos e de baixa cristalinidade, foi feita com solução ácida complexante de oxalato de amônio (relação solo:solução de 1:10), utilizando solução de oxalato à luz. O método foi descrito por Schwertmann (1964).

O silício associado a óxidos de Fe, foi extraído com o uso de ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) em três etapas sucessivas, com aquecimento de 15 minutos a 60 °C em banho-maria, com relação solo: solução extratora de (1:30) (MEHRA & JACKSON, 1960). O silício extraído por DCB corresponde a ciclagem desse elemento pela vegetação e ao silício associado aos óxidos de Fe de melhor cristalinidade e também os mal cristalizados (RESENDE, 1976).

A determinação da sílica nos extratos foi feita por colorimetria (FREITAS & GLORIA, 1976). Nos extratos de oxalato de amônio e DCB foram determinados também os teores de Fe e Al por espectrofotometria de absorção atômica (EAA) (TEDESCO, 1995).

A análise estatística foi feita usando todos os atributos estudados. Para identificar os atributos dos solos relacionados com a gênese dos horizontes coesos, foi feita a transformação dos dados por $\text{Log}(x+1)$ no intuito de obter normalidade na sua distribuição e foi realizada uma Análise de Redundância Baseada em Distância (db-RDA) com seleção direta de variáveis explicativas geradas a partir de matrizes de distâncias euclidianas, com 499 permutações de Monte-Carlo e corrigidas pela Taxa de Detecção Falsa (FDR) de matrizes euclidianas, que é projetada para controlar a rejeição incorreta de hipóteses com seleção progressiva, tendo como parâmetro de seleção os valores de probabilidade de significância, valor-p, para inclusão e exclusão dos atributos dos solos estudados, usando o software Canoco, versão 5 (LEP'S & SMILAUER 2005).

1.5.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando a tabela 1, é possível verificar que os solos dos municípios de Inhambupe e Cruz das Almas possuem acentuada heterogeneidade granulométrica. Nos primeiros, correspondentes aos perfis (a), (b), (c) e (d), as classes texturais variam de areia franca a franco argiloarenosa, nos segundos (e) e (f), de franco argiloarenosa a argilosa. Essa grande variação textural dos solos foi atribuída por Bigarella (1975), à heterogeneidade dos ambientes de deposição de sedimentos que originaram o Grupo Barreiras.

Apesar dessa variação textural, os solos de ambos os ambientes estudados não apresentaram diferenciação quanto ao comportamento físico, como já verificado por Lima et al., (2004), quando caracterizaram a ocorrência de solos coesos nos Tabuleiros Costeiros do Estado do Ceará, por meio de parâmetros morfológicos e físicos. Nos horizontes de cada perfil de solo estudado, foi notado aumento no teor de argila em profundidade. No entanto, essa variação não foi suficiente para apontar a argila como atributo determinante na gênese dos horizontes coesos, visto que os horizontes subsuperficiais não coesos apresentaram maior teor de argila do que os horizontes coesos, exceto o perfil (e).

O fracionamento da areia indicou variações das diferentes sub frações nos horizontes coesos em relação aos horizontes não coesos para os perfis de solo estudados. No perfil (a), observa-se aumento da fração areia média nos horizontes coesos, enquanto no (b), há aumento da fração areia muito fina e diminuição de areia média e areia fina. O conteúdo de areia muito grossa aumenta nos horizontes coesos do perfil (c) e o conteúdo de areia muito fina diminui nos horizontes coesos do perfil (d).

Para os perfis (e) e (f) o fracionamento da areia não mostrou tendência de acumulação ou diminuição nos horizontes coesos, o que pode estar relacionado com o maior conteúdo de argila desses dois solos. Não há, portanto, um padrão de distribuição das subfrações da areia que possa indicar uma eventual contribuição da areia na gênese dos horizontes coesos. No entanto, Lima et al., (2004), verificaram que a formação dos horizontes coesos é influenciada pela desuniformidade granulométrica e Resende et al., (1992), afirmam que as partículas de areia fina favorecem o arranjo e o adensamento dos seus constituintes.

Tabela 1. Atributos físicos dos solos coesos no Estado da Bahia.

Horiz.	Prof. cm	AMGg kg ⁻¹	AG	AM	AF	AMF	SIL	ARG	Dsg cm ⁻³	Dp	MP ...dm ³ dm ⁻³ ...	mP
Latossolo Amarelo Distrocoeso psamítico (a)												
Ap1	0-6	3	55	290	390	130	30	102	1,78	2,50	0,16	0,15
A2	6-25	2	67	321	408	47	32	123	1,78	2,50	0,16	0,15
AB	25-70	2	50	347	341	59	39	162	1,78	2,49	0,12	0,15
Bt1	70-100	4	63	348	300	77	42	166	1,77	2,55	0,12	0,15
Bt2	100-145	2	58	316	328	52	44	200	1,75	2,61	0,14	0,15
Bw1	145-165+	3	38	112	460	135	44	208	1,73	2,64	0,19	0,16
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico (b)												
A1	0-10	9	42	201	502	99	49	98	1,78	2,60	0,21	0,10
A2	10-25	9	46	221	466	104	44	110	1,75	2,62	0,22	0,11
AB	25-48	3	34	113	311	221	21	297	1,74	2,61	0,22	0,11
BA	48-65	1	22	111	328	249	34	255	1,70	2,52	0,24	0,12
B1	65-83	4	32	162	412	82	42	266	1,68	2,56	0,24	0,16
B2	83-140+	3	23	121	399	152	18	284	1,53	2,53	0,21	0,19
Latossolo Vermelho Distrocoeso típico (c)												
Ap1	0-10	7	77	301	292	45	88	190	170	2,67	0,17	0,25
A2	10-53	7	82	322	298	43	78	170	166	2,69	0,16	0,22
AB	53-90	11	62	303	258	48	78	240	171	2,67	0,16	0,23
BA	90-120	11	58	300	259	34	78	260	172	2,67	0,15	0,22
Bw1	120-160+	9	69	296	291	45	50	240	168	2,35	0,16	0,25
Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico (d)												
Ap1	0-17	21	98	216	400	153	12	100	1,50	2,47	0,15	0,20
A2	17-39	12	78	220	411	155	15	109	1,59	2,53	0,14	0,20
AB	30-68	13	98	202	460	70	45	112	1,63	2,62	0,16	0,16
BA	68-106	18	102	189	348	53	78	212	1,62	2,60	0,18	0,19
B1	106-132	12	60	166	361	113	56	232	1,42	2,61	0,16	0,18
B2	132-180+	12	48	162	332	143	58	243	1,46	2,58	0,16	0,16
Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (e)												
Ap	0-17	2	52	177	182	129	69	389	1,43	2,59	0,18	0,27
AB	17-50	1	55	165	178	103	70	428	1,71	2,52	0,06	0,25
BA	50-80	1	54	166	179	101	97	422	1,57	2,62	0,09	0,27
B1	80-120+	1	54	158	181	93	108	405	1,65	2,56	0,15	0,25
Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (f)												
Ap1	0-10	2	43	211	323	90	58	273	1,57	2,41	0,11	0,24
A2	10-28	2	34	232	344	42	62	284	1,59	2,42	0,08	0,26
AB	28-60	1	23	145	171	89	62	509	1,55	2,48	0,09	0,28
BA	60-105	2	22	123	151	14	73	615	1,57	2,41	0,03	0,22
B1	105-123	1	21	133	112	52	66	615	1,40	2,43	0,11	0,32
B2	123-150+	1	16	122	116	44	100	601	1,40	2,44	0,11	0,31

Horizontes coesos em negrito; Horiz: horizontes; Prof.: profundidade; AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; SIL: silte; ARG: argila; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; MP: macroporos; mP: microporos.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Todos os perfis apresentaram baixos teores de silte. Os perfis (a), (b), (c) e (d) apresentaram de 12 a 78 g kg⁻¹ e os perfis (e) e (f) de 52 a 108 g kg⁻¹ (Tabela 1). Com exceção do Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico (d), onde os horizontes coesos coincidiram com

a máxima acumulação de silte, nos demais solos houve pouca variação em seus conteúdos entre os horizontes coesos e não coesos. Lima Neto et al., 2009, estudando Argissolos de Tabuleiros Costeiros com presença de caráter coeso no Estado do Ceará, também encontraram baixos valores de silte e atribuíram ao produto da alteração de sedimentos pré-intemperizados que constituem os solos do Grupo Barreiras em diferentes ambientes.

Os valores de densidade do solo (D_s) variam nos horizontes coesos para os perfis (a), (b), (c) e (d) de 1,62 a 1,78 g cm⁻³, não havendo grandes diferenças entre os horizontes coesos e não coesos dentro do mesmo perfil; o mesmo ocorre nos perfis (e) e (f), porém com valores que variaram nos horizontes coesos de 1,55 a 1,71 g cm⁻³. Os altos valores da D_s estão de acordo com os encontrados por Santana et al., (2006) que estudaram solos coesos desenvolvidos de sedimentos do Grupo Barreiras e encontraram valores semelhantes para esse atributo. A densidade de partículas (D_p) é maior para os perfis de solos (a), (b), (c) e (d) com valores que variam de 2,47 a 2,69 g cm⁻³ e menor para os perfis (e) e (f), 2,41 a 2,62 g cm⁻³, o que relaciona esse atributo com a textura dos solos, mais especificamente com o grau de intemperismo atuante em cada área.

A macroporosidade (MP) foi menor nos horizontes coesos dos perfis (a), (e) e (f), no entanto, no perfil (f) o horizonte A2 não coeso apresentou MP menor do que no horizonte coeso AB. Para esses solos, a macroporosidade mostrou-se um atributo importante para a identificação da coesão, pela redução ocorrida nos horizontes coesos, tal como observado por Santana et al., (2006). Para os demais perfis estudados não houveram diferenças que possibilitassem associá-la a coesão.

A microporosidade (mP) não apresentou diferenças acentuadas entre os horizontes dos perfis de solos estudados. Para o perfil (a), a mP foi maior do que MP apenas nos horizontes coesos. No perfil (b), a mP foi menor do que a MP para todos os horizontes, com valores nos horizontes coesos semelhantes à dos subjacentes, porém inferiores à dos horizontes subjacentes. Os perfis (c), (d), (e) e (f) apresentaram maiores valores de mP do que de MP para todos os horizontes. De acordo com Cintra e Libardi (1998), a maior quantidade de microporos deve-se ao fato de eles ficarem posicionados dentro dos agregados, esses autores afirmam ainda que essa diminuição do volume de macroporos diminui também a atividade biológica, o movimento e a capacidade de retenção de água, bem como a sua disponibilidade para as plantas em todos os tipos de solos.

Os resultados da caracterização química (Tabela 2), permitem observar baixos valores de soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions, CTC efetiva (t) e CTC a pH 7 (T), e elevados teores de alumínio trocável (Al³⁺) e de saturação por Al³⁺ (m). Esses resultados

corroboram os estudos realizados por Jacomine (1996) e Lima Neto et al. (2009), os quais afirmam que os baixos valores de CTC a pH 7, inferiores a 10 cmolc kg^{-1} , resultam da mineralogia caulinítica do material de origem dos solos dos Tabuleiros Costeiros, os quais são quimicamente pobres por se desenvolverem de materiais altamente intemperizados.

Todos os perfis apresentaram valores mais altos de saturação por bases (V%) nos horizontes superficiais, como consequência da aplicação de calcário. O perfil (c) apresentou o maior valor, 81%, os demais horizontes superficiais apresentaram valores menores do que 47%. Para os horizontes coesos de todos os perfis, sem nenhuma ou com pouca influência da adição de insumos agrícolas, a V% variou de 2 a 26%, esses valores estão associados com a presença de pH ácido nos horizontes de todos os perfis estudados.

A saturação por alumínio (m%) apresentou os maiores valores nos perfis (a) e (b), chegando no horizonte Bt2 do perfil (b) a 81%. Para os horizontes coesos desses perfis os valores de saturação por alumínio foram maiores do que 50%. Os horizontes coesos dos demais perfis (c), (d), (e) e (f), apresentaram valores que variam de 17 a 44%. Segundo Rezende, (2000) a baixa disponibilidade de nutrientes desses solos, associada à alta saturação por alumínio e à alta acidez ativa e trocável, constitui um inibidor químico, que dificulta o desenvolvimento radicular e a atividade microbiana do solo.

Tabela 2. Caracterização química dos perfis de solos coesos no Estado da Bahia.

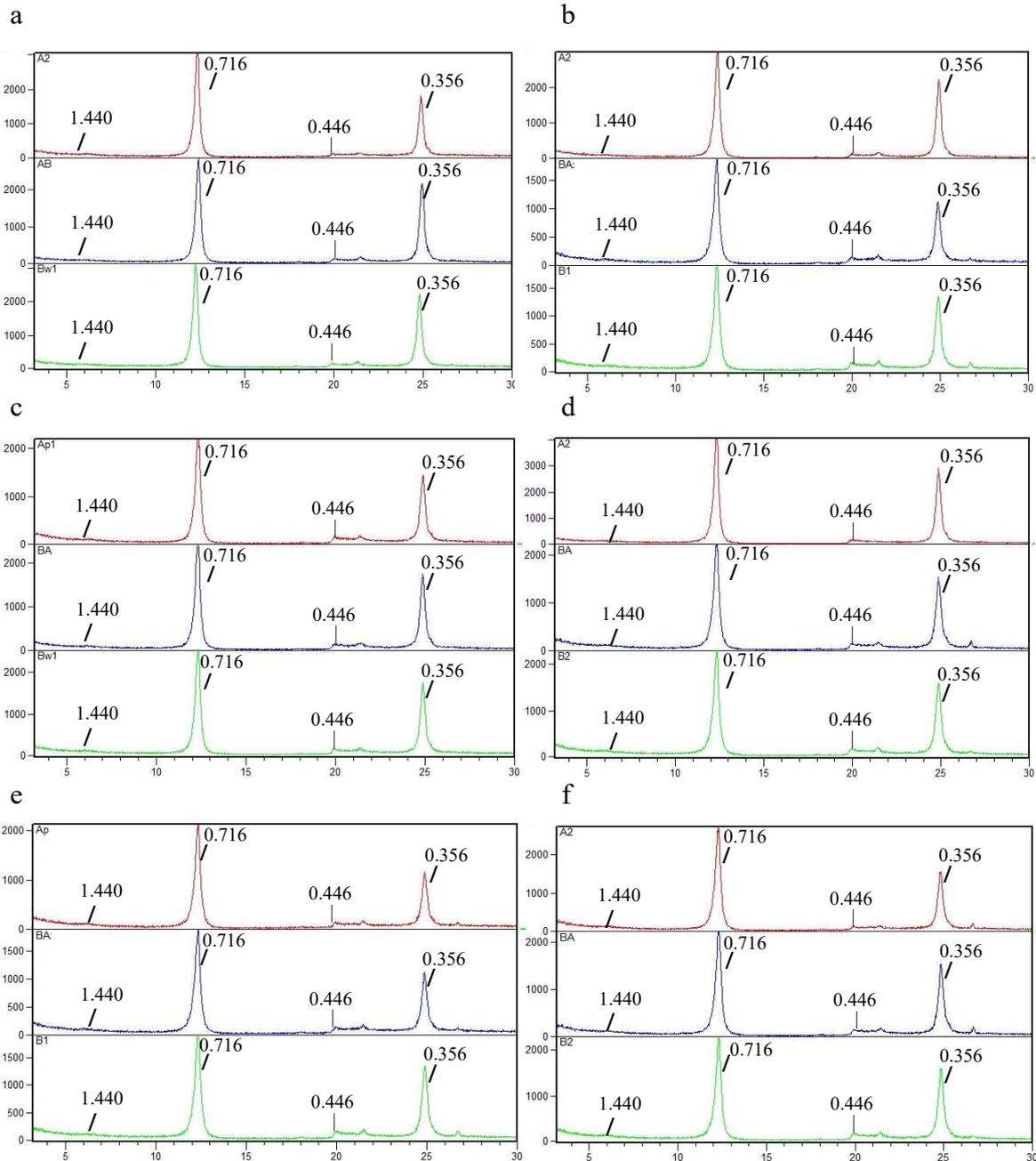
Hor	Prof.	pH		P	K ⁺	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V%	m%
	Cm	H ₂ O	KCl	mg.dm ⁻³Cmol dm ⁻³										
Latossolo Amarelo Distrocoeso psamítico (a)															
Ap1	0-6	4,8	4,0	0,13	0,09	0,03	0,42	0,47	0,55	2,85	1,01	1,56	3,86	26	35
A2	6-25	5,1	4,4	0,11	0,08	0,07	0,21	0,22	0,32	2,90	0,58	0,90	3,48	16	35
AB	25-70	4,8	4,0	0,11	0,06	0,07	0,12	0,17	0,45	3,45	0,42	0,87	3,87	10	51
Bt1	70-100	4,7	4,0	0,10	0,01	0,04	0,12	0,14	0,33	5,22	0,31	0,64	5,53	5	51
Bt2	100-145	4,8	4,2	0,10	0,01	0,02	0,10	0,13	0,28	6,01	0,26	0,54	6,27	4	51
Bw1	145-165+	4,7	4,2	0,08	0,01	0,01	0,11	0,13	0,35	6,16	0,26	0,61	6,42	4	57
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico (b)															
A1	0-10	5,0	3,9	0,08	0,17	0,03	0,67	0,88	0,30	4,44	1,75	2,05	6,19	28	14
A2	10-25	5,0	3,9	0,09	0,10	0,03	0,53	0,67	0,34	5,02	1,33	1,67	6,35	10	20
AB	25-48	4,6	3,8	0,03	0,10	0,02	0,10	0,22	0,50	8,22	0,44	0,94	8,66	5	53
BA	48-65	4,6	3,8	0,01	0,08	0,01	0,05	0,12	0,51	8,12	0,26	0,77	8,38	2	66
B1	65-83	4,7	3,8	0,01	0,08	0,01	0,05	0,12	0,62	8,03	0,26	0,88	8,29	2	70
B2	83-140+	4,8	3,8	0,01	0,01	0,01	0,05	0,08	0,66	8,89	0,15	0,81	9,04	1	81
Latossolo Vermelho Distrocoeso típico (c)															
Ap1	0-10	6,5	5,4	0,12	0,09	0,04	1,68	0,88	0,22	0,60	2,69	2,91	3,29	81	7
A2	10-53	5,6	4,8	0,12	0,09	0,05	1,12	0,56	0,47	2,25	1,82	2,29	4,07	44	20
AB	53-90	5,2	4,5	0,10	0,05	0,07	0,88	0,33	0,51	4,70	1,33	1,84	6,03	22	27
BA	90-120	4,5	4,0	0,10	0,03	0,06	0,25	0,31	0,49	6,65	0,65	1,14	7,30	8	42
BW1	120-160+	4,5	4,0	0,10	0,03	0,02	0,13	0,12	0,27	5,15	0,30	0,57	5,45	5	47
Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico (d)															
Ap1	0-17	5,7	4,6	0,11	0,09	0,06	0,92	0,99	0,28	2,85	2,06	2,34	4,91	41	11
A2	17-39	5,5	4,4	0,12	0,07	0,06	0,77	0,98	0,33	3,15	1,88	2,21	5,03	37	14
AB	30-68	4,9	3,9	0,11	0,04	0,04	0,53	0,72	0,36	5,50	0,56	1,69	6,06	9	21
BA	68-106	4,9	3,9	0,11	0,05	0,04	0,25	0,22	0,42	5,55	0,56	0,98	6,11	9	42
B1	106-132	5,0	3,8	0,10	0,05	0,03	0,20	0,22	0,38	5,50	0,50	0,88	6,00	8	43
B2	132-180+	4,7	3,8	0,10	0,03	0,03	0,22	0,18	0,37	6,02	0,46	0,83	6,48	7	44
Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (e)															
Ap	0-17	5,3	4,4	2,00	0,15	0,14	2,5	1,0	0,23	5,16	3,79	4,02	8,95	42	5
AB	17-50	4,6	3,8	1,00	0,10	0,06	1,0	0,4	0,77	6,18	1,56	2,33	7,74	20	33
BA	50-80	4,4	3,7	1,00	0,06	0,18	0,6	0,3	0,92	6,17	1,14	2,06	7,31	15	44
Bw1	80-120+	4,4	3,7	1,00	0,06	0,06	0,6	0,3	1,00	7,12	1,02	2,02	8,14	12	49
Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (f)															
Ap1	0-10	5,0	4,2	1,44	0,21	0,18	1,77	1,88	0,33	4,44	4,04	4,37	8,48	47	7
A2	10-28	5,2	4,0	0,92	0,19	0,10	1,21	1,02	0,32	4,42	2,52	2,84	6,94	36	11
AB	28-60	4,8	3,9	0,88	0,14	0,05	0,91	0,99	0,44	5,73	2,09	2,53	7,82	26	17
BA	60-105	4,9	3,7	0,86	0,14	0,05	0,33	0,56	0,61	5,05	1,08	1,69	6,13	17	36
B1	105-123	4,8	3,7	0,15	0,12	0,03	0,30	0,44	0,99	4,02	0,89	1,88	4,91	18	52
B2	123-150+	4,4	3,5	0,10	0,05	0,01	0,12	0,22	0,92	7,22	0,40	1,32	7,62	5	69

Horizontes coesos em negrito. Hor: horizontes; Prof.: Profundidade; SB: Soma de bases; t: CTC efetiva; T: CTC potencial; V%: porcentagem de saturação por bases; m%: saturação por Al da CTC efetiva.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Os espectros de difratometria de raios X (DRX) (Figura 2), mostram grande homogeneidade mineralógica, revelando a caulinita na fração argila como constituinte principal para todos os perfis estudados, comum nos solos dos sedimentos do Grupo Barreiras. Essa característica acontece devido as condições climáticas e geomorfológicas que favoreceram o intenso intemperismo do material parental e a hidrólise ácida, com remoção inicial dos óxidos de Fe e a posterior concentração de caulinita na fração argila (MELO et al., 2001).

Figura 2. Difratogramas da fração argila orientada de amostras saturadas com magnésio (Mg) à temperatura ambiente de solos com horizontes coesos do Estado da Bahia. Leitura em Angstrom (\AA). Latossolo Amarelo Distrocoeso psamítico (a); Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico (b); Latossolo Vermelho Distrocoeso típico (c); e Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico (d); Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (e) e Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (f).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A fração argila constituída predominantemente por caulinita, aparece tanto nos horizontes superficiais quanto nos horizontes coesos e em maiores profundidades, em concordância com resultados obtidos por Gomes et al., (2012) quando estudaram solos dos

Tabuleiros Costeiros sob floresta natural e sob cultivo nos Estados de Alagoas, Sergipe e Bahia. Esses resultados corroboram também aqueles encontrados por Moreau et al., (2006) quando estudaram solos coesos dos Tabuleiros Costeiros no extremo sul da Bahia.

