



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

**ANA LEÔNIA DE ARAÚJO**

**HORIZONTES COM CARÁTER COESO E SUA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL EM**  
**SOLOS NA FORMAÇÃO BARREIRAS**

**FORTALEZA**

**2015**

ANA LEÔNIA DE ARAÚJO

HORIZONTES COM CARÁTER COESO E SUA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL EM  
SOLOS NA FORMAÇÃO BARREIRAS

Tese apresentada ao curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, do Departamento de Solos da Universidade Federal do Ceará - UFC, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Solos e Nutrição de Plantas. Área de Concentração: Pedologia - Gênese e Classificação do Solo

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero

FORTALEZA

2015

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

- 
- A687h Araújo, Ana Leônia de.  
Horizontes com caráter coeso e sua distribuição espacial em solos na formação barreiras. / Ana Leônia de Araújo. – 2015.  
111 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas, Fortaleza, 2015.  
Área de Concentração: Pedologia – Gênese e classificação dos solos  
Orientação: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero.
1. Solos. 2. Sistemas de informação geográfica. 3. Análise multivariada I. Título.

CDD 631.4

---

ANA LEÔNIA DE ARAÚJO

HORIZONTES COM CARÁTER COESO E SUA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL EM  
SOLOS DA FORMAÇÃO BARREIRAS

Tese apresentada ao curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, do Departamento de Solos da Universidade Federal do Ceará - UFC, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Solos e Nutrição de Plantas. Área de Concentração: Pedologia - Gênese e Classificação do Solo

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero

Aprovada em: 11/09/2015

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

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

---

Prof. Dr. Adunias dos Santos Teixeira  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Tiago Osório Ferreira  
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ)

---

Prof. Dr. Carlos Tadeu dos Santos Dias  
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ)

À minha família.

## AGRADECIMENTOS

Ao final de um trabalho como esse tem-se muito a agradecer. Pelas coisas consideradas boas e pelas ruins também. Agradeço a Deus pela vida e saúde para desenvolver esses trabalhos. Agradeço a UFC, presente na minha vida desde 2003, tantas coisas aprendi e vivi aqui! Ao curso de Agronomia, o começo de tudo, tantas novidades e incertezas.

Ao Departamento de Ciências do Solo, onde entrei sem saber muito bem o que era e depois de um tempo me sentia tão bem quanto em casa, a ponto de passar vários finais de semana e feriados! Às pessoas, professores, que me acompanharam na vida acadêmica, especificamente, Prof<sup>ª</sup> Maria Lúcia, Prof. Luís Antônio, Prof. Sebastião, Prof. Batista, Prof. Teógenes, Prof<sup>ª</sup> Maria Eugênia, Prof. Ricardo, Prof. Tiago e Prof<sup>ª</sup> Mírian.

A alguns professores que conheci aqui ou em outros lugares e que deram também sua contribuição: Prof. Gustavo Valladares, Prof<sup>ª</sup> Lúcia Helena, Prof. Marcos Baccis, Prof. Ângelo Chaves.

À CAPES/CNPQ instituição que fomentou minha bolsa de Doutorado.

Aos meus amigos de tantos momentos, Juliana Vieira, Emanuel Dias, Gabriel Nuto, Daniel Pontes, Carolzinha, Priscilla, Isabel, Raiana, Ana Paula, Virgínia, Dimitri, Leilson.

Aos meus pais e irmãos pelo apoio, compreensão e ajuda em vários momentos da minha vida.

Ao meu esposo Rodrigo Girão, o que dizer? Sem seu apoio acho que não teria dado certo! Sempre me ajudando em tudo!

Muito obrigada a todos!