A Largura a Meia Altura (LMA) do reflexo do plano hkl 001 da caulinita dos perfis de Inhambupe variou de 0,1574 a 0,2362 $^{\circ}2\Theta$ e dos perfis de Cruz das Almas de 0,2755 a 0,1968 $^{\circ}2\Theta$. Para os horizontes de um mesmo perfil, não se observou diferenças nos valores de LMA entre os horizontes coesos em relação aos horizontes sub e sobrejacentes. Esses baixos valores de LMA são compatíveis com os que já têm sido referidos para caulinitas do Grupo Barreiras (MELO et al., 2002; GIAROLA et al., 2009) e indicativos de caulinita de boa cristalinidade (FITZPATRICK & SCHWERTMANN, 1982).

Estudos realizados por Resende (1982), afirmam que a predominância da caulinita na fração argila dos solos dos Tabuleiros Costeiros pode contribuir para sua coesão. Segundo este autor, a forma laminar das partículas de caulinita possibilitaria seu ajuste face-a-face nos horizontes com menores teores de matéria orgânica e maior número de ciclos de umedecimento e secagem. Com base nos resultados da caracterização mineralógica obtidos nesse trabalho, é possível afirmar que a gênese dos horizontes coesos estudados não está relacionada a esse atributo, visto que o grau de cristalinidade da caulinita não variou entre horizontes superficiais, coesos e abaixo dos coesos dentro dos mesmo perfis de solo, em concordância com Lima Neto et al., (2010) e Dantas et al., (2014).

Os teores de Fe extraídos por DCB (Fe DCB) e por oxalato de amônio (Fe Ox) (Figura 4), apresentaram-se baixos para todos os perfis estudados. Isto pode ser atribuído ao processo de desferrificação intensa, por condições pedoclimáticas (CORRÊA et al., 2008) e pela dinâmica de mudanças no relevo e no clima durante o processo de deposição de sedimentos do Grupo Barreiras (SUGUIO et al., 1985).

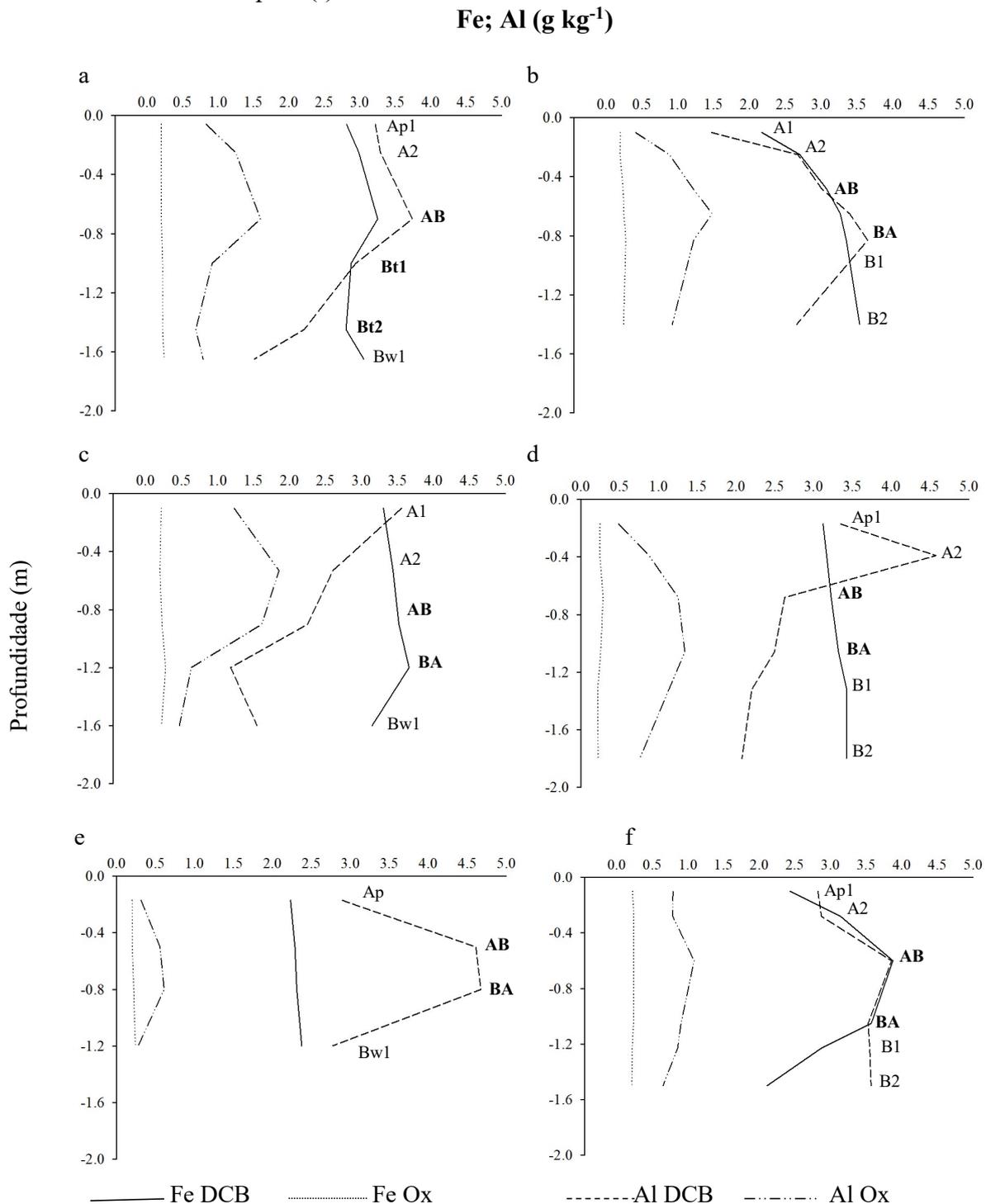
Os teores de Fe DCB foram maiores do que os de Fe Ox para todos os perfis de solo estudados, indicando predominância de formas de ferro mais cristalinas sobre formas de ferro menos cristalinas, o que é confirmado pela relação Fe Ox/ Fe DCB que variou de 0,06 a 0,10 nos horizontes de todos os perfis de solo e apresentou tendência geral de maiores valores na superfície, indicando a influência da matéria orgânica na inibição da cristalização dos óxidos de Fe (SCHWERTMANN, 1966). Os maiores valores de Fe Ox foram observados nos horizontes superficiais de todos os perfis e os teores de Fe cristalinos (Fe DCB) apresentaram valores semelhantes entre os horizontes de todos os perfis de solo estudados. Entretanto estes valores foram ligeiramente superiores nos horizontes com caráter coeso. Resultados

semelhantes foram encontrados por Corrêa et al. (2008) e Moreau et al. (2006) para Argissolos e Latossolos dos Tabuleiros Costeiros do sul da Bahia.

Lima Neto et al. (2010), estudaram horizontes coesos de Latossolos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas com o objetivo de analisar a contribuição de possíveis mecanismos de formação de horizontes coesos e verificaram distribuição dos teores de Fe semelhantes as encontradas nesse trabalho. Os autores também não identificaram uma variação expressiva do Fe cristalino nos horizontes coesos em relação aos não coesos, no entanto, observaram teores Fe Ox ligeiramente superiores nos horizontes coesos. Segundo Filizola et al. (2001), a deficiência de aeração conferida pela presença de horizontes coesos favorece a redução do Fe, incrementando as formas menos cristalinas.

O Al DCB mostrou ligeira acumulação nos horizontes coesos dos perfis (a), (b), (e) e (f). Nos perfis (c) e (d) os maiores valores de Al DCB foram observados nos horizontes superficiais, como observado por Corrêa et al. (2015) quando estudaram forma de Fe, Si e Al na gênese de horizontes coesos dos Tabuleiros Costeiros do sul da Bahia e norte do Espírito Santo. Em todos os perfis de solo estudados, o Al Ox apresentou tendência de acumulação nos horizontes coesos, no entanto, no perfil (a) o horizonte não coeso A2 apresentou maior valor do que os horizontes coesos Bt1 e Bt2; no perfil (c) o horizonte não coeso A2 apresentou o maior teor desse elemento e no perfil (f), o horizonte coeso BA e o não coeso B1 apresentaram o mesmo teor de Al Ox. É importante ressaltar que embora formas de Fe e de Al possam ter apresentado máximos valores em alguns horizontes coesos, isso não significa que estejam relacionados com a coesão, conforme será mostrado com os dados da análise estatística na figura 5.

Figura 3. Ferro extraído com oxalato de amônio (Fe Ox) e ferro extraído com ditionito-citrato-bicarbonato (Fe DCB). Alumínio extraído com oxalato de amônio (Al Ox) e alumínio extraído com ditionito- citrato-bicarbonato (Al DCB). * Letras representam Horizontes de cada perfil. Argissolo Amarelo Distrocoeso latossólico (a); Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico (b); Latossolo Vermelho Distrocoeso típico (c); e Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico (d); Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (e) e Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (f).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Os maiores teores de Si extraído com DCB (Figura 4), que corresponde ao Si associado a óxidos de Fe de melhor cristalinidade e a ciclagem desse elemento pela vegetação foi observado nos horizontes superficiais de todos os perfis estudados, o que é atribuído à ciclagem desse elemento pela vegetação (RESENDE, 1976). Não foi observada tendência de aumento no teor de Si DCB nos horizontes coesos dos perfis de solo estudados. Resultados semelhantes foram obtidos por Corrêa et al. (2015) quando estudaram horizontes coesos de solos dos Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia.

O silício extraído com oxalato de amônio mostrou tendência de acumulação nos horizontes coesos para todos os perfis de solo estudados, concordando com resultados encontrados por Vieira et al. (2012) quando estudaram a contribuição do material amorfo na gênese de horizontes coesos em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Estado Ceará. Os autores observaram, após a extração de material amorfo com oxalato de amônio, que os horizontes coesos apresentaram diminuição da resistência à penetração, indicando que esses compostos são atuantes na gênese de horizontes coesos.

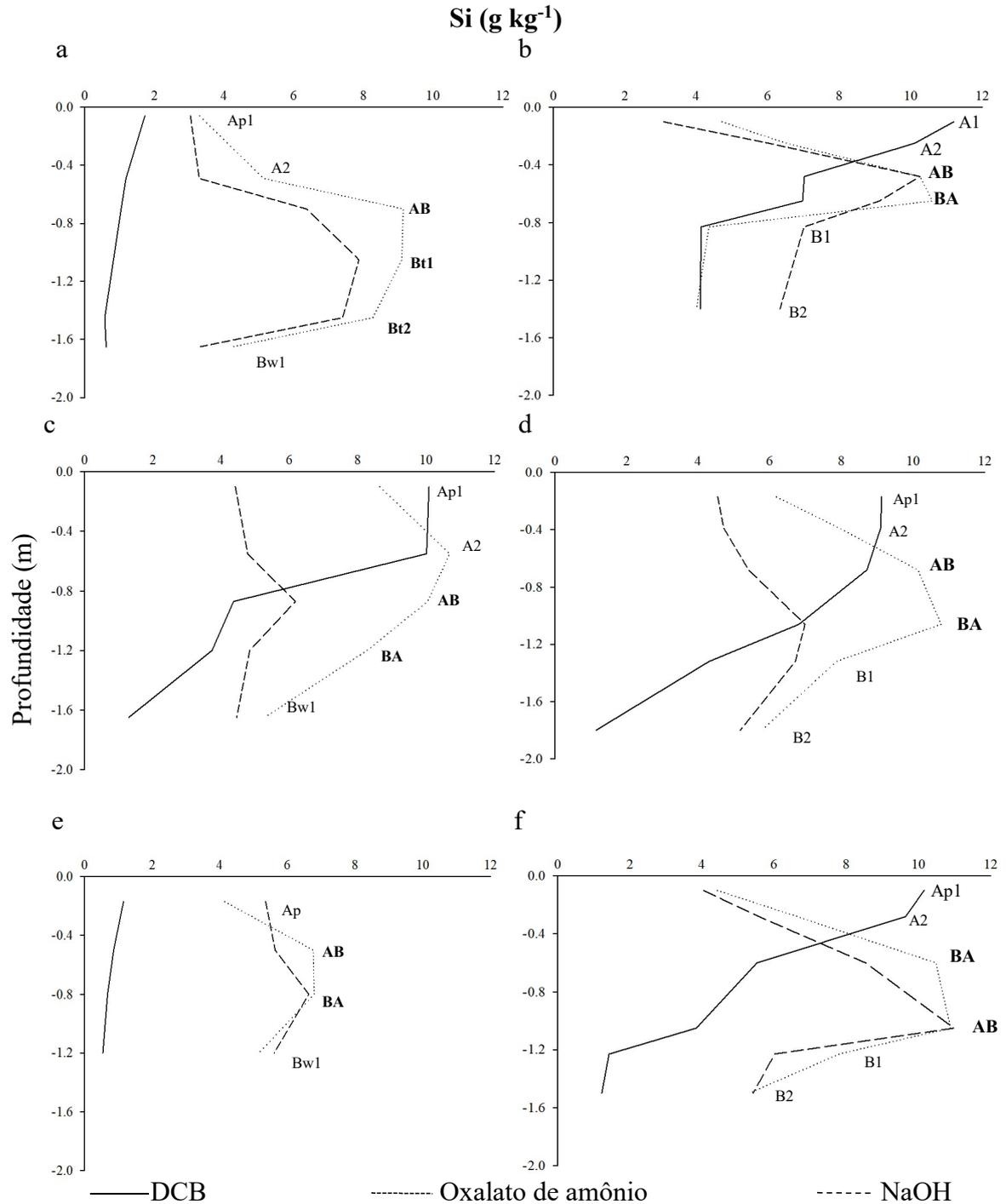
O perfil (c) apresentou comportamento diferenciado, com o horizonte não coeso A2 acumulando o maior teor de Si, seguido pelo horizonte coeso AB. O horizonte não coeso A1, apresentou quantidade similar ao horizonte coeso BA, estando o horizonte Bw1 com o menor teor de Si. O Si extraído com oxalato de amônio é, segundo Schwertmann (1964), o Si ocluído em óxidos/hidróxidos pedogenéticos amorfos e de baixa cristalinidade, no entanto, Georgiades et al. (2013) verificaram que a extração de Si com solução de oxalato de amônio pode não dissolver completamente óxidos e hidróxidos pedogênicos altamente cristalinos em amostras de solo. Portanto, o Si ocluído em óxidos pedogenéticos pode ser subestimado, se esses compostos do solo estiverem presentes.

Para todos os perfis estudados, os teores de Si extraídos com NaOH foram menores do que os extraídos com oxalato de amônio, porém com distribuição muito semelhante, mostrando acumulação nos horizontes coesos. Segundo Georgiades et al., (2013) e Danilova et al. (2010) o procedimento de extração de Si com NaOH, quantifica principalmente a Si minerogênica, resultante da precipitação de Si em superfícies de grãos minerais e a Si biogênica, que é resultante da acumulação de Si nos tecidos das células das plantas, no entanto, ambas as autoras trabalharam com extração sequencial de Si em solos, o que pode ter retirado em passos anteriores ao da extração com NaOH, outras frações de Si extraíveis com esse reagente.

As plantas absorvem Si na forma de ácido silícico, Si(OH)_4 , e acumulam na forma de corpos silicosos e/ou fitólitos que são depositados no solo após a morte da planta ou de partes

delas, e decomposição da matéria orgânica libera os corpúsculos de sílica que passam a integrar a matriz mineral do solo (PIPERNO, 2006). No solo, os corpúsculos de sílica sofrem constantes alterações reguladas por fatores como clima, relevo, solo e tempo e liberam Si amorfa que tende a precipitar, esse processo é conhecido como tafonomização e segundo Osterrieth et al. (2009), pode constituir um importante indicador do ambiente de formação e dos processos de pedogênese. Os resultados das análises de Si extraído por oxalato de amônio e NaOH, mostram claramente a efetiva participação desse compartimento de Si que podem estar atuando na gênese de horizontes coesos dos solos dos Tabuleiros Costeiros estudados.

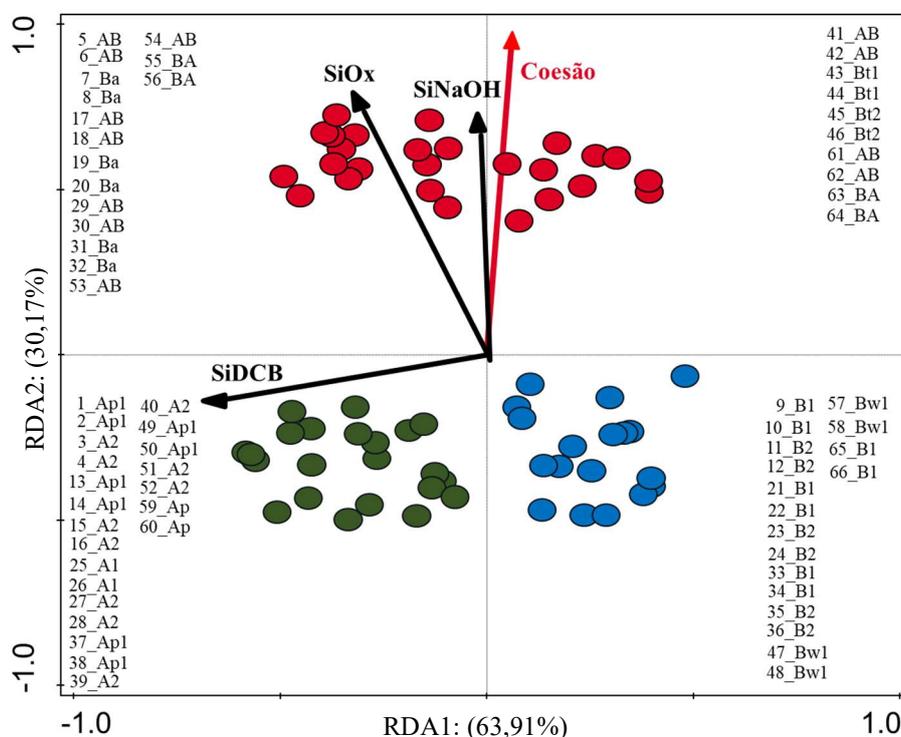
Figura 4. Silício extraído com oxalato de amônio (Si Oxalato); hidróxido de sódio (Si NaOH); e ditionito- citrato-bicarbonato de sódio (Si DCB). * Letras representam Horizontes de cada perfil. Latossolo Amarelo Distrocoeso psamítico (a); Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico (b); Latossolo Vermelho Distrocoeso típico (c); e Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico (d); Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (e) e Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (f).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Análise de redundância baseada na distância euclidiana (db-RDA) (Figura 5) com seleção progressiva para os atributos físicos e químicos, para Fe e Al extraídos pelas soluções DCB e oxalato de amônio e Si extraído pela solução DCB, oxalato de amônio e hidróxido de sódio, identificou os principais fatores envolvidos na gênese dos horizontes coesos dos solos dos Tabuleiros Costeiros estudados com base nos valores de probabilidade de significância, valor-p, testando cada atributo individualmente e incluindo no gráfico somente os atributos com valor-p significativo. As amostras foram agrupadas conforme suas características em comum permitindo sua diferenciação e formando grupos de pontos em vermelho, no primeiro e segundo quadrantes, que correspondem aos horizontes coesos, em verde, no terceiro quadrante, que correspondem aos horizontes superficiais e em azul, no quarto quadrante, que correspondem aos horizontes subsuperficiais abaixo dos horizontes coesos. Todos os atributos estudados explicaram juntos 94,08% da variação total dos dados, sendo que o eixo 1 explicou 63,91% e o eixo 2, 30,17%.

Figura 5. db-RDA com seleção direta de variáveis explicativas geradas a partir de matrizes de distâncias Euclidianas, com 499 permutações de Monte-Carlo e corrigidas pelo FDR.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Os atributos físicos, químicos, Fe e Al extraídos por DCB e oxalato de amônio não apresentaram valores-p significativos, o que possibilita inferir que esses atributos não possuem correlação com a gênese dos horizontes coesos estudados. O Si Ox (valor-p calculado= 0,014; valor-p ajustado= 0,002) e o Si NaOH (valor-p calculado= 0,0105; valor-p ajustado= 0,002) mostraram estreita relação com os horizontes coesos dos solos estudados, indicando que a gênese dos mesmos está relacionada com a presença desses elementos, concordando com Araújo Filho, Carvalho e Silva (2001) e Vieira et al. (2012) que associam a presença de sílica amorfa no solo com o endurecimento dos horizontes coesos, destacando seu papel como agente cimentante durante o período seco.

O Si DCB (valor-p calculado= 0,021; valor-p ajustado= 0,002) apresentou maior relação com o terceiro quadrante do gráfico, onde estão agrupadas as amostras dos horizontes superficiais, reforçando a importância da vegetação na ciclagem desse compartimento de Si (RESENDE, 1976). Os atributos com valor-p significativos não apresentaram correlação com os horizontes subsuperficiais abaixo dos horizontes coesos, apresentados em azul, situados no quarto quadrante.

1.6. CONCLUSÕES

Os atributos físicos e químicos não apresentaram correlação com a gênese dos horizontes coesos dos solos dos Tabuleiros Costeiros estudados, no entanto apresentaram propriedades que dificultam o desenvolvimento radicular de plantas.

A análise mineralógica dos solos estudados revelou que a fração argila é constituída predominantemente por caulinita tanto nos horizontes superficiais quanto nos horizontes coesos e em maiores profundidade e não há variação intra-perfis no grau de cristalinidade da caulinita, indicando que a gênese da coesão de horizontes de solos dos Tabuleiros Costeiros estudados não está relacionada com esse atributo.

Os teores de Fe e Al extraídos por DCB e oxalato de amônio não mostraram tendência expressiva de acumulação nos horizontes coesos dos perfis de solos estudados, evidenciando que as formas de baixa e/ou alta cristalinidade desses elementos não possuem correlação direta com a gênese desses horizontes.

A sílica em suas diferentes formas, isto é, amorfa minerogênica, amorfa biogênica e a oclusa em óxidos/hidróxidos, foram as únicas formas desse elemento que apresentaram variação intra-perfil, com acumulação nos horizontes coesos de todos os perfis de solos estudados, indicando que as causas da coesão podem estar relacionadas com a presença dessas formas de sílica no solo, destacando a importância da sílica como agente condicionador desses horizontes.

1.7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, W.A.P.; COSTA, L.M.; MELLO, J.W.V.; NEVES, J.C.L. Distribuição de frequência de tamanho da fração areia e compactidade relativa de solos desenvolvidos de sedimentos do Grupo geológico Barreiras. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.22, p.1-9, 1998.

AJAYI, A.E.; DIAS JUNIOR, M.S.; CURI, N.; GONTIJO, I.; ARAUJO JUNIOR, C.F.; VASCONCELOS JUNIOR, A.I. Relation of strength and mineralogical attributes in Brazilian latosols. **Soil Tillage Research**, v.102, p.14-18, 2009.

ARAÚJO FILHO, J.C.; CARVALHO, A.; SILVA, F.B.R. Investigações preliminares sobre pedogênese de horizontes coesos sobre solos dos Tabuleiros Costeiros do nordeste do Brasil. In: **Workshop coesão em solos dos Tabuleiros Costeiros**; 2001; Aracaju, Brasil. Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2001. p.123-142.

BIGARELLA, J.J. The Barreiras Group in Northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciência**, v.47, p.365-393, 1975. Suplemento.

BLAKE, G.R. Bulk density. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; ENSMINGER, L.E.; WHITE, J.L.; CLARK, F.E.; DINAUER, R.C. *Methods of soil analysis; Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. Madison: **American Society of Agronomy**; 1965. p.374-390.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Particle density. In: KLUTE, A. *Methods of soil analysis*; 1986; Madison, United States. Madison: American Society of Agronomy, **Soil Science Societ of America Journal**, 1986. p.377-382.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia – Secretaria Geral. **Pedologia**. In: Folhas SF.23/24-Rio de Janeiro/Vitória. Projeto RADAMBRASIL, 1982. p. 385- 552.

CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L. Caracterização física de uma classe de solo do ecossistema do Tabuleiro Costeiro. **Scientia Agricola**, v.55, p.367-378, 1998.

COOPER, M.; MENDES, L.M.S.; SILVA, W.L.C.; SPAROVEK, G. A national soil profile database for Brazil available to international scientists. **Soil Science Societ of America Journal**, v.69, p.649-652, 2005.

COULON, E.; BRUAND, A. Effects of compaction on the pore space geometry in sandy soils. **Soil Tillage Reserch**, v.15, p.137–152, 1989.

CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; ARAÚJO FILHO, J.C.; CAMÊLO, D.L. Formas de Ferro, Silício e, ou, Alumínio na Gênese de Fragipãs e Horizontes Coesos dos Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.39, p.1-10, 2015.

CORREA, M.M.; KER, J.C.; BARRON, V.; TORRENT, J.; FONTES, M.P.F.; CURI, N. Propriedades cristalográficas de caulinitas de solos do ambiente Tabuleiros Costeiros, Amazonia e Reconcavo Baiano. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.32, p.1857-1872, 2008.

DANILOVA, A.A.; SAUER, A.D.; BREUER, J.B.; HERRMANN, L.A.; ZAREI, M.A.; STAHR, K. Development of a method for sequential extraction of Si-pools from soils. In: **World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World**, (DVD-ROM); 2010, Brisbane, Australia. Brisbane; 2010. P.31-34.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA, 2018.

FILIZOLA, H.F.; LAMOTTE, M.; FRITSCH, E.; BOULET, R.; ARAÚJO FILHO, J.C.; SILVA, F.B.R.; LEPRUN, J.C. Os fragipãs e duripãs das depressões dos Tabuleiros Costeiros do nordeste brasileiro: Uma proposta de evolução. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.25, p.947-964, 2001.

FITZPATRICK, R.W.; SCHWERTMANN; U. Al-substituted goethite – An indicator of pedogenic and other weathering environments in South Africa. **Geoderma**, v.27, p.335-47, 1982.

FREITAS, L.C.; GLORIA, N.A. I- Determinação colorimétrica do silício em solo.: II - aplicação do método do sílico-molibdato amarelo e do azul de molibdênio na determinação da sílica total e solúvel em solos. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v.33, p.15-33, 1976.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. ed. *Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods*; 1986; Madison, United States. Madison: American Society of Agronomy, **Soil Science Society of America**, 1986. p.383-409.

GEORGIADIS, A.; SAUER, D.; HERRMANN, L.; BREUER, J.; ZAREI, M.; STAHR, K. Development of a method for sequential Si extraction from soils. **Geoderma**, v.210, p. 251–261, 2013.

GIAROLA, N.F.B.; LIMA, H.V.; ROMERO, R.E.; BRINATTI, A.M.; SILVA, A.P. Mineralogia e cristalografia da fração argila de horizontes coesos de solos nos Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.33, p.33-40, 2009.

GOMES, J.B.V.; ARAÚJO FILHO, J.C.; CURI, N. Solos de Tabuleiros Costeiros sob florestas naturais e sob cultivo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.32, p.233-46, 2012.

GOMES, J.B.; VASCONCELLOS, A.F.; COELHO, J.; VIDAL-TORRADO, P.; COOPER, M.S.; ALVARENGA, E.; CURI, N. Cemented Horizons and Hardpans in the Coastal Tablelands of Northeastern Brazil. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.41, p.1-18, 2017.

JACOMINE, P.K.T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. **In: Anais, Reunião técnica sobre solos coesos dos Tabuleiros Costeiros**; 1996; Cruz das Almas, Brasil. Aracaju: EMBRAPA-CPATC, EMBRAPACNPMF/EAUFBA/IGUFBA, 1996. p.1-80.

JACOMINE, P.K.T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. **In: CINTRA, L.F.D.; ANJOS, J.L.; IVO, W.M.P.M. Workshop Coesão em solos dos Tabuleiros Costeiros**, 2001, Aracaju. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros; 2001. p.19-46.

LEPES, J.; SMILAUER, P. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. **Bulletin of the Ecological Society of America**, 2005.

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 Ciência Solo**, v.28, p.467-476, 2004.

LIMA NETO, J.A.; RIBEIRO, M.R.; CORREA, J.F.; SOUZA JUNIOR, V.S.; LIMA, J.F.W.F.; FERREIRA, R.F.A.L. Caracterização e gênese do caráter coeso em Latossolos Amarelos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v.33, p.1001-1011, 2009.

LIMA NETO, J.A.; RIBEIRO, M.R.; CORRÊA, M.M.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; ARAÚJO FILHO, J.C.; 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 Ciência Solo**, v.34, p. 473-486, 2010.

LUZ, L.D.; KALINOVSKI, E.C.Z.; PAROLIN, M.; SOUZA FILHO, E.E. Estágio atual do conhecimento sobre fitólitos no Brasil. **Terrae Didática**, v.11, p.52-64, 2015.

MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **In: Book, Clays & clay mineral conference**; 1960; London, England. London: Proceedings; 1960; p.317-327.

MEIRELES, M.C.S.; RIBEIRO, L.P. Caracterização da sílica em horizontes coesos de solos de tabuleiros. **In: Resumo expandido, 25º Congresso brasileiro de ciência do solo**; 1995; Viçosa, Brasil. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Universidade Federal de Viçosa, 1995. p.1688-1689.

MELO, V.F.; SINGH, B.; SCHERER, C.E.G.R.; NOVAIS, R.F.; FONTES, M.P.F. Chemical and mineralogical properties of kaolinite-rich Brazilian soils. **Soil Science Societ of America Journal**, v.65, p.1324-1334, 2001.

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 Ciência do Solo**, v.26, p.53-64, 2002.

MELO, F.J.R.; SANTOS, M.C. Micromorfologia e mineralogia de dois solos de Tabuleiros Costeiros de Pernambuco. **In: Resumo expandido, 25º Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Viçosa, Brasil 1995. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 1995; p. 77-78.

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.

OLIVEIRA, L.B.; DANTAS, H.S.; CAMPELO, A.B.; GALVÃO, S.J.; GOMES, I.F. Caracterização de adensamento no subsolo de uma área de tabuleiro da estação Experimental do Curado, Recife. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.3, p.207- 214, 1968.

OSTERRIETH, M.L.; MADELLA, M.; ZURRO, D.; ALVAREZ, M.F. Taphonomical aspects of silica phytoliths in the loess sediments of the Argentinean Pampas. **Quaternary Internacional**, v.193, p.70-79, 2009.

PAIVA, A.Q.; SOUZA, L.S.; RIBEIRO, A.C.; COSTA, L.M. Propriedades físico-hídricas de solos de uma topossequência de tabuleiro do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.2295-2302, 2000.

RESENDE, M. Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil (**Tese de doutorado**). West Lafayette, Purdue University, 1976.

RESENDE M. **Pedologia**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1982.

RESENDE, M.; CARVALHO FILHO, A.; LANI, J.L. Características do solo e da paisagem que influenciam a susceptibilidade à erosão. **In: Anais, 1º simpósio sobre manejo e conservação do solo no cerrado**; 1992; Campinas, Brasil. Campinas: Fundação Cargil; 1992. p.32-67.

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

SACCONE, L.; CONLEY, D.; KONING, E.; SAUER, D.; SOMMER, M.; KACZOREK, D.; BLECKER, S.; KELLY, E. Assessing the extraction and quantification of amorphous silica in

soils of forest and grassland ecosystems. **European Journal of Soil Science**, v.58, p.1446–1459, 2007.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. Viçosa: SBCS; 2015.

SCHWERTMANN, U. Inibitory effect of soil organic matter on the crystallization of amorphous ferric hydroxides. **Nature**, v.212, p.645-646, 1966.

SCHWERTMANN, U. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. Z. Pflanzenernähr. **Düng. Bodenkd**, v.105, p.194-202, 1964.

SILVA, A.J.N.; RIBEIRO, M.R. Caracterização de Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: Propriedades químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.291-299, 1998.

SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; PAIVA, A.Q.; RODRIGUES, A.C.V.; RIBEIRO, L.S. Distribuição do sistema radicular de citros em uma topossequência de solos de tabuleiro costeiro do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2008;v.32, p.503-513, 2008.

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. **Brazilian Journal of Geology**, v.15, p.273 – 286, 1985.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995 (Boletim Técnico 5).

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 Brasileira de Ciência do Solo**, v.43, p.623-632, 2012.

CAPÍTULO 2: SÍLICA EM SOLOS DE TABULEIROS COSTEIROS DO ESTADO DA BAHIA E SUA RELAÇÃO COM A GÊNESE DOS HORIZONTES COESOS

2.1. Resumo: O silício é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, ocorrendo como o principal constituinte da maior parte dos minerais presentes nas rochas e nos solos. Em solos, a maior parte do silício ocorre em formas cristalinas estáveis, presente nos minerais primários e secundários, sendo os componentes amorfos, mais instáveis, geralmente pouco expressivos, o que contribui para a manutenção das muito baixas concentrações de sílica na solução da maioria dos solos. Essas três formas principais da sílica fazem parte de um sistema dinâmico no qual se pode identificar diferentes frações com diferentes graus de interação com a matriz do solo, são essas: a fração sílica móvel ou solúvel, sílica adsorvida nas superfícies dos minerais, sílica da matéria orgânica do solo, sílica oclusa em óxidos e hidróxidos pedogenéticos, sílica amorfa minerogênica e sílica amorfa biogênica. A sílica amorfa, juntamente com ciclos constantes de umedecimento e secagem têm sido destacados na literatura como importantes fatores responsáveis pelos mecanismos de coesão em horizontes coesos de solos dos Tabuleiros Costeiros. O objetivo desse trabalho foi estudar os diferentes compartimentos do silício e sua relação com a gênese de horizontes coesos de solos dos Tabuleiros Costeiros derivados de sedimentos do Grupo Barreiras. Para a realização desse estudo, foram coletadas amostras em seis perfis de solos com expressiva manifestação do caráter coeso, quatro desses localizados no município de Inhambupe, na mesorregião geográfica do Litoral Norte da Bahia e dois na mesorregião geográfica do Recôncavo Sul da Bahia, no município de Cruz das Almas. Os horizontes genéticos de cada perfil de solo, foram descritos e separados quanto às características morfológicas e foi realizada a extração sequencial de silício. Com os resultados desse trabalho foi possível verificar que a distribuição dos diferentes compartimentos de sílica nos Latossolos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros estudados, mostrou que a manifestação do caráter coeso, independe da variação na coloração dos solos ou do processo pedogenético dominante na formação da classe de solo (Argissolo ou Latossolo), sendo sua gênese consequência da acumulação de sílica oclusa em óxidos e hidróxidos e da sílica amorfa biogênica nos horizontes coesos, possibilitando a manifestação da coesão durante o período seco.

Palavras-chave: compartimentos de sílica, sílica amorfa, extração sequencial de sílica.

SILICA IN COASTAL TABLE SOILS OF THE STATE OF BAHIA AND ITS RELATIONSHIP WITH THE GENESIS OF COHESIVE HORIZONS

2.1. Abstract: Silicon is the second most abundant element in the earth's crust, occurring as the main constituent of most minerals present in rocks and soils. In soils, most silicon occurs in stable crystalline forms, present in primary and secondary minerals, with the amorphous components being more unstable, generally of little expression, which contributes to the maintenance of very low concentrations of silica in the solution of most soils. These three main forms of silica are part of a dynamic system in which different fractions with different degrees of interaction with the soil matrix can be identified. These are the fraction: mobile or soluble silica, silica adsorbed on mineral surfaces, silica of matter organic soil, silica occluded in pedogenic oxides and hydroxides, amorphous mining silica and biogenic amorphous silica. Amorphous silica, together with constant wetting and drying cycles, have been highlighted in the literature as important factors responsible for the cohesion mechanisms in cohesive horizons of coastal Tabuleiros soils. The objective of this work was to study the different silicon compartments and their relationship with the genesis of cohesive horizons of soils in the Coastal Tablelands derived from Grupo Barreiras sediments. In order to carry out this study, samples were collected in six soil profiles with expressive expression of cohesive character, four of them located in the municipality of Inhambupe, in the geographical mesoregion of the North Coast of Bahia and two in the geographical mesoregion of the Recôncavo Sul da Bahia, in the municipality of Cruz das Almas. The genetic horizons of each soil profile were described and separated in terms of morphological characteristics and sequential silicon extraction was performed. With the results of this work it was possible to verify that the distribution of the different silica compartments in the Oxisols and Argisols of the Coastal Tablets studied, showed that the manifestation of the cohesive character, regardless of the variation in soil color or the dominant pedogenetic process in the formation of the class of soil (Argisol or Latosol), its genesis being a consequence of the accumulation of silica occluded in oxides and hydroxides and of amorphous biogenic silica in cohesive horizons, allowing the manifestation of cohesion during the dry period.

Keywords: silica compartments, amorphous silica, sequential silica extraction.

2.3. INTRODUÇÃO

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre após o oxigênio, ocorrendo na forma de silicatos tanto primários como secundários, podendo ser encontrado na forma cristalina, amorfa e em solução (WOLLAST & MACKENZIE, 1983). A distribuição das frações de Si no solo é dependente de fatores como o material de origem, clima, vegetação, textura e intensidade de intemperismo. Esse último possibilita as transformações e alterações de minerais e incrementam no solo o ácido monossilícico (H_4SiO_4), que é a forma disponível para a absorção pelas plantas (DIETZEL, 2000).

A concentração de ácido monossilícico na solução da maioria dos solos é muito baixa e estes, ao entrar em contato com os coloides do solo, como argilominerais, óxidos de Fe e óxidos de Al, podem ser adsorvido e formar polímeros coloidais (DOUCET et al., 2001). Dentre esses, os óxidos de Al são os principais compostos capazes de adsorvê-lo e o pH é um dos fatores que influenciam na sua maior ou menor adsorção (CORNELIS et al., 2011). Na faixa ácida, mesmo em quantidades muito baixas, o alumínio favorece a precipitação da sílica coloidal. Em meio alcalino, são necessárias quantidades muito maiores de alumínio para promover sua precipitação (ARAÚJO FILHO et al., 2001).

Em relação a distribuição de diferentes frações de Si no solo Georgiadis et al. (2013), descreveram seis compartimentos: 1- a fração sílica móvel ou solúvel, presente na solução do solo; 2- sílica adsorvida nas superfícies dos minerais; 3- sílica da matéria orgânica do solo; 4- sílica oclusa em óxidos e hidróxidos pedogenéticos; 5- sílica amorfa minerogênica, resultante da precipitação de Si em superfícies de grãos minerais e; 6- sílica amorfa biogênica, resultante da acumulação de Si nos tecidos das células das plantas.

Nos vegetais, a acumulação de sílica é dependente de processos ativos, regulados por mecanismos genéticos e fisiológicos das plantas, e passivos, que estão relacionados principalmente às condições climáticas locais do seu ambiente de crescimento (PIPERNO, 2006). Essa acumulação possibilita que as plantas formem estruturas silicosas microscópicas amorfas aos raios X, chamadas de fitólitos, que são resultantes da deposição de sílica intra e extracelular após sua absorção da solução do solo (PIPERNO, 2006; COSTA et al., 2010).

O processo de absorção do ácido monossilícico da solução do solo pelas plantas ocorre por canais de entrada de água e pelos espaços livres da membrana plasmática a partir do qual o elemento é transportado principalmente para as partes aéreas, como folhas, frutos e brácteas onde a produção de fitólitos é mais abundante. Após a morte do vegetal ou de partes do mesmo,

os fitólitos são depositados no solo e passam a liberar Si amorfa biogênica através de processos que atuam na sua tafonomização (PIPERNO, 1991; RAVEN, 2001).

A sílica, juntamente com ciclos constantes de umedecimento e secagem, tem sido destacada na literatura como importante agente condicionador em horizontes coesos de solos dos Tabuleiros Costeiros (MEIRELLES & RIBEIRO, 1995; VIEIRA et al., 2012; GOMES et al., 2017). Ribeiro (1986), estudando solos dos Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia, determinou a sílica total e constatou maior concentração desse elemento nos horizontes coesos, observou também, através da micromorfologia, a presença de sílica amorfa como condicionador da cimentação em microagregados através do preenchimento dos poros. Referente a origem da sílica, o autor sugere que o quartzo, minerais primários e processos como degradação de minerais argilosos contribuem no fornecimento de sílica ao horizonte adensado.

Os Tabuleiros Costeiros derivados do Grupo Barreira apresentam fitofisionomia que passaram por diversas modificações durante o período Holoceno, principalmente no que diz respeito ao clima, geomorfologia e variações do nível relativo do mar (CUNHA et al. 2017). Esses processos de modificação, resultaram na substituição da vegetação existente por uma vegetação adaptada às condições ambientais predominantes e podem ter alterado a dinâmica do Si e influenciado na formação dos solos da região litorânea do Brasil. Dessa forma, o entendimento sobre os compartimentos de sílica nos solos, torna-se essencial, uma vez que esse elemento pode fornecer informações que esclareçam a gênese dos horizontes coesos dos solos dos Tabuleiros Costeiros. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi conhecer os reservatórios de silício e sua relação com a gênese de horizontes coesos de solos dos Tabuleiros Costeiros derivados de sedimentos do Grupo Barreiras.

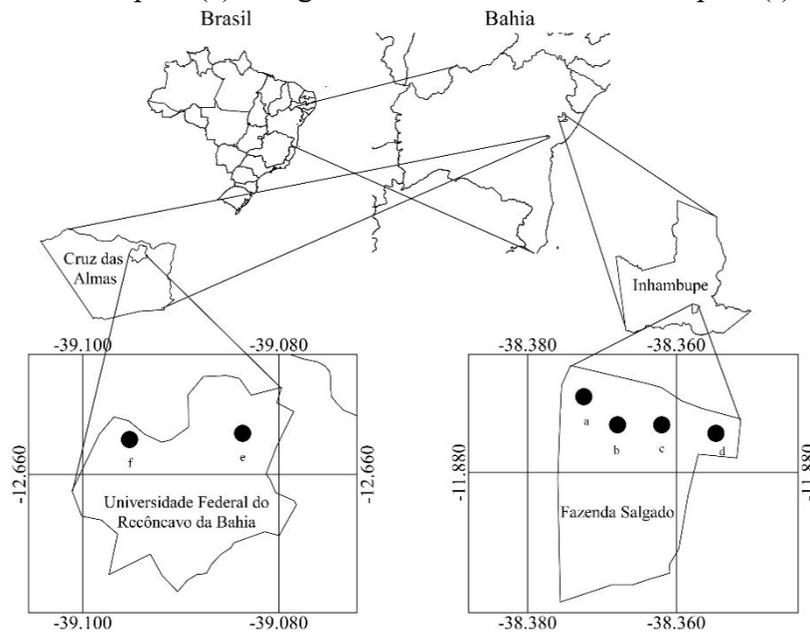
2.4. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização desse estudo, foram coletadas amostras em seis perfis de solos com expressiva manifestação do caráter coeso, localizados em duas áreas, a primeira no município de Inhambupe, na mesorregião geográfica do Litoral Norte da Bahia, inserida na fazenda Salgado, pertencente a empresa Bahia Pulp, atualmente a área é utilizada para florestamento comercial de eucalipto. Foram coletadas nesse local, amostras de solos em quatro trincheiras correspondentes aos seguintes perfis de solo: Latossolo Amarelo Distrocoeso psamítico (a); Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico (b); Latossolo Vermelho Distrocoeso típico (c); e Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico (d). O desnível topográfico da paisagem é de 18 m; o perfil (a) está localizado na cota altimétrica mais alta de 232 m, os perfis (b) e (c)

em cotas intermediárias, 227 e 222 m respectivamente, e o perfil (d) na cota mais baixa, 214 m, em relação ao nível do mar.

A segunda área está localizada na mesorregião geográfica do Recôncavo Sul da Bahia, no município de Cruz das Almas, mais precisamente no campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, a 178 km da primeira, sendo utilizada com pastagem. Foram coletadas amostras de dois perfis de solo: Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (e) e Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (f). A paisagem apresenta desnível de 13 metros, estando o perfil (e) localizado em cota altimétrica de 224 m e o perfil (f) a 211 m em relação ao nível do mar. As duas áreas estão localizadas na unidade geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros (BRASIL, 1982), como apresentado na Figura 1.

Figura 1. Mapa de localização dos perfis de solos estudados nos municípios de Inhambupe e Cruz das Almas-Ba. Latossolo Amarelo Distrocoeso psamítico (a); Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico (b); Latossolo Vermelho Distrocoeso típico (c); e Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico (d); Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (e) e Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (f).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Os horizontes genéticos de cada perfil de solo, foram descritos e separados quanto às características morfológicas e do ambiente segundo o manual de descrição e coleta de solo em campo (SANTOS et al., 2015) sendo coletadas amostras deformadas em todos os horizontes. As amostras foram beneficiadas, por meio de secagem, destorroamento e tamisação em peneira de malha de 2 mm, a fim de se obter a fração terra fina seca ao ar (TFSA).

A extração sequencial de silício foi realizada no Laboratório de Gênese, Mineralogia e Classificação de solos da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, em seis etapas com base no trabalho de Georgiades et al. (2013), com quatro repetições iniciais que seguem até a quarta etapa da extração, quando então as repetições foram divididas em duas para as extrações subsequentes. Os extratos de cada etapa de extração foram centrifugados e filtrados com filtros do tipo quantitativo. As amostras de solo foram lavadas com água destilada após cada etapa de extração, para remover o extrator da etapa anterior.