## RESUMO GERAL

Solos que apresentam caráter coeso são adensados, resistentes à penetração da faca ou martelo pedológico, muito duro a extremamente duro quando seco e friável ou firme quando úmido. A gênese dessa condição ainda não é totalmente esclarecida. Este trabalho desenvolveu-se visando embasar o conhecimento já produzido sobre a temática de horizontes coesos, bem como aliar ferramentas inovadoras de avaliação nessa temática. Para isso, as ações dividiram-se em dois capítulos. No Capítulo I foi realizada uma revisão bibliográfica sobre solos com caráter coeso bem como de estratégias de avaliação da distribuição desse caráter. Objetivando-se analisar as características gerais de solos com caráter coeso levando em conta a área de ocorrência da Formação Barreiras, foram reunidos perfis dos Levantamentos de Solos realizados nas décadas de setenta e oitenta e consideradas a análise de algumas variáveis. O Capítulo II objetivou analisar quatro perfis de solos, em uma topossequência em área com ocorrência de horizonte coeso originários de sedimentos da Formação Barreiras e aliar a análise espacial de variáveis por meio da geoestatística buscando identificar variáveis contribuidoras para a ocorrência do horizonte coeso. A área de estudo localiza-se na área experimental da EMBRAPA Agroindústria Tropical em Pacajus, CE. Foram realizadas análises das propriedades morfológicas, físicas e químicas. Identificou-se influência do relevo nos processos de formação dos solos, sendo os perfis P1 e P2, da parte mais elevada da topossequência, classificados como Argissolos Amarelos, o perfil P3, com horizonte coeso, classificado como Argissolo Acinzentado e o perfil P4, na parte mais baixa, como Neossolo Flúvico. O perfil P3 localizou-se em área plana, com evidência de drenagem dificultada e acúmulo de areia fina e argila, sugerindo o processo de argiluviação como influenciador no processo de gênese dos horizontes coesos. A área apresentou relevo predominantemente plano, com pequenas variações de declividade e curvatura. A maioria das variáveis apresentou dependência espacial e ajustaram-se ao modelo esférico. Não identificou-se dependência espacial para a variável consistência. As variáveis cascalho, areia muito grossa e areia muito fina apresentaram valores mais elevados nessa área. Não foi possível identificar uma contribuição efetiva da argila nos horizontes com caráter coeso. Identifica-se a relação de ocorrência de solos com horizontes coesos em áreas planas ou côncavas, com condição de drenagem deficiente e relacionado a processos de argiluviação e partículas finas do fracionamento da areia. Os resultados da análise geoestatística não apresentaram relação de

argiluviação, mas permitiram identificar uma área de ocorrência de solos com horizontes coesos.

**Palavras-chave:** Classificação de Solos. Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Geoestatística. Análise Multivariada. Consistência.

## GENERAL ABSTRACT

Soils that present the cohesive character are dense, resistant to knife or pedologic hammer, very to extremely hard when dry and friable or firm when moistened. The genesis of cohesion is not completely understood. The present research was developed to analyze the knowledge already done about cohesive horizons, as well as about innovative tools of evaluating this topic. The actions area divided into three chapters. In the Chapter I, was done a bibliographic revision about soils with cohesive character as well as about strategies to evaluate the spatial distribution of this character. General characteristics of soils with cohesive horizon were took taking in count the Barreiras Formation area, grouping profiles from the soil surveys done in 70's and 80's and considered some variables. The Chapter II aimed to analyze four soil profiles in a topossequence in area with occurrence of cohesive horizon originating from Barreiras Formation sediments and aimed also to analyze the variables through geostatistics searching for variables that contribute to cohesive horizon. The study area is located in the experimental area from EMBRAPA Agroindústria Tropical in Pacajus, CE. We analyzed morphological, chemical and physical aspects. It was identified contribution of relief in the process of soil formation, and the profiles P1 and P2, from the top part, classified as Argissolos Amarelos, the profile P3, with cohesive horizon, classified as Argissolo Acinzentado and the profile P4, in the lowest part, as Neossolo Flúvico. The profile P3 was located in a flat area, with evidences of difficulty drainage and accumulation of fine sand and clay, suggesting the argilluviation as influencing the process of genesis of cohesive horizons. The area showed relief mainly flat, with small variations of slope and curvature. Most of the variables presented spatial dependence and adjusted to spherical model. It was not identified spatial dependence to the variable consistence. The variables gravel, very coarse sand and very fine sand showed higher values in this area. It was identified the relation of cohesive horizons occurrence in flat and concave areas, with low drainage and related to argilluviation processes and fine particles of sand. The geostatistical data did not present relation to argilluviation, but was possible to identify an area of occurrence of cohesive horizon soils.

**Keywords:** Soil Classification. Geographic Information Systems (GIS). Geoestatistics. Multivariate Analysis. Consistence.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	11
1 INTRODUÇÃO .....	17
2 IDENTIFICAÇÃO DE SOLOS COM CARÁTER COESO .....	18
3 ANÁLISE HISTÓRICA DAS PESQUISAS REALIZADAS E HIPÓTESES DE GÊNESE PROPOSTAS .....	19
4 ATUAIS LINHAS DE PESQUISA E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	28
5 CONCLUSÕES .....	31
REFERÊNCIAS .....	32
CAPÍTULO II – ANÁLISE DO RELEVO E USO DA GEOESTATÍSTICA EM ÁREA COM HORIZONTES COESOS .....	38
1 INTRODUÇÃO .....	41
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	44
2.1 Amostragem para análise geoestatística .....	47
2.2 Análises físicas e químicas .....	47
2.3 Análise espacial.....	48
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
3.1 Análise e Classificação das trincheiras .....	49
3.2 Análise espacial.....	63
3.3 Análise estatística básica dos dados espaciais .....	66
3.4 Análise geoestatística.....	71
3.5 Análise da distribuição do carácter coeso .....	83
4 CONCLUSÕES .....	87
REFERÊNCIAS .....	88
CONCLUSÕES GERAIS .....	93
APÊNDICE A - DESCRIÇÃO DAS TRINCHEIRAS .....	94
APÊNDICE B – SEMIVARIOGRAMAS DAS VARIÁVEIS ANALISADAS .....	106