1. O Si da fração de sílica móvel (Si m), que corresponde ao Si presente na solução do solo, foi extraído pela solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, usando uma relação de solo:solução de 1:5, sendo 1 g de solo para 5 ml de solução (HAYSOM & CHAPMAN, 1975). As amostras foram agitadas lentamente, para evitar abrasão entre grãos minerais, em um agitador horizontal por 24 h, agitando-se as amostras durante 1 minuto a cada hora para acelerar a extração.

2. O Si da fração de sílica adsorvida (Si ad), que correspondente ao Si adsorvido nas superfícies de argilominerais e óxidos, foi obtido por extração com ácido acético glacial $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ usando uma relação solo:solução de 1:10 (SNYDER, 2001) e agitação lenta (50 rpm) contínua por 24 horas.

3. A fração do Si associada à matéria orgânica (Si MO) foi obtida por oxidação das amostras com H_2O_2 a $85 \text{ }^\circ\text{C}$ (BLUME et al., 2011). As amostras foram tratadas com 20 ml de H_2O_2 a 17,5% agitando manualmente por 6 vezes e mantidas por 1 h em temperatura ambiente. Em seguida, foram adicionados 10 ml de H_2O_2 a 35% e as amostras foram mantidas em banho-maria a $85 \text{ }^\circ\text{C}$, até as amostras não apresentarem mais liberação de gases e espumas.

4. O Si ocluso em óxidos e hidróxidos pedogenéticos (Si oc) foi extraído pela mistura de oxalato de amônio $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ e ácido oxálico $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ sob luz UV, para incrementar a dissolução (DE ENDREDY, 1963). Primeiro, o extrator foi aplicado à luz do dia e à temperatura ambiente por 8 h, usando uma relação solo:solução de 1:50. Durante a noite as suspensões foram irradiadas com luz UV (com uma distância entre as amostras e a lâmpada UV de aproximadamente 20 cm). As amostras foram agitadas horizontalmente durante 1 min a cada hora durante todo o procedimento.

Após essa etapa, as quatro repetições foram divididas em duas, conforme segue.

5. Duas repetições foram submetidas à separação da bio-opala com politungstato de sódio $\rho = 2,35 \text{ g cm}^{-3}$ (MADELLA et al., 1998). Após essa separação, o Si dos fitólitos e demais corpos silicosos foi dissolvido com solução de hidróxido de sódio a $0,2 \text{ mol L}^{-1}$, por 168 h com agitação lenta (50 rpm) em temperatura ambiente, usando uma relação de solo:solução de 1:400. Nesta etapa, foi obtida a sílica amorfa biogênica (Si b). Parte do material obtido em uma das amostras

foi reservada para posterior observação em microscópio eletrônico petrográfico com feixes de luz cruzados com aumento de 400x, para permitir a distinção entre fitólitos e grãos minerais com mesma densidade e a identificação e visualização das condições de preservação dessas estruturas no solo. A identificação dos fitólitos foi feita com base no Internacional Code for Phytolith Nomenclature – ICPN 1.0 (MADELLA et al., 2005).

6. As outras duas amostras foram submetidas à extração com solução de NaOH 0,2 mol L⁻¹ da mesma maneira que a descrita na etapa 5. Essa etapa fornece a quantidade total de sílica amorfa minerogênica e biogênica (Si mb). A sílica amorfa minerogênica (Si min) foi obtida por diferença (Si mb – Si b).

A determinação da sílica em todos os extratos foi feita por colorimetria, segundo Freitas & Glória (1976). Esse método mostrou-se extremamente sensível para detecção de pequenas quantidades de sílica em solução.

Para identificar as frações de sílica relacionadas com a gênese dos horizontes coesos, foi feita a transformação dos dados por Log(x+1) no intuito de obter normalidade na sua distribuição e foi realizada uma Análise de Redundância Baseada em Distância (db-RDA) com seleção direta de variáveis explicativas geradas a partir de matrizes de distâncias euclidianas, com 499 permutações de Monte-Carlo e corrigidas pela Taxa de Detecção Falsa (FDR) de matrizes euclidianas, que é projetada para controlar a rejeição incorreta de hipóteses com seleção progressiva, tendo como parâmetro de seleção os valores de probabilidade de significância, valor-p, para inclusão e exclusão dos atributos dos solos estudados, usando o software Canoco, versão 5 (LEP'S & SMILAUER, 2005).

2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se, do perfil (a) ao (c) (Tabela 1) uma variação de cores dos solos, de amarelo a vermelho, o que pode estar relacionado com fatores locais que proporcionem uma melhor drenagem no perfil (c) e/ou com a remoção de material da parte superior da paisagem até as partes mais baixas, principalmente hematita (REZENDE, 2000). O perfil (d) apresenta coloração acinzentada devido a posição mais baixa em que esse solo se encontra na paisagem, indicando que em algum momento da evolução do relevo, o mesmo foi submetido a situações de maior umidade, pela presença do lençol freático mais superficial, resultando em maior redução do ferro, condicionando a formação da cor acinzentada (JACOMINE, 1996). Os perfis (e) e (f) apresentaram cores amarelas.

Os horizontes superficiais, para todos os solos estudados, apresentaram estrutura em blocos subangulares fracos, médios ou grandes, enquanto nos horizontes subsuperficiais foi identificada estrutura fraca em blocos subangulares médios e blocos subangulares grandes e fracos que se desfazem em granular. Todos os solos avaliados apresentaram nos horizontes transicionais AB e BA estrutura maciça (Ma).

A consistência dos horizontes superficiais de todos os solos estudados apresentou-se dura ou muito dura quando secos e friável ou muito friável quando úmidos. Quando molhados, apresentaram consistência não plástica e não pegajosa, refletindo a textura mais arenosa dos mesmos. Os horizontes transicionais, iniciando no topo do horizonte B, apresentaram consistência muito dura quando secos, friável quando úmidos e ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa quando molhados. Os horizontes abaixo do coeso, mostraram consistência ligeiramente dura quando secos, friável quando úmidos e ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa quando molhados, exceto para o perfil (f), que apresentou consistência plástica e pegajosa quando molhados.

Foi observado grau de coesão moderado a forte nos perfis (a), (b) e (d) e forte nos perfis (c), (e) e (f). Nunes (2011), estudando solos da unidade geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros, com as cores citadas, verificaram que existe uma redução no diâmetro e na quantidade de raízes em profundidade, variando de poucas a raras, por consequência da dificuldade de penetração das mesmas, conferida pela presença do caráter coeso. Ainda nesse sentido, Souza (1996), cita que os solos de Tabuleiros Costeiros, apesar de serem considerados profundos, possuem uma profundidade efetiva reduzida pela presença de horizontes coesos, independente da cor.

Tabela 1. Atributos morfológicos dos solos coesos do estado da Bahia.

Horizontes	Profundidade (cm)	Cor (úmido)	Estrutura	Transição	Consistência		
					Seca	Úmida	Molhado
Latossolo Amarelo Distrocoeso psamítico (a)							
Ap1	0-6	7,5YR 7/4	1 G Bls	Pg	D	Fr	nPl nPe
A2	6-25	7,5YR 6/4	1 G Bls	Pd	D	Fr	nPl nPe
AB	25-70	7,5YR 7/6	1 MG Bls Ma coeso	Pd	MD	Fr	LgPl LgPe
Bt1	70-100	7,5YR 7/8	1 MG Bls Ma coeso	Pd	MD	Fr	LgPl LgPe
Bt2	100-145	7,5YR 7/8	1 MG Bls Ma coeso	Pd	MD	Fr	LgPl LgPe
Bw1	145-165+	7,5YR 7/8	1 P Bls 3MP Gr	Pd	LD	Fr	LgPl nPe
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico (b)							
A1	0-10	5YR 5/2	1 MG Bls	Pd	D	MFr	nPl nPe
A2	10-25	7,5YR 4/6	1 M Bls	Pd	D	Fr	nPl nPe
AB	25-48	5YR 4/4	Ma Bls	Pd	D	Fr	LgPl LgPe
BA	48-65	5YR 4/6	Ma coeso	Pd	MD	Fr	LgPl LgPe
Bt1	65-83	2,5YR 5/8	Ma coeso	Pd	MD	Fr	Lg Pl LgPe
Bt2	83-140+	5YR 5/8	1 G Bls	Pd	LD	Fr	Lg Pl LgPe
Latossolo Vermelho Distrocoeso típico (c)							
Ap1	0-10	2,5YR 4/6	1 P Bls	Pc	D	Fr	nPL nPe
A2	10-53	2,5YR 4/8	2 P Bls	Pc	D	Fr	nPl LgPe
AB	53-90	2,5YR 4/8	Ma coeso	Pg	MD	Fr	LgPa LgPe
BA	90-120	2,5YR 5/8	Ma coeso	Pg	MD	Fr	LgPa LgPe
Bw1	120-160+	2,5YR 5/8	Ma	Pd	D	Fr	LgPa LgPe
Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico (d)							
Ap1	0-17	10YR 5/1	1 MG Bls	Pd	D	MFr	nPl nPe
A2	17-39	10YR 5/1	1 MG Bls	Pd	D	MFr	nPl nPe
AB	30-68	2,5YR 4/1	1 G Bls Ma coeso	Pd	MD	Fr	LgPl LgPe
BA	68-106	10YR 6/2	1 G Bls Ma coeso	Pg	MD	Fr	LgPl LgPe
B1	106-132	2,5YR 7/3	1 G Bls Ma coeso	Pc	LD	Fr	LgPl LgPe
B2	132-180+	2,5YR 4/6	1 G Bls	Pc	LD	Fr	LgPl LgPe
Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (e)							
Ap	0-17	7,5YR 7/4	1 MG Bls	Pd	D	Fr	nPl nPe
AB	17-50	7,5YR 6/4	1 G Bls Ma coeso	Pd	MD	Fr	LgPl LgPe
BA	50-80	7,5YR 7/6	1 G Bls Ma coeso	Pd	MD	Fr	LgPl LgPe
B1	80-120+	7,5YR 7/8	1 G Bls Ma	Pg	LD	Fr	LgPl LgPe
Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (f)							
Ap1	0-10	7,5YR 6/4	1 G Bls	Pd	D	MFr	nPl nPe
A2	10-28	7,5YR 6/4	1 G Bls	Pd	D	Fr	nPl nPe
AB	28-60	7,5YR 7/6	1 MG Bls Ma coeso	Pd	MD	Fr	LgPl LgPe
BA	60-105	7,5YR 7/6	1 MG Bls Ma coeso	Pd	MD	Fr	LgPl LgPe
B1	105-123	7,5YR 7/8	1 MG Bls Ma	Pd	LD	Fr	Pl Pe
B2	123-150+	7,5YR 7/8	1 P Bls 3MP Gr	Pd	LD	Fr	Pl Pe

Horizontes coesos em negrito. Estrutura: 1 – fraca; 2 – moderada; 3 – forte; MP: muito pequena; P: pequena; M: média; G: grande; Gr: granular; Bla: blocos angulares; Bls: blocos subangulares; Gs: grãos simples; Ma: maciça. Consistência: Ma: macio; LD: ligeiramente dura; D: dura; MD: muito dura; MFr: muito friável; n: não; Lg: ligeiramente; Pl: plástico; Pe: pegajoso. Transição: p: plana; g: gradual; d: difusa; c: clara.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

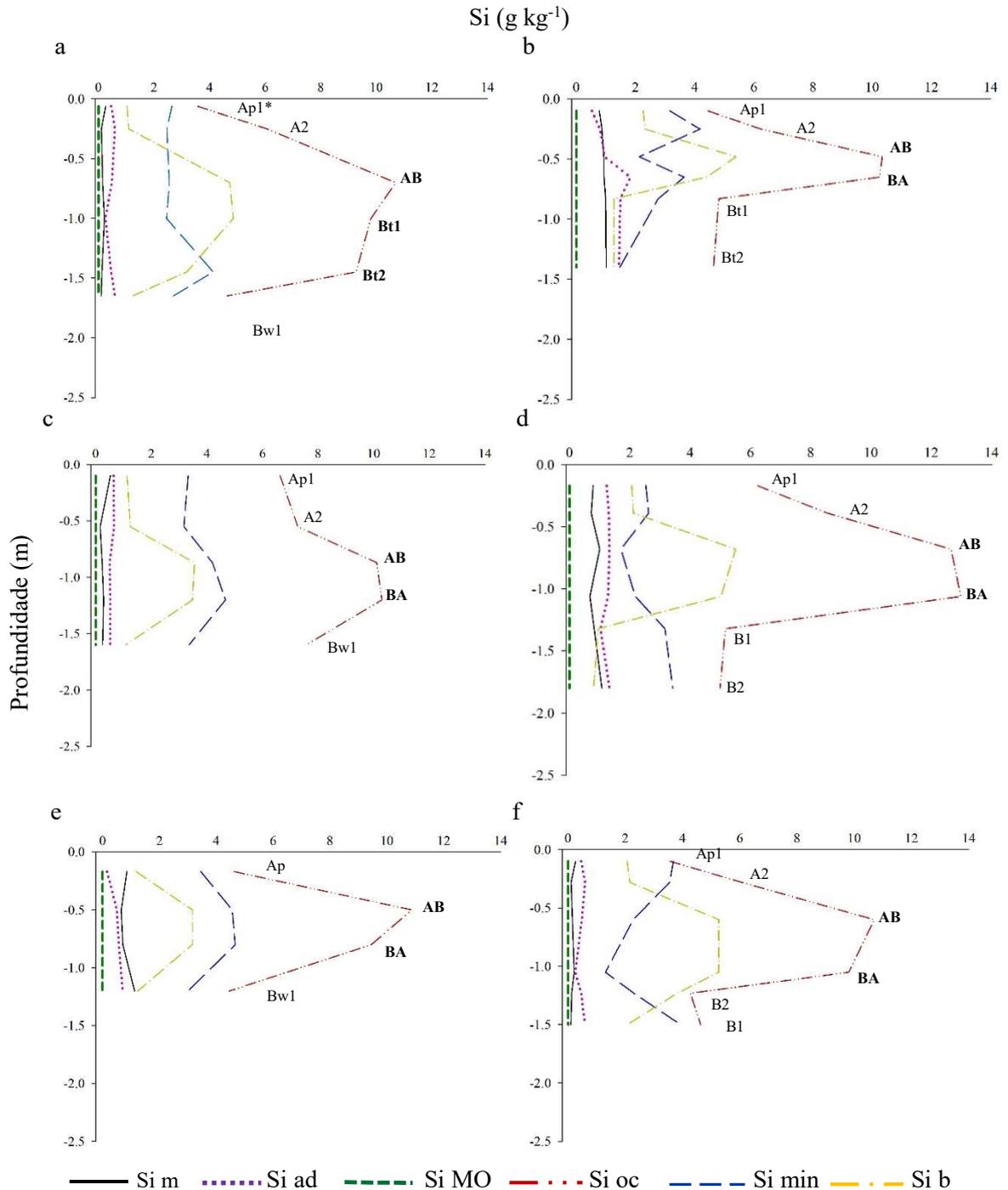
Os teores de silício em diferentes compartimentos do solo, obtidos através da extração sequencial realizada nos perfis de solos estudados, são apresentados na Figura 2. A fração de Silica móvel (Si m) apresentou teores muito baixos, que variam de 0,126 a 1,128 g/kg, e distribuição relativamente uniforme em profundidade em todos os perfis de solos estudados.

Dress et al. (1989) salientaram que a fração Si m não é necessariamente parte da formação de minerais de argila, podendo interagir com o alumínio solúvel na formação de pequenos minerais como imogolitas e alofanas, que são compostos aluminossilicatos pobremente cristalizados e com grande área superficial específica e carga variável.

Fatores como pH do solo, temperatura, presença de cátions e compostos orgânicos na solução do solo influenciam a formação de minerais secundários contendo Si (Gerard et al., 2002). Segundo Veerhoff e Brümmer (1993), em solos ácidos acontece a desintegração de minerais argilosos, que se tornam uma fonte de Si e a sílica liberada nesse processo pode precipitar em superfícies de grãos minerais, formando revestimentos de sílica amorfa.

Assim como a sílica móvel, a fração do silício adsorvido (Si ad) na superfície dos minerais constituintes dos solos como óxidos de Fe e Al, apresentou valores baixos (variando de 0,160 a 1,828 g/kg) e distribuição relativamente uniforme em todos os perfis de solos estudados. Glasauer (1995), estudou a formação e dissolução de goethitas e ferrihidritas e verificou aglomerados de Si próximos à superfície de óxidos de Fe com ligações específicas de Si-O-Fe e explicou que a adsorção em superfícies minerais está relacionada à quantidade, tipo, tamanho e cristalinidade dos óxidos de Fe e Al e atribuiu essa aglomeração de Si próximo aos óxidos de Fe a ligações covalentes e ligações eletrostáticas.

Figura 2. Extração sequencial de sílica de solos com caráter coeso desenvolvidos no Estado da Bahia. Latossolo Amarelo Distrocoeso psamítico (a); Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico (b); Latossolo Vermelho Distrocoeso típico (c); Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico (d); Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (e) e; Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (f).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A extração da sílica da matéria orgânica (Si MO) resultou em teores muito baixos (valores que variam de 0,001 a 0,005 g/kg) em todos os perfis de solo estudados e distribuição

constante nos horizontes dos mesmos. De acordo com Fox et al. (1967) a absorção de silício pelas plantas ocorre na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) e é proporcional à concentração de Si na solução do solo. Essa, por sua vez, depende das reações de equilíbrio com as formas de silício adsorvidas na fase sólida com menor nível de energia, correspondendo principalmente à sílica adsorvida (Si ad), extraída com ácido acético glacial. Korndörfer et al. (2001) em seus estudos sobre calibração de análises de silício de solo e planta, salientam que a disponibilidade de silício no solo para a absorção pelas plantas é avaliada através da extração com soluções de ácido acético e cloreto de cálcio.

Os teores de sílica oclusa (Si oc) variaram entre 3,56 e 12,97 g/kg, valores bem mais altos do que os obtidos com os extratores anteriores (Figura 2). Esse compartimento de Si apresentou nítida acumulação nos horizontes coesos de todos os perfis de solo estudados, concordando com resultados obtidos por Gomes et al. (2017), que destacaram a influência da sílica ligada aos compostos de baixa cristalinidade na morfologia dos horizontes com caráter coeso, após observar que o silício extraído com oxalato de amônio tende a se acumular nos horizontes cimentados.

Vieira et al. (2012), ao estudarem a contribuição do material amorfo na gênese dos horizontes coesos de Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Estado do Ceará através da extração de material amorfo com solução de oxalato de amônio em horizontes coesos e não coesos, observaram diferenças nos valores de resistência a penetração entre os tratamentos com e sem extração de material amorfo. Os autores destacaram que as diferenças entre os valores de resistência a penetração nos tratamentos, evidenciam a importante ação de compostos amorfos na cimentação temporária e gênese de horizontes coesos.

A sílica amorfa minerogênica e biogênica (Si min e Si b), correspondem respectivamente ao silício proveniente da dissolução ativa de superfícies de minerais do solo, que em ambientes naturais pode ser solubilizada por hifas de fungos (Runge, 1999) e ao silício associado à biota (fitólitos e corpos silicosos) mais o resultante da decomposição da serapilheira por microrganismos, que libera estruturas silicosas dos tecidos de todos os órgãos das plantas. A Si b, extraída com solução de NaOH 0,2 mol L⁻¹, teve valores mais altos nos horizontes coesos de todos os perfis de solos estudados (Figura 2).

A Si amorfa minerogênica, apresentou maiores valores (variando de 1,704 a 5,856 g/kg) para a maioria dos horizontes coesos dos perfis estudados, excetuando-se o perfil (d), Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico, que se encontra na parte mais baixa da paisagem e recorrentes fases de hidromorfismo podem ter favorecido a remoção dessa fração de silício, justificando assim os baixos valores encontrados.

Somente os perfis (c) e (e) apresentaram distribuição de Si min que demonstre participação dessa fração no seu processo de cimentação, estando os maiores valores nos dois horizontes coesos existentes nesses perfis. Para os perfis (a), (b), (d) e (f), alguns horizontes coesos apresentaram valores de Si min menores do que nos horizontes não coeso, o que sugere que esse composto pode contribuir com a coesão desses horizontes, no entanto não são determinantes para que esse fenômeno ocorra.

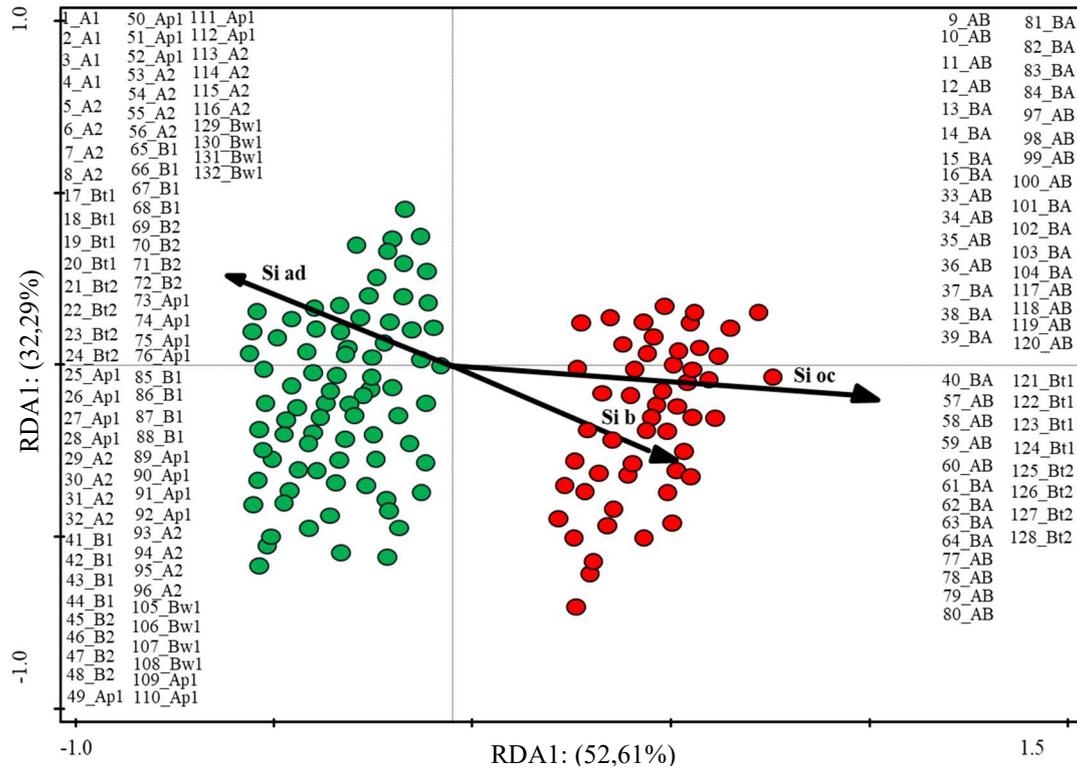
Nota-se que as frações de Si oc e Si b apresentaram acumulação nos horizontes coesos de todos os solos estudados, possibilitando inferir que essas frações de Si possuem estreita relação com a gênese e manifestação do caráter coeso em horizontes de solos dos Tabuleiros Costeiros. Essa interpretação é coerente com os resultados de outros autores para solos coesos do Grupo Barreiras, como Ribeiro (1986), que determinou a sílica total e constatou que há maior concentração desse elemento nos horizontes coesos, e confirmou através de micromorfologia dos horizontes desses solos que a sílica funciona como agente cimentante de microagregados com o preenchimento dos poros do solo. Referente a origem da sílica, o autor sugere que o quartzo, minerais primários e processos como degradação de minerais argilosos contribuem no fornecimento de sílica ao horizonte adensado.

Os resultados desse trabalho sugerem que a origem da sílica responsável pelo endurecimento dos horizontes coesos tem sua origem, principalmente de materiais biogênicos. Nesse contexto, Araújo Filho et al. (2001), também associam a presença de sílica amorfa no solo ao endurecimento dos horizontes coesos, destacando seu papel como agente condicionador da coesão durante o período seco.

A ferramenta estatística análise de redundância baseada na distância euclidiana (db-RDA) (Figura 2) com seleção progressiva para as frações de Si m, Si ad, Si MO, Si oc, Si min e Si b, permitiu investigar/correlacionar os principais compartimentos de silício relacionados com a gênese dos horizontes coesos dos solos dos Tabuleiros Costeiros estudados com base nos valores de probabilidade de significância, valor-p, testando cada atributo individualmente e incluindo no gráfico somente os atributos com valor-p significativo. As amostras foram agrupadas conforme suas características em comum, permitindo sua diferenciação e formando dois grupos, sendo um de pontos em vermelho, no primeiro e quarto quadrantes, que correspondem aos horizontes coesos e outro em verde, no segundo e terceiro quadrante, que correspondem aos horizontes superficiais e subsuperficiais não coesos. Todos os atributos estudados explicaram juntos 84,9% da variação total dos dados, sendo que o eixo 1 explicou 52,61% e o eixo 2, 32,29%.

As frações de Si m, Si MO e Si min não apresentaram valores-p significativos, o que possibilita inferir que esses atributos não possuem correlação com a gênese dos horizontes coesos estudados. A Si oclusa em óxidos e hidróxidos (valor-p calculado= 0,04; valor-p ajustado= 0,002) e a Si biogênica (valor-p calculado= 0,05; valor-p ajustado= 0,002) mostraram estreita relação com os horizontes coesos dos solos estudados, indicando que a gênese dos mesmos está relacionada com a presença dessas formas, possibilitando destacar o papel dos compostos de Si como agentes condicionadores da coesão em horizontes durante o período seco. A fração de Si adsorvida (valor-p calculado= 0,02; valor-p ajustado= 0,002) apresentou correlação com o segundo e terceiro quadrante do gráfico, onde estão agrupadas as amostras dos horizontes superficiais e subsuperficiais não coesos.

Figura 3. db-RDA com seleção direta de variáveis explicativas geradas a partir de matrizes de distâncias Euclidianas, com 499 permutações de Monte-Carlo e corrigidas pelo FDR.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

2.6. CONCLUSÕES

A dinâmica da distribuição dos diferentes compartimentos de sílica nos Latossolos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros estudados, mostrou que a manifestação do caráter coeso, independe da variação na coloração dos solos ou do processo pedogenético dominante na formação da classe de solo (Argissolo ou Latossolo), sendo sua gênese consequência da acumulação de sílica oclusa em óxidos e hidróxidos e da sílica amorfa biogênica nos horizontes coesos, possibilitando a manifestação da coesão durante o período seco.

2.7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO FILHO, J.C.; CARVALHO, A.; SILVA, F.B.R. Investigações preliminares sobre pedogênese de horizontes coesos sobre solos dos Tabuleiros Costeiros do nordeste do Brasil. In: **Workshop coesão em solos dos Tabuleiros Costeiros**; 2001; Aracaju, Brasil. Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2001. p.123-142.

BLUME, H.P.; STAHR, K.; LEINWEBER, P. **Bodenkundliches Praktikum: Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, Land- und Forstwirte, Geound Umweltwissenschaftler**, 3. Aufl., Spektrum Akademischer Verlag, 2011. 255p.

BORBA-ROSCHER, M.; ALEXANDRE, A.; VARAJÃO, A.F.D.C.; MEUNIER, J.D.; VARAJÃO, C.A.C.; COLIN, F. Phytoliths as Indicators of Pedogenesis and Paleoenvironmental Changes in the Brazilian Cerrado. **Journal of Geochemical Exploration**, v.88, n.1, p.172- 176, 2006.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA – Secretaria Geral. Pedologia. In: **Folhas SF.23/24-Rio de Janeiro/Vitória. Projeto RADAMBRASIL. (Levantamento de Recursos Naturais-Vol. 32)** 1982. p.385-552.

BREMOND, L.; ALEXANDRE, A.; PEYRON, O.; GUIOT, J. Grass Water Stress Estimated from Phytoliths in West Africa. **Journal of Biogeography**, v.32, p.311–327, 2005.

CALEGARI, M.R.; MADELLA, M.; VIDAL-TORRADO, P.; PESSEDA, L.C.R.; MARQUES, F.A.A. Combining phytoliths and $\delta^{13}\text{C}$ matter in Holocene palaeoenvironmental studies of tropical soils: An example of an Oxisol in Brazil. **Quaternary International**, v.287, 2013.

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

COSTA, L.M., MOREAU, A.M.; MOREAU, M.S. Estabilidade da Sílica Biogênica Extraída de Capim Jaraguá (*Hyparrhenia rufa*) em Solução de NaOH. **Química Nova**, v33, n.8, p.1658-1663, 2010.

COSTA, L.M.; KELLER, W.D.; JOHNS, W.D. Espículas de esponja em solos de João Pinheiro, Minas Gerais. **Revista Ceres**, 39:597-603, 1992.

DE ENDREDY, A.S., 1963. Estimation of free iron oxides in soil and clays by a photolytic method. **Clay Minerals Bulletin**, v.5, n.29, p.209–217, 1963.

DIETZEL M. Dissolution of silicates and the stability of poly silicicacid. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.64, n.19, p.3275-3281, 2000.

DOUCET, F. J.; SCHNEIDER, C.; BONES, S. J.; KRETCHMER, A.; MOSS, I.; TEKELY, P.; EXLEY, C. The formation of hydroxy aluminosilicates of geochemical and biological significance. **Geochimicaet Cosmochimica Acta**, v. 65, n. 15, p. 2461–2467, 2001.

DREES, L.R.; WILDING, L.P.; SMECK, N.E.; SENKAYI, A.L. Silica in soils: quartz and disordered silica polymorphs, In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. **Minerals in Soil Environments**, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, v.2, p.913–974. 1989

FREITAS LC, GLORIA NA. I- Determinação colorimétrica do silício em solo.: II - aplicação do método do sílico-molibdato amarelo e do azul de molibdênio na determinação da sílica total e solúvel em solos. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v.33, p.15-33, 1976.

FOX, R.L.; SILVA, J.A.; YOUNGE, O.R.; PLUCKNETT, D.L.; SHERMAN, G.D. Soil and plant silicon and silicate response by sugar cane. **Soil Science Society of America Journal Abstract**, 31:775- 779, 1967.

GEORGIADIS, A.; SAUER, D.; HERRMANN L.; BREUER, J.; ZAREI, M.; STAHR, K. Development of a method for sequential Si extraction from soils. **Geoderma**, v.210, p.251–261, 2013.

GERARD, F.; FRANCOIS, M.; RANGER, J. Processes controlling silica concentration in leaching and capillary soil solutions of an acidic brown forest soil (Rhône, France). **Geoderma**, v.107, n.4, p.197–226, 2002.

GLASAUER S. M. Silicate associated with Fe(hydr)oxides. München-Weihenstephan: Technische Universität, 1995, p.133. **Dissertation**

GOMES, J.B.; VASCONCELLOS, A.F.; COELHO, J.; VIDAL-TORRADO, P.; COOPER, M.S.; ALVARENGA, E.; CURI, N. Cemented Horizons and Hardpans in the Coastal Tablelands of Northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.41, p.1-18, 2017.

HAYSOM, M.B.C.; CHAPMAN, L.S. Some aspects of the calcium silicate trials at Mackay. Queensland:Proceeding, **Society Sugar Cane Technology**. 1975, v.42, p.117–122.

HARSH, J.B.; CHOROVER, J.; NIZEYIMANA, E. **Allophane and imogolite**. Chap. 9, in: DIXON, J.B.; SCHULZE, D.G. Soil Mineralogy with environmental applications. Madison: Book Series SSSA. 2002, v.7, p.291–322.

HILDEBRAND, M. Biological processing of nanostructured silica in diatoms. **Progress Organic Coatings**, v.7, n.3, p.256-266, 2003.

LEPŠ J, ŠMILAUER P. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. Cambridge: **Cambridge University Press**, 2014, 376p.

LUZ, L.D.; KALINOVSKI, E.C.Z.; PAROLIN, M.; SOUZA FILHO, E.E. Estágio atual do conhecimento sobre fitólitos no Brasil. **Terrae Didática**, v.11, n.1, p.52-64, 2015.

KORNDÖRFER, G.H.; LEPSCH, I. **Effect of silicon on plant growth and yield**. In: DATNOFF, L.E.; KORNDÖRFER, G.H.; SNYDER, G.H. Silicon in agriculture. Amsterdam: Elsevier, 2001. p.133-147.

MADELLA, M., ALEXANDRE, A., BALL, T. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. **Annals of Botany**, v.96, n.2, p.253-260, 2005.

MADELLA, M.; LANCELOTTI, C. Taphonomy and phytoliths: A user manual. **Quaternary International**, v.275, p. 76-83, 2012.

MEIRELES, M.C.S.; RIBEIRO, L.P. Caracterização da sílica em horizontes coesos de solos de Tabuleiros. In: **Resumo expandido, 25º Congresso brasileiro de ciência do solo**; 1995; Viçosa, Brasil. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Universidade Federal de Viçosa, 1995. p.1688-1689.

NUNES, F.C; VILAS BOAS, G.S; SILVA, E.F; CALDERANO, S.B; CARVALHO, J.J.S. **Faciologia e Análise Tectônica dos Materiais de Origem dos Solos dos Tabuleiros Costeiros do Litoral Norte da Bahia**. Boletim de Desenvolvimento e Pesquisa: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Solos, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2011, 41p.

PIPERNO, D.R. **Phytolith: A comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists**. Rowman:Altamira Press, 2006. 238p.

PIPERNO, D.R. **Phytolith analysis: an archaeological and geological perspective**. London: Academic Press, 1988. 280p.

PIPERNO, D.R.; BECKER, P. Vegetational history of a site in the Central Amazon basin derived from phytolith and charcoal records from natural soils. **Quaternary Research**, v.45, n.2, p.202-209, 1996.

RAPP, G.J.; MULHOLAND, S.C. **Phytolith Systematics**. New York: Plenum Press, 1992. 350 p.

RAVEN, J.A. Silicon transport at the cell and tissue level. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. 403p.

REZENDE, J.O. **Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Salvador: SEAGRI, SPA, 2000. 117p.

RIBEIRO, L.P. **Sílica em horizontes coesos de solos da Bahia**. Salvador: Universitas, 1986. p.59-80.

RUNGE, F. The opal phytolith inventory of soils in Central Africa – Quantities, shapes, classification, and spectra. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v.107, n.2, p.23-53, 1999.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 100p.

SNYDER, G.H. Methods for silicon analyses in plants, soils and fertilizers. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p.185–196.

SOUZA, L.S. Uso e manejo dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: **Reunião técnica sobre solos coesos dos Tabuleiros Costeiros**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1996. p.36-75.

VEERHOFF, M., & BRUMMER, G. W. Bildung schlechtkristalliner bis amorpher Verwitterungsprodukte in stark bis extrem versauerten Waldböden. **Zeitschrift Für Pflanzenernährung Und Bodenkunde**, v.156, n.1, p.11–17, 1993.

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 Agronomica**, v.43, n.4, p.623-632, 2012.

WOLLAST, R.; MACKENZIE, F.T. **The global cycle of silica**. In: **Aston, S.R. Silicon geochemistry and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1983. p.39–76.

CAPÍTULO 3: ASSEMBLEIA FITOLÍTICA PRESERVADA EM SOLOS COM HORIZONTES COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS DERIVADOS DE SEDIMENTOS TERCIÁRIOS DO GRUPO BARREIRAS

3.1. Resumo: Fitólitos são corpúsculos microscópicos de sílica, amorfos ao raio X, formados no interior dos tecidos de plantas após a absorção de ácido monossilícico e acumulação em regiões intra e extracelular, após a morte da planta ou parte dela e a decomposição dos compostos orgânicos os fitólitos passam a ser incorporados ao solo, compondo a matriz mineral do solo. Em ambientes quentes e úmidos a formação de fitólitos pode ser comprometida devido à alta taxa de evapotranspiração que favorece a precipitação do ácido monossilícico na forma de gel na epiderme foliar. Essas estruturas e sua permanência nos solos são importantes ferramentas para estudos de mudanças climáticas, de paisagens e para o entendimento da influência da vegetação na dinâmica da sílica nos solos, bem como sua pedogênese. Com base nessas informações, o objetivo desse trabalho foi caracterizar o estágio de preservação da assembleia fitolítica de solos dos Tabuleiros Costeiros terciários derivados de sedimentos do Grupo Barreiras, bem como verificar a possibilidade de utilizar técnicas para a reconstituição paleoambiental desses ambientes. Para isso foram coletados seis perfis de solos com horizontes coesos no ambiente citado, sendo quatro desses no município de Inhambupe e dois no município de Cruz das Almas, ambos no Estado da Bahia. A separação de fitólitos e materiais silicosos das amostras de solo foi realizada com a remoção de carbonatos, argila e matéria orgânica e posterior separação desse material por densidade utilizando politungstato de sódio. O material separado foi utilizado para compor lâminas que foram usadas com o objetivo de observação, identificação, contagem e classificação dos fitólitos em microscópio petrográfico. Os solos dos Tabuleiros Costeiros estudados, apresentaram poucos fitólitos ao longo do perfil, sendo que a maioria está concentrada nos horizontes coesos. Houve maior concentração de fitólitos preservados nos horizontes coesos como consequência da acumulação por bioturbação e transporte vertical e pelo maior adensamento nesse horizonte, o que dificulta o transporte para os horizontes subjacentes. É necessário o desenvolvimento de técnicas adequadas, que considerem a pouca quantidade de fitólitos dos solos estudados e possibilitem a obtenção de valores que permitam trabalhar com confiabilidade estatística a ponto de permitir a obtenção de informações relacionadas a reconstituição paleoambiental.

Palavras-chave: Reconstituição paleoambiental, silício no solo, assembleia fitolítica.

PHYTOLYTIC ASSEMBLY PRESERVED IN SOILS WITH COHESIVE HORIZONS OF COASTAL TABLETS DERIVED FROM TERTIARY SEDIMENTS OF THE BARREIRAS FORMATION

3.1. Abstract: Phytoliths are microscopic silicon corpuscles, amorphous to X-rays, formed inside plant tissues after the absorption of monosilicic acid and aculation in intra and extracellular regions, after the death of the plant or part of it and the decomposition of organic compounds. phytoliths are incorporated into the soil, composing the mineral matrix of the soil. In hot and humid environments the formation of phytoliths can be compromised due to the high rate of evapotranspiration that favors the precipitation of monosilicic acid in the form of gel in the leaf epidermis. These structures and their permanence in soils are important tools for studying climate change, landscapes and for understanding the influence of vegetation on the dynamics of silica in soils, as well as its pedogenesis. Based on this information, the objective of this work was to characterize the preservation stage of the phytolytic assembly of soils of the tertiary coastal tablets derived from Barreiras Formation sediments, as well as to verify the possibility of using techniques for the paleoenvironmental reconstitution of these environments. For this, six soil profiles with cohesive horizons were collected in the mentioned environment, four of them in the municipality of Inhambupe and two in the municipality of Cruz das Almas, both in the State of Bahia. The separation of phytoliths and siliceous materials from the soil samples was carried out by removing carbonates, clay and organic matter and later separating this material by density using sodium polytungstate. The separated material was used to compose slides that were used for the purpose of observation, identification, counting and classification of phytoliths in a petrographic microscope. The soils of the Coastal Tabuleiros studied, presented few phytoliths along the profile, with the majority being concentrated in cohesive horizons. There was a greater concentration of phytoliths preserved in cohesive horizons as a result of the accumulation by bioturbation and vertical transport and by the greater density in this horizon, which makes transport to the underlying horizons difficult. It is necessary to develop appropriate techniques, which take into account the small amount of phytoliths in the studied soils and enable the achievement of values that allow working with statistical reliability to the point of obtaining information related to paleoenvironmental reconstitution.

Keywords: paleoenvironmental reconstitution, silicon in the soil, phytolytic assembly.

3.3. INTRODUÇÃO

Fitólitos são estruturas formadas a partir da absorção de sílica solúvel na solução do solo pelas plantas, na forma de ácido monossilícico $[\text{Si}(\text{OH})_4]$ e posterior deposição em regiões intra ou extracelulares de tecidos de algumas de suas partes, como raízes, caules, folhas, inflorescências e sementes (PIPERNO, 2006; PERSHAL 2015). A absorção de ácido monossilícico pelas raízes acontece por canais de entrada de água e pelos espaços livres da membrana plasmática em pH variando entre 2 e 9 e o seu transporte pelo interior da planta é feito pelo xilema (PIPERNO, 1988). Após diversos processos de evapotranspiração, ocorre a cristalização do ácido monossilícico e o material silicoso formado assume o formato da célula em que foi depositado (THORN, 2007).

Segundo Madella (2009), vários os motivos que levam as plantas à produzirem fitólitos: oferecer suporte mecânico para as células, dar suporte aos órgãos e estruturas, proteger a planta de herbívoros e parasitas e neutralizar ânions e cátions nocivos ao seu desenvolvimento. As algas, especialmente as diatomáceas, e esponjas também produzem corpos silicosos, recebendo estes as denominações de frústulas e espículas de esponjas, respectivamente (HILDEBRAND, 2003).

Após a senescência dos tecidos da planta, com a morte da planta ou de parte dela os fitólitos formados são depositados em solos ou sedimentos formando uma assembléia fitolítica que pode caracterizar uma formação vegetal, fornecendo um importante conjunto de dados para estudos de mudanças climáticas, de paisagens e para o entendimento da influência da vegetação na dinâmica da sílica nos solos, bem como sua pedogênese. No entanto, a utilização dos fitólitos como ferramenta de reconstrução paleoambiental depende das condições da sua estabilidade em solos e em sedimentos (LORENT et al., 2015).

Os fitólitos podem permanecer por longos períodos de tempo no solo e sua permanência é dependente das condições ambientais, principalmente as que afetam a preservação de restos de plantas, como pluviosidade e temperatura. Alguns outros processos inerentes aos solos têm influência na preservação dessas estruturas sendo possível citar os processos de argiluviação, bioturbação e ainda ataques químicos, através da dissolução e ataques físicos que causam o aumento da área superficial específica através de quebras mecânicas (STRÖMBERG, 2004; OSTERRIETH et al. 2009), potencializando os ataques químicos. As maiores taxas de decomposição de fitólitos e liberação de Si acontece durante a degradação da serapilheira (FRAYSSE et al, 2009), sendo que em ambientes florestais grande parte do conjunto de fitólitos

é rapidamente dissolvida e absorvida pelas plantas tornando a contribuição dos fitólitos nos fluxos de Si maior do que a dos minerais silicatados (SOMMER et al, 2013).

As condições climáticas da região dos Tabuleiros Costeiros derivados do Grupo Barreiras, juntamente com as características do solo, no que diz respeito principalmente a textura arenosa, baixos conteúdos de ferro e processos pedogenéticos envolvidos na formação dos mesmos, como latolização, argiluviação e bioturbação, podem contribuir para a ocorrência de processos mais intensos de deformações nas estruturas dos fitólitos, cujo o termo usado para designar esse processo é tafonomização (LIMA, 2004; OSTERRIETH et al., 2009).

Com base nessas informações, o objetivo desse trabalho foi caracterizar a assembleia fitolítica de solos dos Tabuleiros Costeiros terciários derivados de sedimentos do Grupo Barreiras, bem como, verificar seu estado de conservação e sua relação com as condições climáticas e as propriedades dos solos dos ambientes estudados, bem como verificar a possibilidade de utilizar técnicas para a reconstituição paleoambiental desses ambientes.

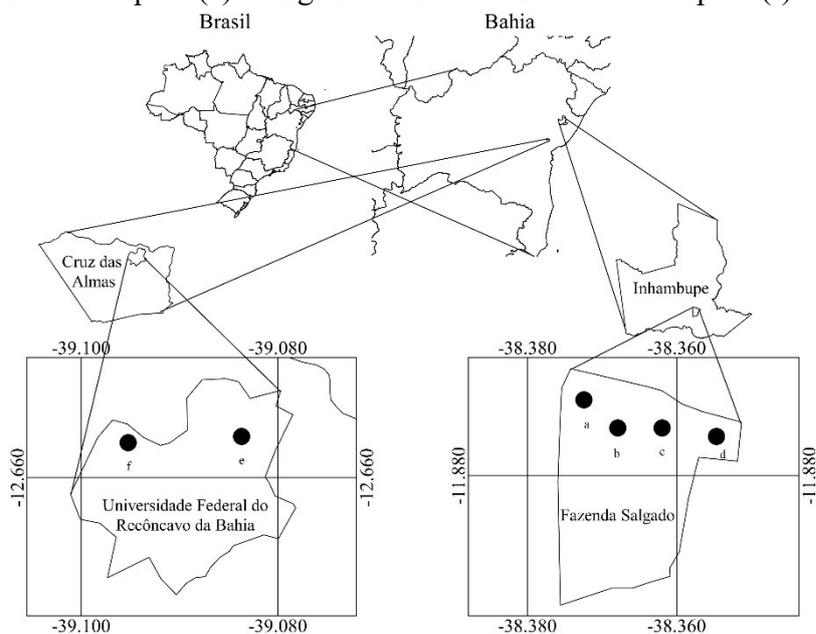
3.4. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização desse estudo, foram coletadas amostras em seis perfis de solos com expressiva manifestação do caráter coeso, localizados em duas áreas, a primeira no município de Inhambupe, na mesorregião geográfica do Litoral Norte da Bahia, inserida na fazenda Salgado, pertencente a empresa Bahia Pulp, atualmente utilizada com florestamento comercial de eucalipto. Foram coletadas nesse local, amostras de solos em quatro trincheiras correspondentes aos seguintes perfis de solo: Argissolo Amarelo Distrocoeso latossólico (a); Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico (b); Latossolo Vermelho Distrocoeso típico (c); e Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico (d). O desnível topográfico da paisagem é de 18 m; o perfil (a) está localizado na cota altimétrica mais alta de 232 m, os perfis (b) e (c) em cotas intermediárias, 227 e 222 m respectivamente, e o perfil (d) na cota mais baixa, 214 m, em relação ao nível do mar. O clima dessa região é do tipo As, de acordo com a classificação de Köppen, ou seja, clima quente, com o mês mais frio com temperatura superior a 18 °C, o mês mais seco com precipitação inferior a 60 mm e verão seco; a pluviosidade média anual é de 1.000 mm, correspondendo os meses de maio a julho ao período mais chuvoso e os meses de outubro a dezembro ao período mais seco, e a temperatura média anual é de 24 °C.

A segunda área está localizada na mesorregião geográfica do Recôncavo Sul da Bahia, no município de Cruz das Almas, mais precisamente no campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, a 178 km da primeira, sendo utilizada com pastagem. Foram

coletadas amostras de dois perfis de solo: Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (e) e Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (f). A paisagem apresenta desnível de 13 metros, estando o perfil (e) localizado em cota altimétrica de 224 m e o perfil (f) a 211 m em relação ao nível do mar. O clima de Cruz das Almas, de acordo com a classificação de Köppen, enquadra-se no tipo Af, ou seja, clima quente, com o mês mais frio com temperatura superior a 18 °C e o mais seco com precipitação igual ou superior a 60 mm; a pluviosidade média anual é de 1.200 mm, sendo os meses de março a julho os mais chuvosos e outubro a janeiro os mais secos, com temperatura média anual de 24,2 °C. As duas áreas estão localizadas na unidade geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros (BRASIL, 1982), como apresentado na Figura 1.

Figura 1. Mapa de localização dos perfis de solos estudados nos municípios de Inhambupe e Cruz das Almas-Ba. Latossolo Amarelo Distrocoeso psamítico (a); Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico (b); Latossolo Vermelho Distrocoeso típico (c); e Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico (d); Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (e) e Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (f).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Os horizontes genéticos de cada perfil de solo, foram descritos e separados quanto às características morfológicas e do ambiente segundo o manual de descrição e coleta de solo em campo (SANTOS et al., 2015), sendo coletadas amostras deformadas em todos os horizontes. As amostras foram beneficiadas, por meio de secagem, destorroamento e tamisação em peneira de malha de 2 mm, a fim de se obter a terra fina seca ao ar (TFSA).

Nas amostras deformadas os teores de argila foram determinados pelo método da pipeta (GEE & BAUDER, 1986), após a dispersão química do solo com NaOH 1 mol L⁻¹, seguido de

agitação mecânica com o agitador horizontal por 4 horas. As subfrações areia muito grossa, grossa, média, fina e muito fina foram obtidas por tamisação e os teores de silte por diferença.

A separação de fitólitos das amostras de solos foi realizada utilizando o método proposto por Madella (1998) para extração simplificada de fitólitos e opala de sedimentos, utilizando politungstato de sódio com densidade de $2,35 \text{ g/cm}^3$, e foi realizado diretamente na TFSA.

Foram pesados 4 g de TFSA e transferidos para um recipiente onde foram adicionados 25 ml de solução de ácido clorídrico a 5% e deixados em banho-maria a $40 \text{ }^\circ\text{C}$ até reduzir o líquido para aproximadamente 5 ml para remoção de carbonatos, em seguida foram adicionados 15 ml de água destilada, agitados suavemente e levados para a centrifuga por 3 minutos a 1000 RPM, e o sobrenadante foi descartado.

Foi adicionado 15 ml de uma solução de 5% de hexametáfosfato de sódio ($(\text{NaPO}_3)_6$) e deixado em repouso por 12 horas. As amostras foram agitadas levemente e centrifugadas por 3 minutos a 1000 RPM com posterior descarte do sobrenadante, esse passo foi repetido por 3 vezes, com o objetivo de remoção do material argiloso. Após esse passo, foi adicionado 15 ml de peróxido de hidrogênio a 33% e deixado por 8 h em uma temperatura de $30 \text{ }^\circ\text{C}$, com os recipientes abertos, para permitir liberação de gases. As amostras foram agitadas levemente e centrifugadas por 3 minutos a 1000 RPM com posterior descarte do sobrenadante, a centrifugação foi repetida por 3 vezes, esse passo da análise foi feito para remoção de material orgânico das amostras.

Em seguida, foi adicionado 10 ml de uma solução de politungstato de sódio ($\text{Na}_6(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}) \cdot \text{H}_2\text{O}$) com uma densidade específica de $2,35 \text{ g/cm}^3$, agitado suavemente e centrifugado por 3 min a 1000 rpm, a fim de separar fitólitos e demais materiais silicosos do restante dos componentes das amostras. A fração flutuante foi recuperada e transferida para um novo tubo, esse passo foi repetido mais três vezes. O sobrenadante da fração transferida para um novo tubo foi descartado e foi adicionado metanol nas amostras, agitadas suavemente e centrifugadas por 3 minutos a 1500 rpm. O sobrenadante foi descartado e esse passo foi repetido por mais duas vezes. A fração de fitólitos e corpos silicosos foi utilizada para a confecção de lâminas temporárias com óleo de imersão e lâminas permanentes com Enterlan, para posterior observação em microscópio óptico.

Foram examinadas 3 lâminas por horizonte de cada perfil de solo com o objetivo de identificação e contagem de 200 fitólitos em microscópio petrográfico com magnificação de 400 x. A identificação dos fitólitos encontrados foi feita com base no Internacional Code for Phytolith Nomenclature – ICPN 1.0 (MADELLA et al. 2005). Na quantidade total de fitólitos

contados (TF), foi aplicado o teste F para significância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) no programa estatístico SISVAR.

3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1, é possível verificar a variedade de morfotipos e o número de fitólitos em todos os horizontes dos perfis de solos estudados. A variação do número total de fitólitos (TF) dos perfis (a) ao (d) variaram de 0 no horizonte A1 do Perfil (b) a 27 no horizonte AB do perfil (a), enquanto que no perfil (e) variou de 11, no horizonte B1, a 29, no BA, e no (f) de 12, no Ap1, a 39, no AB. Nota-se para todos os horizontes, a presença de seis morfotipos de fitólitos, sendo que o maior número dessas estruturas em cada perfil foi encontrado nos horizontes coesos.

O teste de médias para a quantidade total de fitólitos (TF) é apresentado na Tabela 1. Verifica-se que os horizontes coesos mostraram a maior média estatística em relação aos demais horizontes de cada perfil e somente no perfil (f), os horizontes não coesos A2 e B1 apresentaram valores estatísticos que não se diferenciaram dos horizontes coesos. Esses dados sugerem, que nos horizontes coesos estão acontecendo as maiores dissoluções de fitólitos e liberação de sílica biogênica no solo.

No que diz respeito ao pouco número de fitólitos encontrados nos horizontes dos perfis de solos estudados, Arai (2006), investigando os movimentos globais do nível do mar e sua influência na origem do Grupo Barreiras, salienta a pobreza de fosseis, inclusive das estruturas microfósseis, como os fitólitos, nos solos desenvolvidos a partir de sedimentos terciários do Grupo Barreiras que formam a paisagem dos Tabuleiros Costeiros, o que pode estar diretamente relacionado com o clima úmido e quente, a textura arenosa e aos processos pedogenéticos envolvidos na formação desses solos.

Tabela 1. Ocorrência de Morfotipos de fitólitos e presença de espículas de esponjas e diatomáceas nos horizontes dos perfis de solos estudados do Estado da Bahia.

Horiz ¹	Prof. ² cm	Bulliform Cuneiform	Bulliform Paralelepipedal	Tabular psilate	Elongate psilate	Elongate sinuate	Globular granulate	TF ³	Espículas e diatomáceas
Latossolo Amarelo Distrocoeso psamítico (a)									
Ap1	0-6	-	2	-	4	-	2	8 b*	6
A2	6-25	2	4	-	5	-	2	13 b	6
AB	25-70	6	9	3	8	-	1	27 a	4
Bt1	70-100	5	9	5	3	1	3	26 a	3
Bt2	100-145	-	2	1	3	1	2	9 b	-
Bw1	145-165+	-	2	2	1	-	2	7 b	-
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico (b)									
A1	0-10	-	-	-	-	-	-	-	4
A2	10-25	2	-	-	-	-	7	9 b	3
AB	25-48	2	3	8	2	-	9	24 a	3
BA	48-65	5	5	5	3	2	6	26 a	-
Bt1	65-83	-	2	2	3	2	2	11 b	-
Bt2	83-140+	-	1	-	-	1	1	3 c	-
Latossolo Vermelho Distrocoeso típico (c)									
Ap1	0-10	2	3	-	-	-	-	5 b	3
A2	10-53	-	2	-	3	-	-	5 b	4
AB	53-90	-	9	2	2	5	-	18 a	1
BA	90-120	-	3	2	3	2	3	13 a	-
Bw1	120-160+	-	4	-	-	-	2	6 b	-
Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico (d)									
Ap1	0-17	-	3	-	-	-	-	3 c	12
A2	17-39	-	2	-	4	-	4	10 b	8
AB	30-68	-	4	-	7	7	4	22 a	7
BA	68-106	-	3	-	9	6	7	25 a	-
B1	106-132	-	-	-	2	-	7	9 b	-
B2	132-180+	-	-	-	-	-	2	2 c	-
Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (e)									
Ap	0-17	3	6	4	2	-	-	12 b	8
AB	17-50	9	-	4	5	-	6	24 a	6
BA	50-80	5	1	9	5	4	5	29 a	2
B1	80-120+	-	1	-	3	5	2	11 b	-
Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (f)									
Ap1	0-10	-	-	6	2	1	3	12 b	6
A2	10-28	2	2	7	6	2	9	28 ab	6
AB	28-60	2	5	12	9	3	8	39 a	2
BA	60-105	1	5	9	7	3	11	36 a	-
B1	105-123	1	3	10	8	1	5	28 ab	-
B2	123-150+	2	3	11	6	1	3	26 b	-

*. Médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); 1: Horizontes; 2: profundidade; 3: Total de fitólitos. Horizontes coesos em negrito.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

As diatomáceas e espículas de esponjas ocorreram em maiores quantidades nos horizontes superficiais de todos os perfis de solo estudados (Tabela 1). No entanto, para o perfil (d), localizado no município de Inhambupe, destaca-se maior quantidade dessas estruturas nos horizontes superficiais, pois este fica localizado na região mais baixa da paisagem em que está

inserido, o que favorece o maior aporte de água vinda das partes mais altas da paisagem. Essa característica, quando aliada a presença do horizonte coeso, remete ao maior tempo de permanência de água nos horizontes superficiais desse solo, o que é indicado pela cor acinzentada, consequência da redução e remoção de Fe no perfil de solo. Todas essas características podem ter favorecido a formação de maior quantidade de diatomáceas e espículas de esponjas nesse solo.

Diatomáceas e espículas de esponjas absorvem sílica para fazer parte de suas estruturas e segundo Costa et al. (1992) e Costa et al. (2010) a presença dessas indicam drenagem deficiente no solo, por consequência da presença do horizonte coeso, e uma maior permanência de umidade nos horizontes superficiais, propiciando a ocorrência dessas estruturas nesses horizontes.

As classes texturais dos horizontes dos perfis de solos estudados são apresentadas na Tabela 2. Observa-se que os perfis (a), (b), (c) e (d) variam de areia franca a franco-argiloarenosa e são mais arenosos do que o perfil (e), que apresenta textura argila arenosa e do que o (f) que apresenta textura franco-argiloarenosa e argila, o que pode explicar o maior número de fitólitos nos perfis (e) e (f).

A textura mais arenosa está relacionada com o grau de preservação dos fitólitos no solo, sendo que nos solos arenosos podem ocorrer fluxos de água com maior velocidade como consequência do maior número de macroporos, favorecendo o transporte no interior do perfil, principalmente dos horizontes superficiais até os horizontes coesos. Nesse último ocorre uma diminuição acentuada dos macroporos, podendo gerar fragmentação dos corpúsculos, devido ao atrito no interior do solo (LIMA, 2004; OSTERRIETH et al., 2009). Esse processo favorece a ocorrência de dissolução dessas estruturas, bem como o movimento das mesmas no perfil do solo por consequência dos fluxos de água, que podem facilitar o processo de quebra por abrasão, aumentando a área superficial desse material e expondo mais faces da estrutura a processos que atuam na tafonomização (OSTERRIETH et al., 2009).

O clima quente e úmido com elevadas taxas de evapotranspiração dos dois ambientes estudados possui estreita relação com a formação e preservação de estruturas fitólíticas e demais compostos silicosos presentes no solo. Segundo Ramirez et al. (2007) esse tipo de clima favorece a precipitação do ácido monossilícico na forma de gel de sílica amorfa na epiderme foliar, substituindo a formação de fitólitos.

Tabela 2. Atributos texturais dos solos coesos do estado da Bahia.

Horiz	Prof. cm	AMG	AG	AM	AF	AMF	AT	SIL	ARG	Classe Textural
.....g kg ⁻¹										
Latossolo Amarelo Distrocoeso psamítico (a)										
Ap1	0-6	3	55	290	390	130	868	30	102	Areia franca
A2	6-25	2	67	321	408	47	845	32	123	Areia franca
AB	25-70	2	50	347	341	59	799	39	162	Franco arenosa
Bt1	70-100	4	63	348	300	77	792	42	166	Franco arenosa
Bt2	100-145	2	58	316	328	52	756	44	200	Franco argilo arenosa
Bw1	145-165+	3	38	112	460	135	748	44	208	Franco argilo arenosa
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico (b)										
A1	0-10	9	42	201	502	99	853	49	98	Areia franca
A2	10-25	9	46	221	466	104	846	44	110	Areia franca
AB	25-48	3	34	113	311	221	682	21	297	Franco argilo arenosa
BA	48-65	1	22	111	328	249	711	34	255	Franco argilo arenosa
Bt1	65-83	4	32	162	412	82	692	42	266	Franco argilo arenosa
Bt2	83-140+	3	23	121	399	152	698	18	284	Franco argilo arenosa
Latossolo Vermelho Distrocoeso típico (c)										
Ap1	0-10	7	77	301	292	45	722	88	190	Franco arenosa
A2	10-53	7	82	322	298	43	752	78	170	Franco arenosa
AB	53-90	11	62	303	258	48	682	78	240	Franco argilo arenosa
BA	90-120	11	58	300	259	34	662	78	260	Franco argilo arenosa
Bw1	120-160+	9	69	296	291	45	710	50	240	Franco argilo arenosa
Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico (d)										
Ap1	0-17	21	98	216	400	153	888	12	100	Areia franca
A2	17-39	12	78	220	411	155	876	15	109	Areia franca
AB	30-68	13	98	202	460	70	843	45	112	Areia franca
BA	68-106	18	102	189	348	53	710	78	212	Franco argilo arenosa
B1	106-132	12	60	166	361	113	712	56	232	Franco argilo arenosa
B2	132-180+	12	48	162	332	143	699	58	243	Franco argilo arenosa
Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (e)										
Ap	0-17	2	52	177	182	129	542	69	389	Argila arenosa
AB	17-50	1	55	165	178	103	502	70	428	Argila arenosa
BA	50-80	1	54	166	179	101	501	97	422	Argila arenosa
B1	80-120+	1	54	158	181	93	487	108	405	Argila arenosa
Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (f)										
Ap1	0-10	2	43	211	323	90	669	58	273	Franco argilo arenosa
A2	10-28	2	34	232	344	42	654	62	284	Franco argilo arenosa
AB	28-60	1	23	145	171	89	429	62	509	Argila
BA	60-105	2	22	123	151	14	312	73	615	Argila
B1	105-123	1	21	133	112	52	319	66	615	Argila
B2	123-150+	1	16	122	116	44	299	100	601	Argila

Horiz: horizontes; Prof.: profundidade; AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; SIL: silte; ARG: argila.

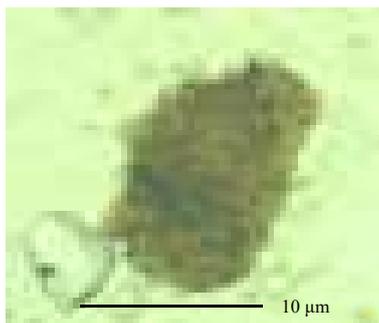
Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Na Figura 2, é possível observar o estado de conservação dos fitólitos dos horizontes coesos dos perfis de solos estudados a partir da ampliação de fotomicrografias. Nota-se que os fitólitos apresentam grandes marcas de tafonomização, com fortes sinais de dissolução e abrasão em sua estrutura. Os argilominerais e os óxidos de ferro formam uma camada de proteção na estrutura dos fitólitos e materiais de sílica amorfa, que os protegem de processos de tafonomização. A falta ou diminuição dessa proteção pode elevar o grau de tafonomização dos

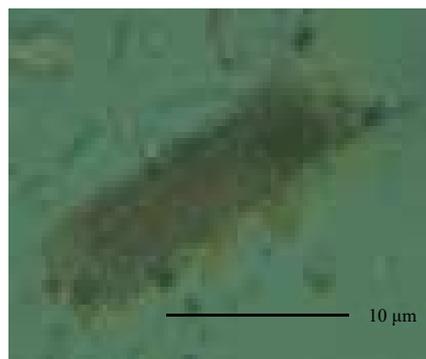
fitólitos (OSTERRIETH et al., 2009). Nesse trabalho, essa situação pode ser notada principalmente nos perfis do (a) ao (d), que são os perfis de solo mais arenosos em relação ao (e) e (f), e conseqüentemente possuem o menor número de fitólitos por horizontes estudados (Tabela 1).

Figura 2. Ampliação de fotomicrografias de fitólitos encontrados em horizontes com caráter coeso nos solos desenvolvidos no Estado da Bahia. Latossolo Amarelo Distrocoeso psamítico (a): Bt1; Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico (b): BA; Latossolo Vermelho Distrocoeso típico (c): BA; Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico (d): AB; Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (e): BA e; Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (f): BA.

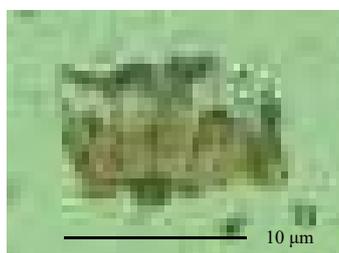
a



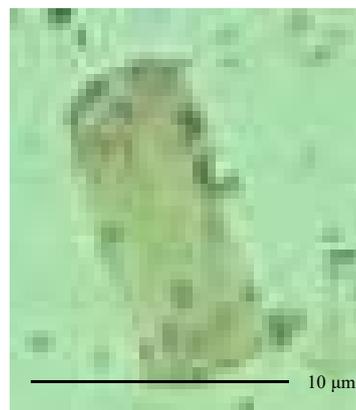
b



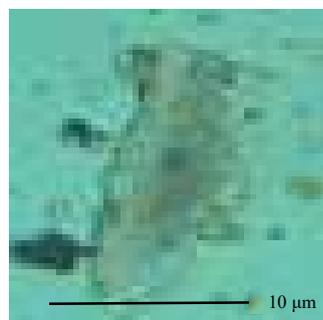
c



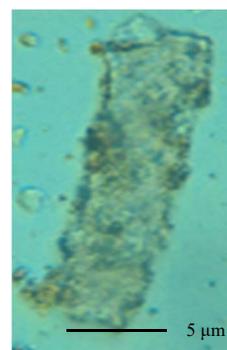
d



e



f



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Dessa forma, os baixos teores de ferro desses solos juntamente com os baixos teores de argilominerais (AJAYI et al., 2009), diminui a proteção conferida pelos mesmos às estruturas formadas por sílica amorfa, deixando-as expostas a processos físicos, químicos e climáticos que atuam em sua degradação (OSTERRIETH et al., 2009), e possibilitando a liberação de sílica biogênica no solo favorecendo os processos de ciclagem do silício.

Assim que os fitólitos e estruturas de sílica amorfa são depositados no solo por consequência da senescência das plantas ou parte das mesmas, são submetidos à dissolução química que pode levar a mudanças substanciais no reservatório dessas estruturas, influenciando a formação de características do solo durante a pedogênese (PIPERNO, 1988). A abrasão que ocorre nos fitólitos é consequência da sua movimentação na superfície do solo causada pela água e pelo vento e pela movimentação dentro do perfil do solo como consequência de processos como argiluviação e bioturbação que podem resultar na quebra das extremidades e pontos fracos dos mesmos, podendo chegar a modificar as características dos corpos de sílica de tal forma que impossibilitem a identificação correta dos mesmos (MADELLA & LANCELOTTI, 2012).

Nesse trabalho, foram identificados fitólitos com morfotipos Bulliform cuneiform, Bulliform paralelepipedal, Elongate psilate, Elongate sinuate, produzidos por plantas da família Poaceae e Tabular psilate e Globular granulate por dicotiledôneas lenhosas (CALEGARI, 2008; MADELLA & LANCELOTTI, 2012). Na figura 3, estão apresentadas a fotomicrografias de fitólitos representativos em todos os horizontes dos perfis de solos estudados.

Os perfis (a), (b), (c) e (d) que estão sob cultivo de eucalipto, possuem poucos fitólitos em seu horizonte superficial (Tabela 1), o que pode ser atribuído a pouca produção de corpos silicosos por essa espécie, concordando com resultados encontrados por Coe et al. (2018), que estudaram a paleovegetação do período Holoceno no estado do Rio de Janeiro e verificaram que algumas espécies da família Myrtaceae não são produtoras de fitólitos. Por outro lado, as plantas da família Poaceae produzem grandes quantidade de fitólitos (PIPERNO, 1988), o que se reflete em um maior número de fitólitos apresentados nos horizontes superficiais dos perfis (e) e (f) em relação aos demais perfis.

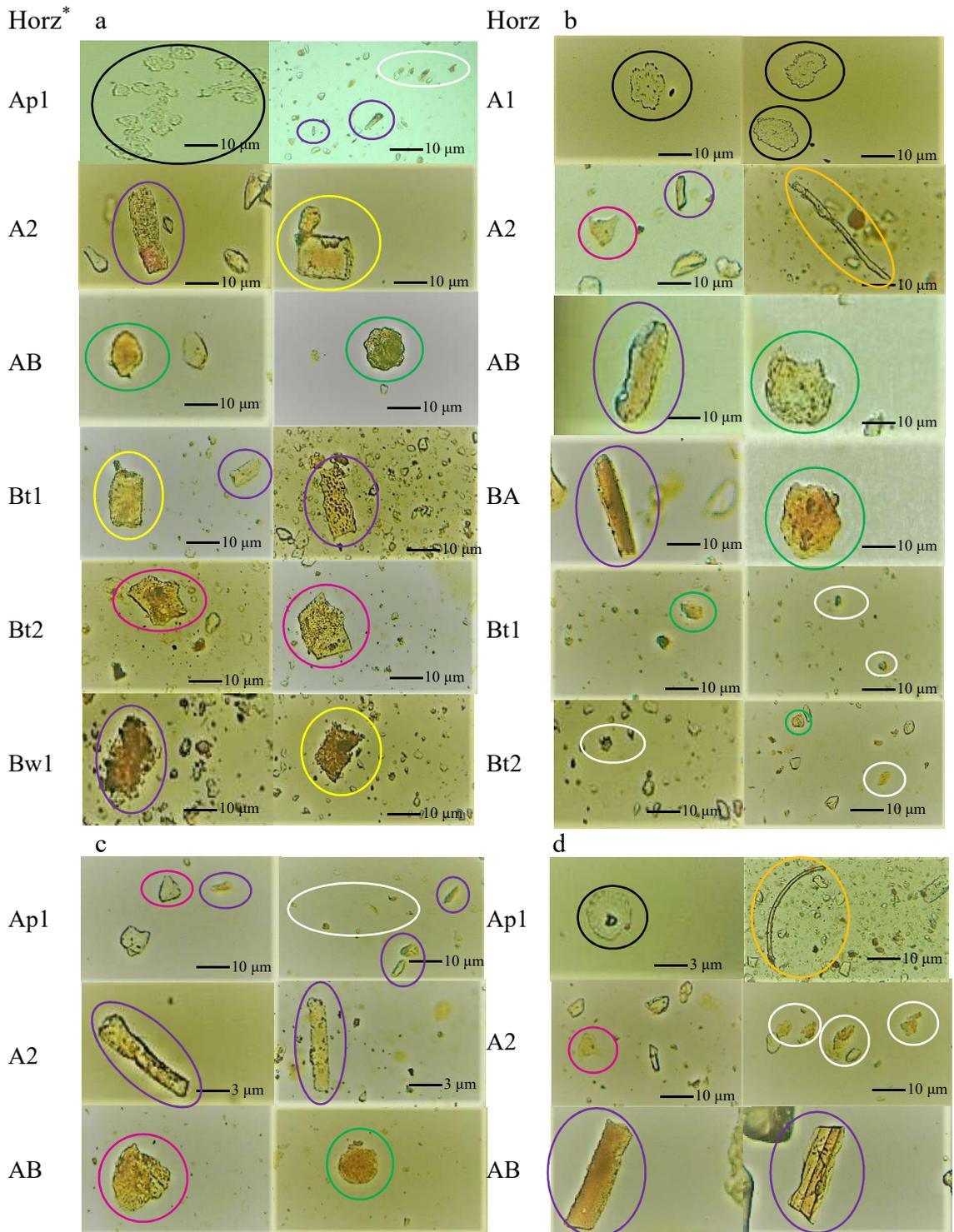
Ainda sobre a distribuição de fitólitos nos perfis de solo e sua relação com as espécies de plantas, Wrang et al. (1998) estudaram a variação de corpos silicosos em plantas da família Poaceae e verificaram que a distribuição e quantidade de fitólitos nas plantas possui relação direta com a espécie vegetal e os fatores climáticos do local onde as mesmas estão situadas

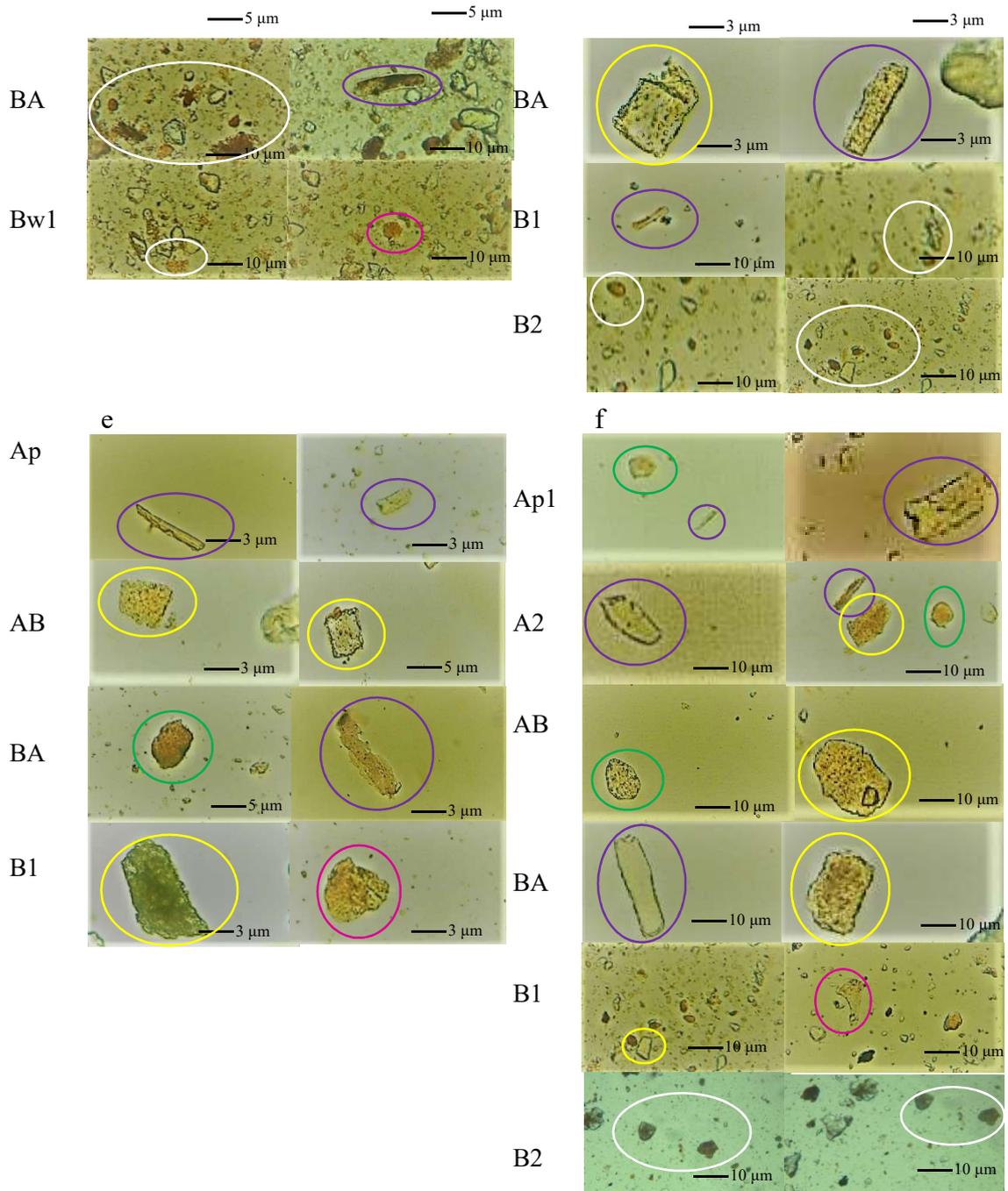
(precipitação e temperatura, principalmente), essa situação é observada nesse trabalho nos perfis (e) e (f), cujo o uso atual do solo é feito com o cultivo de gramíneas.

A identificação, contagem e classificação dos fitólitos nas amostras coletadas nos horizontes dos perfis de solos estudados foram feitas com o objetivo de uma posterior caracterização da assembleia fitolítica e interpretação de suas variações através dos índices de densidade arbórea, índice de adaptação de aridez e índice climático que são comumente usados para a reconstrução da vegetação e do clima, no entanto, o cálculo desses índices não foi possível devido a quantidade insuficiente de fitólitos bem como da pouca quantidade de morfotipos, o que não permitiu uma coleta suficiente de dados para se obter validade estatística, mesmo após a contagem desse material em três laminais por horizonte.

Stromberg (2009), estudando a metodologia para análise de assembleias fitolíticas, observou que 200 fitólitos por lâmina possibilitaria o cálculo dos índices de densidade arbórea, de adaptação de aridez e índice climático com suficiente validade estatística. A autora chama atenção para a variação de interpretações de assembleias fitolíticas caso não seja respeitada a precisão estatística adequada e diz que em alguns casos, como em estudos que necessitam de maior precisão nos intervalos de confiança entre as amostras, é necessário contar e classificar mais de 200 fitólitos e para estudos que buscam estabelecer diferenças entre assembleias fitolíticas a contagem de pelo menos 200 fitólitos seria suficiente.

Figura 4. Fotomicrografias de fitólitos e corpos silicosos dos horizontes dos perfis de solos estudados: ● Frústulas; ● Espículas de espojas; ● Elongate; ● Bulliform paralelepipedal; ● Bulliform cuneiform; ● Globulate; ○ Estruturas silicatadas amorfas.). Latossolo Amarelo Distrocoeso psamítico (a); Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico (b); Latossolo Vermelho Distrocoeso típico (c); Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico (d); Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (e) e Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (f). Horz: horizonte.





Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

3.6.CONCLUSÕES

Os solos dos Tabuleiros Costeiros estudados, apresentaram poucos fitólitos ao longo do perfil, sendo que a maioria está concentrada nos horizontes coesos.

Houve maior concentração de fitólitos preservados nos horizontes coesos como consequência da acumulação por bioturbação e transporte vertical e pelo maior adensamento nesse horizonte, o que dificulta o transporte para os horizontes subjacentes.

A solubilização das estruturas fitolíticas sugere que essas estruturas liberam sílica amorfa biogênica nos horizontes dos perfis de solos estudados, principalmente nos horizontes coesos, onde sua acumulação é maior.

3.7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

AJAYI, A. E.; DIAS JUNIOR, M. S.; CURI N; GONTIJO I; ARAUJO JUNIOR, C. F.; VASCONCELOS JUNIOR, A. I. Relation of strength and mineralogical attributes in Brazilian latosols. **Soil & Tillage Research, Amsterdam**, v.102, p.14–18, 2009.

ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J.J.D. Late holocene Phytolith and carbon-isotope record from a latosol at Salitre, south-central Brasil. **Quaternary research**, v. 51, p. 187-194, 1999.

ARAI, M. A. Grande Elevação Eustática do Mioceno e Sua Influência na Origem do Grupo Barreiras. *Revista do Instituto de Geociências – USP*, v. 6, n. 2, p. 1-6, outubro 2006

BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA – Secretaria Geral. **Pedologia**. In: Folhas SF.23/24-Rio de Janeiro/Vitória. Projeto RADAMBRASIL, 1982. p. 385- 552. (Levantamento de Recursos Naturais-Vol. 32).

CALEGARI, M.R. Ocorrência e significado paleoambiental do horizonte A húmico em Latossolos. **Tese de Doutorado**. ESALQ/USP. 256p. 2008.

COSTA, L.M.; KELLER, W.D.; JOHNS, W.D. Espículas de esponja em solos de João Pinheiro, Minas Gerais. **Revista Ceres**, v.39, n.226, p.597-603, 1992.

COSTA, L.M.; SANTOS, R.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; MOREAU, A.M.S.S.; MOREAU, M.S. Ocorrência de corpos silicosos em horizontes superficiais de solos de diferentes ecossistemas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v.34, n.3 p. 871-879, 2010.

COE, H.H.G.; RAMOS, Y.B. M.; SILVA, A.L.C.; GOMES, E.; SOUSA, L.O.F.; MACARIO, K.D.; DIAS, R.R. Paleovegetação da Ilha Grande (Rio de Janeiro) no Holoceno através do estudo de fitólitos e isótopos do carbono. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v11, n.02, p.456-476, 2018.

FRAYSSE, F.; POKROVSKY, O.S.; SCHOTT, J.; MEUNIER, J.D. Surface chemistry and reactivity of plant phytoliths in aqueous solutions. **Chemical Geology**, v.258, n.4, p.197-206, 2009.

HILDEBRAND, M. Biological processing of nanostructured silica in diatoms. **Progress Organic Coatings**, v.47, n.3, p.256-266, 2003.

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 de Ciência do Solo**, v.28, n.3, p.467-476, 2004.

LORENTE, F.L.; PESSENDA, L.C.R.; CALEGARI, M.R.; COHEN, M.C.L.; ROSSETTI, D.; GIANNINI, P.C.F.; BUSO JUNIOR, A.A.; CASTRO D.F., FRANÇA M.C., BENDASSOLLI J.A., MACARIO K. Phytoliths as indicators of environmental changes during the Holocene in the northern coast of the Espírito Santo State (Brazil). **Quaternary and Environmental Geosciences**, v.06, n.1, p.01-15, 2015.

MADELLA, M.; LANCELOTTI, C. Taphonomy and phytoliths: A user manual. **Quaternary International**, v.275, p. 76-83, 2012.

MADELLA, M.; POWERS-JONES, A.H.; JONES, M.K.; A simple method of extraction of opal phytoliths from sediments using a non-toxic heavy liquid. **Journal of Archaeological Science**, v.25, n.8, p.801–803, 1998.

MADELLA, M.; JONES, M.K.; ECHLINC, P.; POWERS-JONES, A.; MOORED, M. Plant water Availability and analytical microscopy of phytoliths: Implications for ancient irrigation in arid zones. **Quaternary International**, v.193, p.32-40, 2009.

Madella, M.; Alexandre, A.; Ball, T. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. **Annals of Botany**, v.96, p.253-260, 2005.

OSTERRIETH, M.L.; MADELLA, M.; ZURRO, D.; ALVAREZ, M.F. Taphonomical aspects of silica phytoliths in the loess sediments of the Argentinean Pampas. **Quaternary International**, v.193, p. 70-79, 2009.

PIPERNO D.R. **Phytolith analysis: an archaeological and geological perspective**. Academic Press, London, 280p, 1998.

PIPERNO, D.R. **Phytolith: A comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists**. Lanham, AltaMira Press, 2006. 238p.

RAMÍREZ S, H.U.; Del V. ZÁRATE, P.F.; GARCÍA, M.E.G.; TORRE V., O.; ISRADE A., I. & MEULENERT PEÑA, A.R. Disolución de sílice biogênica em sedimentos de lagos utilizados como bioindicadores de calidad del água. **Gnosis**, v.5, p.1-19, 2007.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. Viçosa: SBCS, 100p. 2015.

SOMMER, M.; JOCHHEIM, H.; HOHN, A.; BREUER, J. ZAGORSKI, Z.; BUSSE,J.; BARKUSKY, D.; MEIER, K; PUPPE, D.; WANNER, M.; KACZOREK, D. Si cycling in a forest biogeosystem – the importance of state biogenic Si pools. **Biogeosciences**, v. 10, n. 7, p. 4991-5007, 2013.

STRÖMBERG, C.A.E. Using phytolith assemblages to reconstruct the origin and spread of grass-dominated habitats in the great plains of North America during the late Eocene to early Miocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v.207, p.239-275, 2004.

THORN, V.C. Phytolith evidence for C4- dominated grassland since the early Holocene at Long Pocket, northeast Queensland, Australia. **Quaternary Research**, v.61, p.168-180, 2004.

WRANG, S. S.; KIM, K.; HESS, W. M. Variation of silica bodies in leaf epidermal long cells within and among seventeen species of *Oryza* (Poaceae). **American Journal of Botany**, v.85, p.461-466, 1998.

CONCLUSÕES GERAIS

Os teores de Fe e Al extraídos por DCB e oxalato de amônio não mostraram tendência expressiva de acumulação nos horizontes coesos dos perfis de solos estudados, evidenciando que as formas de baixa e/ou alta cristalinidade desses elementos não possuem correlação com a gênese desses horizontes.

A sílica amorfa minerogênica, a sílica amorfa biogênica e a sílica oclusa em óxidos/hidróxidos apresentaram acumulação nos horizontes coesos de todos os perfis de solos estudados, indicando que as causas da coesão estão relacionadas com a presença dessas formas de sílica no solo, destacando a importância da sílica como agente cimentante desses horizontes.

A dinâmica da distribuição dos diferentes compartimentos de sílica nos Latossolos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros estudados, mostrou que a manifestação do caráter coeso, independe da variação na coloração dos solos ou do processo pedogenético dominante na formação da classe de solo (Argissolo ou Latossolo), sendo sua gênese consequência da acumulação de sílica oclusa em óxidos e hidróxidos e da sílica amorfa biogênica nos horizontes coesos, possibilitando a manifestação da coesão durante o período seco.

Houve maior concentração de fitólitos preservados nos horizontes coesos como consequência da acumulação por bioturbação e transporte vertical e pelo maior adensamento nesse horizonte, o que dificulta o transporte para os horizontes subjacentes.

A solubilização das estruturas fitolíticas sugere que essas estruturas liberam sílica amorfa biogênica nos horizontes dos perfis de solos estudados, principalmente nos horizontes coesos, onde sua acumulação é maior.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dessa pesquisa indicam que a gênese dos horizontes coesos de solos dos Tabuleiros Costeiros derivados de sedimentos terciários do Grupo Barreiras é consequência da acumulação dos compartimentos de sílica amorfa biogênica, proveniente do acúmulo do ácido monossilícico nas plantas com posterior deposição no solo após sua senescência e da sílica oclusa que corresponde à sílica associada aos óxidos/hidróxidos cristalinos e de baixa cristalinidade. Esses compostos funcionam como agentes condicionadores da coesão e no período seco a sua polimerização e precipitação causam a máxima expressão da coesão.

O estudo da distribuição de frações de silício nos solos dos Tabuleiros Costeiros tornam-se, a partir da posse dos resultados desse trabalho, de extrema importância para o entendimento mais aprofundado da relação entre os atributos dos solos, a ciclagem desse elemento e seu comportamento como polímero e monômero no fenômeno da coesão de horizontes subsuperficiais.

Pesquisas voltadas para o esclarecimento das interações e ligações que as frações de sílica que causam a coesão podem estabelecer com óxidos de ferro e principalmente óxidos de alumínio, podem representar uma solução para a diminuição dessas nos perfis de solo e abre possibilidades para o desenvolvimento de compostos a serem aplicados nos solos, que tenham como consequência principal a formação de ligações entre essas frações de silício e os óxidos, com a finalidade principal de atenuar ou evitar os processos de endurecimento de horizontes subsuperficiais.

ANEXOS

PROCEDIMENTO PARA A DETERMINAÇÃO DE SILÍCIO POR COLORIMETRIA**Preparo de reagentes:**

- 1- Molibdato de amônio tetra hidratado: Dissolver 54 g em 750 ml de água deionizada, ajustar o pH para 7 com NaOH, diluir para um litro, armazenar.
- 2- Solução de ácido tartárico (20%): dissolver 100 g de ácido tartárico em água e diluir para 500 ml. Armazenar em frasco de polietileno.
- 3- Solução redutora: dissolver 25 g de bissulfito de sódio em 200 ml de água. Dissolver 2 g de sulfito de sódio e 0,4 g de ácido 1-amino-2-naftal-4-sulfônico em 25 ml de água. Misturar as soluções e diluir para 250 ml. Refrigerar.
- 4- Solução de ácido sulfúrico 0,5 M (250 ml): dissolver 13,3075 g de ácido sulfúrico concentrado e dissolver para 1000 ml com água deionizada.

Procedimento para curva padrão:

(Testar as curvas antes de iniciar as análises).

- 1- Pontos da curva: 0; 0,8; 2; 4; 6; 8; 10; 12; 14; 18; ppm.
- 2- Adicionar respectivamente, 0; 1; 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 17,5; 22,5 ml de solução padrão de 40 ppm à solução de 50 ml.
- 3- Adicionar 10 ml de H_2SO_4 + 10 ml de molibdato de amônio.
- 4- Após 2 min, adicionar 5 ml de ácido tartárico e 5 ml da solução redutora.
- 5- Completar o volume dos frascos com água deionizada e ler em 820 ou 620 nm dentro de 30 min.

Procedimento para leitura das amostras:

- 1- Transferir o extrato da solução filtrada para um balão volumétrico de 50 ml.
- 2- Adicionar 10 ml de H_2SO_4 0,5 M e 10 ml da solução de molibdato de amônio (0,3 M).

MISTURAR BEM.

- 3- Depois de 2 min, adicionar 5 ml de ácido tartárico e 5 ml da solução de redução agitar bem e completar o volume com H_2O deionizada.
- 4- Medir a absorvância a 820 dentro de 30 min após a adição do molibdato.

Tabela 1. Médias das extrações de ferro, alumínio e silício, capítulo 1.

Hor.	Prof.	Fe DCB	Fe Ox	Al DCB	Al Ox	Si DCB	Si Ox	Si NaOH
.....g kg ⁻¹								
Latossolo Amarelo Distrocoeso psamítico (a)								
Ap1	0-6	2.81	0.198	3.21	0.83	1.72	3.29	3.03
A2	6-25	2.98	0.196	3.29	1.24	1.18	5.13	3.28
AB	25-70	3.25	0.198	3.74	1.59	1.04	9.14	6.36
Bt1	70-100	2.87	0.217	2.94	0.91	0.82	9.1	7.87
Bt2	100-145	2.80	0.216	2.21	0.68	0.57	8.27	7.4
Bw1	145-165+	3.05	0.239	1.51	0.78	0.61	4.26	3.32
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico (b)								
A1	0-10	2.81	0.198	3.21	0.83	11.2	4.71	3.08
A2	10-25	2.98	0.196	3.29	1.24	10.1	6.53	6.04
AB	25-48	3.25	0.198	3.74	1.59	7.02	10.25	10.25
BA	48-65	2.87	0.217	2.94	0.91	6.97	10.6	9.12
B1	65-83	2.80	0.216	2.21	0.68	4.13	4.35	7.01
B2	83-140+	3.05	0.239	1.51	0.78	4.11	4	6.34
Latossolo Vermelho Distrocoeso típico (c)								
Ap1	0-10	3.30	0.216	3.55	1.22	10.08	8.64	4.41
A2	10-53	3.43	0.197	2.60	1.85	10.01	10.69	4.77
AB	53-90	3.51	0.227	2.25	1.61	4.36	10.04	6.17
BA	90-120	3.66	0.276	1.18	0.63	3.73	8.27	4.83
BW1	120-160+	3.14	0.22	1.54	0.46	1.29	5.27	4.45
Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico (d)								
Ap1	0-17	3.11	0.243	3.34	0.48	9.12	6.18	4.54
A2	17-39	3.16	0.241	4.57	0.87	9.09	7.95	4.71
AB	30-68	3.22	0.284	2.62	1.25	8.71	10.13	5.4
BA	68-106	3.31	0.252	2.49	1.33	6.81	10.78	6.98
B1	106-132	3.42	0.214	2.2	1.13	4.3	7.86	6.71
B2	132-180+	3.42	0.22	2.07	0.75	1.15	5.77	5.17
Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (e)								
Ap	0-17	2.22	0.198	2.89	0.312	1.15	4.14	5.35
AB	17-50	2.28	0.2	4.60	0.555	0.86	6.76	5.63
BA	50-80	2.30	0.218	4.67	0.608	0.68	6.79	6.63
Bw1	80-120+	2.37	0.238	2.76	0.275	0.54	5.15	5.6
Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (f)								
Ap1	0-10	3.11	0.243	3.34	0.486	10.15	4.42	4.04
A2	10-28	3.16	0.241	4.57	0.875	9.64	6.64	5.57
AB	28-60	3.22	0.284	2.62	1.25	5.52	10.48	8.53
BA	60-105	3.31	0.252	2.49	1.338	3.84	10.89	10.98
B1	105-123	3.42	0.214	2.2	1.131	1.42	7.8	6.01
B2	123-150+	3.42	0.22	2.07	0.756	1.22	5.3	5.41

Ferro extraído com oxalato de amônio (Fe Ox) e ferro extraído com ditionito- citrato-bicarbonato (Fe DCB). Alumínio extraído com oxalato de amônio (Al Ox) e alumínio extraído com ditionito- citrato-bicarbonato (Al DCB). Silício extraído com oxalato de amônio (Si Ox), ditionito- citrato-bicarbonato de sódio (Si DCB), hidróxido de sódio (Si NaOH).

Tabela 2. Extração sequencial de sílica, capítulo 2.

Hor.	Prof.	Si m	Si ad	Si MO	Si oc	Si min	Si b
.....g kg ⁻¹							
Latossolo Amarelo Distrocoeso psamítico (a)							
Ap1	0-6	0.262	0.457	0.004	3.566	2.647	1.034
A2	6-25	0.108	0.594	0.004	6.063	2.459	1.092
AB	25-70	0.153	0.480	0.002	10.699	2.551	4.724
Bt1	70-100	0.217	0.251	0.001	9.807	2.452	4.852
Bt2	100-145	0.126	0.457	0.000	9.273	4.129	3.175
Bw1	145-165+	0.099	0.594	0.001	4.636	2.698	1.228
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico (b)							
A1	0-10	0.776	0.526	0.005	4.458	3.163	2.261
A2	10-25	0.866	0.800	0.003	6.241	4.182	2.322
AB	25-48	0.930	0.960	0.001	10.342	2.127	5.400
BA	48-65	0.939	1.828	0.001	10.246	3.646	4.399
B1	65-83	0.993	1.485	0.001	4.815	2.764	1.270
B2	83-140+	1.011	1.440	0.001	4.636	1.470	1.269
Latossolo Vermelho Distrocoeso típico (c)							
Ap1	0-10	0.533	0.640	0.001	6.633	3.324	1.133
A2	10-53	0.163	0.663	0.001	7.275	3.172	1.242
AB	53-90	0.235	0.503	0.001	10.111	4.198	3.551
BA	90-120	0.289	0.526	0.001	10.298	4.670	3.482
Bw1	120-160+	0.253	0.526	0.001	7.570	3.354	1.074
Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico (d)							
Ap1	0-17	0.785	1.234	0.003	6.241	2.533	2.068
A2	17-39	0.722	1.303	0.002	8.559	2.626	2.119
AB	30-68	1.002	1.325	0.001	12.661	1.704	5.513
BA	68-106	0.677	1.280	0.001	12.979	2.183	5.020
B1	106-132	0.821	1.028	0.000	5.171	3.162	0.950
B2	132-180+	1.074	1.325	0.000	4.993	3.423	0.804
Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (e)							
Ap	0-17	0.857	0.160	0.002	4.636	3.457	1.187
AB	17-50	0.659	0.503	0.003	10.877	4.557	3.164
BA	50-80	0.713	0.571	0.001	9.451	4.665	3.157
Bw1	80-120+	1.128	0.708	0.001	4.458	3.003	1.239
Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (f)							
Ap1	0-10	2.175	1.097	0.003	4.458	2.100	1.063
A2	10-28	0.921	1.348	0.001	6.241	4.019	2.163
AB	28-60	0.812	0.800	0.001	10.342	5.856	7.271
BA	60-105	0.848	0.731	0.001	10.342	4.382	7.263
B1	105-123	0.848	0.206	0.001	4.815	4.951	2.813
B2	123-150+	0.912	0.434	0.001	4.636	4.391	2.079

Si m: sílica móvel; Si ad: sílica adsorvida; Si MO: sílica da matéria orgânica; Si oc: sílica oclusa; Si min: sílica minerogenica; Si b: sílica biogênica.

Figura 1. Fotografia dos solos coesos estudados dos municípios de Inhambupe e Cruz das Almas no estado da Bahia.

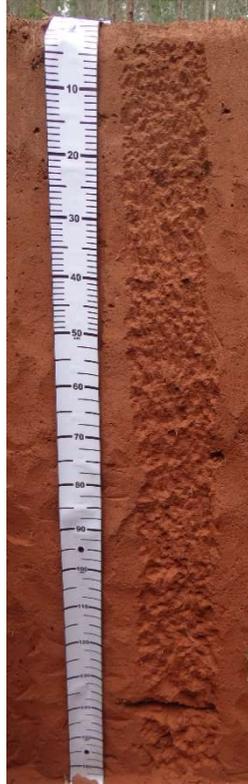
Latossolo Amarelo Distrocoeso psamítico



Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico



Latossolo Vermelho Distrocoeso típico



Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico



Latosolo Amarelo Distrocoeso típico



Argissolo Amarelo Distrocoeso típico



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DOS SOLOS
ESTUDADOS

PERFIL (a)

DATA – 27/01/2017

CLASSIFICAÇÃO – Latossolo Amarelo Distrocoeso psamítico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO E COORDENADAS – Fazenda Salgado, Inhambupe, Bahia, latitude 11051'60"S e longitude 38022'55"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Ombreira, menos de 3% de declividade, sob Floresta de Eucalipto.

ALTITUDE – 232 metros.

LITOLOGIA – Sedimentos areno-argilosos.

GEOLOGIA – Grupo Barreiras.

CRONOLOGIA – Tércio-quadernário.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração de sedimentos areno-lamosos.

PEDREGOSIDADE – Não pedregoso.

ROCHOSIDADE – Não rochoso.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO – Moderada.

DRENAGEM – acentuadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas.

USO ATUAL - Floresta de Eucalipto.

CLIMA – Koppen - Am; Thornthwaite e Mather - C1dA'a' (subúmido a seco).

DESCRITO e COLETADO POR – Fagner Taiano dos Santos Silva, Devison Souza Peixoto, Luciano da Silva Souza.

Ap1 0-6cm, rosado (7,5YR 7/4, úmido); arenosa; grãos simples, fraca pequena blocos subangulares e forte pequena grumosa; solta e macia, friável, não plástica, não pegajosa; transição plana e clara.

A2 6-25cm, rosado (7,5YR 7/4, úmido); arenosa; fraca pequena blocos subangulares e grãos simples; macia e solta, friável, não plástica, não pegajosa; transição plana e clara.

AB 25-70cm, bruno-claro (7,5YR 6/4, úmido); franco-arenosa; maciça porosa e moderadamente coesa; ligeiramente dura, friável, não plástica, não pegajosa; transição plana e clara.

Bt1 70-100cm, amarelo-avermelhado (7,5YR 7/6, úmido); franco-arenosa; moderadamente coesa; ligeiramente dura, friável, não plástica, não pegajosa; transição plana e gradual.

Bt2 100-145cm, amarelo-avermelhado (7,5YR 7/8, úmido); franco-argiloarenosa; moderadamente coesa; ligeiramente dura, friável, não plástica, não pegajosa; transição plana e gradual.

Bw1 105-145cm, amarelo-avermelhado (7,5YR 7/8, úmido); franco-argiloarenosa; maciça porosa e fraca pequena blocos subangulares; macia, friável, ligeiramente plástica, não pegajosa; transição plana e difusa.

PERFIL (b)

DATA – 27/01/2017

CLASSIFICAÇÃO – Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO E COORDENADAS – Fazenda Salgado, Inhambupe, Bahia, latitude 11°51'53"S e longitude 38°22'40"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Topo do relevo, menos de 1% de declividade, sob Floresta de Eucalipto.

ALTITUDE – 227 metros.

LITOLOGIA – Sedimentos areno-argilosos.

GEOLOGIA – Grupo Barreiras.

CRONOLOGIA – Tércio-quadernário.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração de sedimentos areno-lamosos.

PEDREGOSIDADE – Não pedregoso.

ROCHOSIDADE – Não rochoso.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas.

USO ATUAL - Floresta de Eucalipto.

CLIMA – Koppen - Am; Thornthwaite e Mather - C1dA'a' (subúmido a seco).

DESCRITO e COLETADO POR – Fagner Taiano dos Santos Silva, Devison Souza Peixoto, Luciano da Silva Souza.

A1 0-10cm, cinzento-avermelhado (5YR 5/2, úmido), transição plana e difusa, grãos simples e blocos sub-angulares, médios e grandes, fraco, macia (seco); muito friável (úmido) não plástico e não pegajoso, textura arenosa.

A2 10-25cm, bruno-forte (7,5YR 4/6, úmido), bruno-forte (7,5YR 5/6, seco), transição plana e difusa, blocos sub-angulares fraco, médio, maciço, porosa, duro (seco), friável (úmido), não plástico e não pegajoso, textura média.

AB 25-48cm, bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmida), transição plana e difusa, blocos sub-angulares fraco, médio e grande, maciço, porosa, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, textura média.

BA 48-65cm, vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmida), transição plana e gradual, maciço, porosa, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, textura média.

B1 65-83cm, vermelho (2,5YR 5/8), transição plana e difusa, maciço, porosa, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, textura média.

B2 83-140cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8), transição plana e difusa, blocos sub-angulares, grandes, fraco, maciço, porosa, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, textura argilosa.

PERFIL (c)

DATA – 27/01/2017

CLASSIFICAÇÃO - Latossolo Vermelho Distrocoeso típico

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO E COORDENADAS – Fazenda Salgado, Inhambupe, Bahia, latitude 11°51'53"S e longitude 38°22'40"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Topo do relevo, menos de 1% de declividade, sob Floresta de Eucalipto.

ALTITUDE – 222 metros.

LITOLOGIA – Sedimentos areno-argilosos.

GEOLOGIA – Grupo Barreiras.

CRONOLOGIA – Tércio-quadernário.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração de sedimentos areno-lamosos.

PEDREGOSIDADE – Não pedregoso.

ROCHOSIDADE – Não rochoso.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas.

USO ATUAL - Floresta de Eucalipto.

CLIMA – Koppen - Am; Thornthwaite e Mather - C1dA'a' (subúmido a seco).

DESCRITO e COLETADO POR – Fagner Taiano dos Santos Silva, Devison Souza Peixoto, Luciano da Silva Souza.

Ap1 0-10cm, vermelho (2,5YR 4/6, úmido); franco-arenosa; grãos simples, ligeiramente compactado que se quebra em fraca pequena blocos subangulares e forte pequenagrumsa; solta e ligeiramente dura, friável, não plástica, não pegajosa; transição plana e clara.

A2 10-53cm, vermelho (2,5YR 4/8, úmido); franco-argiloarenosa; grãos simples, ligeiramente compactado que se quebra em fraca a moderada pequena blocos subangulares; solta e ligeiramente dura, friável, não plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

AB 53-90cm, vermelho (2,5YR 4/8, úmido); franco-argiloarenosa; ligeiramente compactado que se quebra em moderada pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

BA 90-120cm, vermelho (2,5YR 4/8, úmido); franco-argiloarenosa; maciça porosa e moderadamente coesa; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Bw1 120-160cm+, vermelho (2,5YR 5/8, úmido); franco-argiloarenosa; moderadamente coesa; dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

PERFIL (d)

DATA – 27/01/2017

CLASSIFICAÇÃO - Argissolo Acinzentado Distrocoeso arênico

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO E COORDENADAS – Fazenda Salgado, Inhambupe, Bahia, latitude 11°51'53"S e longitude 38°22'40"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Topo do relevo, menos de 1% de declividade, sob Floresta de Eucalipto.

ALTITUDE – 214 metros.

LITOLOGIA – Sedimentos areno-argilosos.

GEOLOGIA – Grupo Barreiras.

CRONOLOGIA – Tércio-quadernário.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração de sedimentos areno-lamosos.

PEDREGOSIDADE – Não pedregoso.

ROCHOSIDADE – Não rochoso.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas.

USO ATUAL - Floresta de Eucalipto.

CLIMA – Koppen - Am; Thornthwaite e Mather - C1dA'a' (subúmido a seco).

DESCRITO E COLETADO POR – Fagner Taiano dos Santos Silva, Devison Souza Peixoto, Luciano da Silva Souza.

A1 0-17cm, cinzento (10YR 5/1, úmido), cinzento escuro (10YR 4/1, variegado), transição plana e difusa, grãos simples, blocos sub-angulares, médios e grandes, fraco, muito friável, não plástico e não pegajoso, textura arenosa.

A2 17-39cm, cinzento-avermelhado-escuro (2,5YR 4/1, úmido), transição plana e difusa, grãos simples, blocos sub-angulares, médios e grandes, fraco, muito friável, não plástico e não pegajoso, textura arenosa. 10% argila, 5% silte e 85% areia

AB 39-68cm, cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, úmido), transição plana e difusa, grãos simples, blocos sub-angulares, médios e grandes, fraco, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, textura arenosa - 20% argila, 5% silte e 75 areia.

BA 68-106cm, cinzento (10YR 5/1, úmido), transição plana e gradual, maciço porosa, blocos sub-angulares grandes, fraco, friável e firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, 35% argila, 10% silte e 55 areia.

B1 106-132cm, bruno-avermelhado-claro (2,5YR 7/3, úmido), transição plana, maciço porosa, blocos sub-angulares grandes, fraco, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, textura arenosa - 40% argila, 10% silte e 50 areia.

B2 132-180cm+, rosado (2,5YR 8/3, úmido), mosqueamento comum, irregular e proeminente (7,5YR 4/6) - bruno-forte, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, textura arenosa - 40% argila, 5% silte e 75 areia.

OBS: A coesão a partir do AB até os primeiros 106 cm do AB.

PERFIL (e)

DATA – 31/01/2017

CLASSIFICAÇÃO - Latossolo Amarelo Distrocoeso típico

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO E COORDENADAS – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia-UFRB, Cruz das Almas, Bahia. Latitude: -12.656059°S, Longitude: -39.089850°W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Topo do relevo, menos de 1% de declividade, sob pastagem, sem animais.

ALTITUDE – 224 metros.

LITOLOGIA – Sedimentos argilo-arenoso.

GEOLOGIA – Grupo Barreiras.

CRONOLOGIA – Tércio-quadernário.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração de sedimentos areno-lamosos.

PEDREGOSIDADE – Não pedregoso.

ROCHOSIDADE – Não rochoso.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Floresta Subperenifólia.

USO ATUAL – Pastagem, sem animais.

CLIMA – Koppen - Am; Thornthwaite e Mather - C1dA'a' (subúmido a seco).

DESCRITO e COLETADO POR – Fagner Taiano dos Santos Silva, Devison Souza Peixoto.

Ap 0 – 17 cm; Bruno (7,5YR 6/4, seco); marrom (7,5YR 5/4, úmido); franco-arenosa; fraca grande blocos subangulares; duro, friável; não plástico, não pegajoso, transição plana e difusa.

AB 17 – 50 cm; Bruno (7,5YR 6/4, seco); marrom (7,5YR 5/4, úmido); franco argilo-arenosa; maciça; fraca grande blocos subangulares, coeso; muito duro, friável; não plástico, não pegajoso, transição plana e difusa.

BA 50 – 80 cm; Amarelo Avermelhado (7,5YR 7/6, seco); Amarelo Avermelhado (7,5YR 7/6, úmido) franco argilo-arenosa; maciça; grande blocos subangulares, coeso; muito duro, friável; não plástico, não pegajoso, transição plana e difusa.

B1 80 – 120+ cm; Amarelo Avermelhado (7,5YR 7/6, seco); Amarelo Avermelhado (7,5YR 7/6, úmido) franco argilo-arenosa; maciça; grande blocos subangulares, coeso; muito duro, friável; não plástico, não pegajoso, transição plana e difusa.

OBS: coesão nos horizontes AB e BA.

PERFIL (f)

DATA – 31/01/2017

CLASSIFICAÇÃO - Argissolo Amarelo Distrocoeso típico

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO E COORDENADAS – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia-UFRB, Cruz das Almas, Bahia. Latitude: -12.657676°S, Longitude: -39.095370°W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Topo do relevo, menos de 1% de declividade, sob pastagem, sem animais.

ALTITUDE – 211 metros.

LITOLOGIA – Sedimentos argilo-arenoso.

GEOLOGIA – Grupo Barreiras.

CRONOLOGIA – Tércio-quadernário.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração de sedimentos areno-lamosos.

PEDREGOSIDADE – Não pedregoso.

ROCHOSIDADE – Não rochoso.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Floresta Subperenifólia.

USO ATUAL – Pastagem, sem animais.

CLIMA – Koppen - Am; Thornthwaite e Mather - C1dA'a' (subúmido a seco).

DESCRITO e COLETADO POR – Fagner Taiano dos Santos Silva, Devison Souza Peixoto.

Ap 0 -10 cm; Bruno Claro (7,5YR 6/4, seco); Bruno (7,5YR 6/4, úmido); Franco-arenosa; fraca, grande blocos subangulares; duro, muito friável, não plástico e não pegajoso, plana e difusa.

A2 10-28 cm; Bruno Claro (7,5YR 6/4, seco); Bruno (7,5YR 6/4, úmido); Franco-arenosa; fraca, grande blocos subangulares; duro, muito friável, não plástico e não pegajoso, plana e difusa.

AB 28-60 cm; Bruno (7,5YR 7/6, seco); Amarelo Avermelhado (7,5YR 6/6, úmido); franco-argilo-arenosa maciça, fraca, coeso, muito duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, transição plana e difusa.

BA 60-105 cm; Bruno (7,5YR 7/6, seco); Amarelo Avermelhado (7,5YR 6/6, úmido); franco-argilo-arenosa maciça, fraca, coeso, muito duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, plana e difusa.

B1 105-123 cm; Amarelo Avermelhado (7,5YR 7/8, seco); Amarelo Avermelhado (7,5YR 6/8, úmido); franco-argilo-arenosa maciça; fraca grande blocos subangulares, ligeiramente duro, friável, plástico e pegajoso, transição plana e difusa.

B2 123 – 150+ cm; Amarelo Avermelhado (7,5YR 7/8, úmido); Amarelo Avermelhado (7,5YR 6/8, úmido) franco-argilo-arenosa granular; fraca pequena, blocos subangulares, ligeiramente duro, friável, plástico e pegajoso, transição plana e difusa.

Observação: coesão nos horizontes AB e BA (até os 105 cm).

Resumo Estatístico

RESUMO ESTATÍSTICO - CAPÍTULO 1:

Análise de Redundância Baseada em Distância (db-RDA);

Método: db-RDA com seleção progressiva, matrizes de distâncias euclidianas com 499 permutações de Monte-Carlo e corrigidas pela Taxa de Detecção Falsa (FDR); Seleção dos valores de probabilidade de significância, valor-p, para inclusão e exclusão dos atributos dos solos estudados;

A variação total é de 94,08%.

Estatística	Tabela de resumo			
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4
Valores próprios	0,4136	0,2055	0,1372	0,0744
Variação explicada (cumulativa)	63,91	30,17	0,0	0,07
Correlação pseudo-canônica (supl.)	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Atributos	Valor-p			
	Valor-p calculado	Valor-p tabelado		
Areia muito grossa	0,0002	0.0005		
Areia grossa	0,0006	0.002		
Areia média	0,0002	0.001		
Areia fina	0,001	0.003		
Areia muito fina	0,0001	0.004		
Silte	0,0002	0.002		
Argila	0,0004	0.001		
Densidade do solo	0,0003	0.003		
Densidade de partículas	0,0005	0.004		
Macroporosidade	0,0003	0.002		
Microporosidade	0,0001	0.005		
pH	0,0002	0.002		
Fósforo	0,0007	0.006		
Potássio	0,0004	0.004		
Sódio	0,0006	0.005		
Cálcio	0,0003	0.007		
Magnésio	0,0001	0.008		
Alumínio	0,002	0.004		
H + Al	0,0002	0.003		
Soma de bases	0,0002	0.005		
CTC efetiva	0,0001	0.008		
CTC potencial	0,0003	0.009		
Saturação por base	0,0005	0.003		
Saturação por alumínio	0,0003	0.001		
Ferro extraído por DCB	0,0005	0.002		
Ferro extraído por oxalato de amônio	0,0003	0.001		
Alumínio extraído por DCB	0,0002	0.002		
Alumínio extraído por oxalato de amônio	0,0007	0.002		
Silício extraído por DCB	0,008	0.006		
Silício extraído por oxalato de amônio	0.02	0.003		
Silício extraído por hidróxido de sódio	0.07	0.001		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

RESUMO ESTATÍSTICO - CAPÍTULO 2:

Análise de Redundância Baseada em Distância (db-RDA);

Método: db-RDA com seleção progressiva, matrizes de distâncias euclidianas com 499 permutações de Monte-Carlo e corrigidas pela Taxa de Detecção Falsa (FDR); Seleção dos valores de probabilidade de significância, valor-p, para inclusão e exclusão dos atributos dos solos estudados;

A variação total é de 84,9%, as variáveis suplementares representam 100,0% (variação explicada ajustada é de 100,0%);

Estatística	Tabela de resumo			
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4
Valores próprios	0,4136	0,2055	0,1372	0,0744
Variação explicada (cumulativa)	52,61	32,29	0,0	0,0
Correlação pseudo-canônica (supl.)	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	Valor-p			
Atributos	Valor-p calculado		Valor-p ajustado	
Sílica móvel (CaCl)	0,002		0,005	
Sílica adsorvida (ácido acético)	0,02		0,002	
Sílica da matéria orgânica (peróxido de hidrogênio)	0,005		0,007	
Sílica oclusa em óxidos e hidróxidos (oxalato de amônio)	0,04		0,002	
Sílica minerogenica (hidróxido de sódio)	0.004		0.007	
Sílica biogênica (politungstato de sódio)	0.05		0,002	

Fonte: Elaborado Pelo autor, 2020.