## INTRODUÇÃO GERAL

Com os avanços no processamento de dados computacionais, utilização de sistemas de informações geográficas (SIG), produtos do sensoriamento remoto, e técnicas de avaliação da distribuição espacial, como a geoestatística, a avaliação espacial das propriedades do solo tem se tornado cada vez mais presente, possibilitando realizar trabalhos em menor tempo e custo, com maior quantidade de dados e possibilidade de avaliação da relação entre eles.

Pesquisas sobre a avaliação da distribuição espacial de atributos do solo utilizando Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tem se tornado crescente (McBRATNEY; MENDONÇA-SANTOS; MINASNY, 2003; TORNQUIST *et al.*, 2009; GRAY; HUMPHREYS; DECKERS, 2011; ODGERS; McBRATNEY; MINASNY, 2011) e sugerem novas formas de avaliação dos atributos do solo. Dessa forma, a utilização da ferramenta SIG no estudo da distribuição de solos com caráter coeso pode auxiliar na delimitação de atributos que mais influenciam na sua ocorrência.

O atributo coeso, designação atribuída pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos para distinguir solos com horizontes pedogenéticos subsuperficiais adensados, muito resistentes à penetração da faca e muito duros a extremamente duros quando secos, passando a friáveis ou firmes quando úmidos. Uma amostra úmida desse horizonte, quando submetida à compressão, deforma-se lentamente, ao contrário do fragipã, que apresenta quebradicidade (desintegração em fragmentos menores). Os horizontes coesos são de textura média, argilosa ou muito argilosa e em condições naturais, são geralmente maciços ou com tendência a formação de blocos. O caráter coeso é comumente observado nos horizontes transicionais AB e/ou, BA, entre 30 cm e 70 cm da superfície do solo, podendo prolongar-se até o Bw ou coincidir com o Bt, no todo ou em parte. Uma amostra de horizonte coeso, quando seco, desmancha-se ao ser imersa em água (EMBRAPA, 2013).

Solos que apresentam caráter coeso podem representar limitações para a atividade agrícola, por diminuir a profundidade efetiva do solo e conseqüentemente o volume para estabelecimento do sistema radicular (CORRÊA *et al.*, 2008).

Alguns trabalhos tem buscado explicações para a sua gênese, ainda inconclusivos, tendo autores que a relacionam isolada ou conjuntamente a processos de iluviação de argila, pontes interpartículas, cimentação temporária por compostos amorfos e má seleção da fração

areia (MOREAU *et al.*, 2006; LIMA NETO *et al.*, 2009; VIEIRA *et al.*, 2012; BEZERRA *et al.*, 2015).

A avaliação da distribuição espacial do atributo coeso tem sido documentada como muito comum na área de ocorrência dos sedimentos da Formação Barreiras (LIMA NETO *et al.* 2009), formação geológica composta por sedimentos neogênicos de origem continental a litorânea, arenosos e argilosos e de cores variegadas (SUGUIO; NOGUEIRA, 1999).

Variações de atributos do solo podem ser observadas com algumas mudanças na paisagem e a utilização de alguns desses parâmetros, pode contribuir na avaliação de condições para a ocorrência do caráter coeso. Complementarmente, essa abordagem é nova em trabalhos com essa temática, já que várias pesquisas referenciadas realizam a avaliação em perfis ou em topossequências, sem uma relação construída diretamente com parâmetros da paisagem.

Com o advento das atualizações citadas anteriormente, vários modelos de predição das propriedades do solo têm sido testados. Nesse sentido, a aplicação dessas técnicas para a avaliação de atributos do solo, principalmente os que ainda necessitam de maiores investigações, pode proporcionar resultados que ajudem a esclarecer condições ainda não visualizadas.

Considerando a hipótese de que a pedogênese do caráter coeso é influenciada pela dinâmica hídrica local e que pode ser avaliada considerando-se as relações solo-paisagem, esse trabalho tem como objetivos: i) realizar uma revisão bibliográfica das produções sobre solos com horizontes coesos e temas relacionados; ii) analisar perfis de levantamentos de solos realizados na área que compreende a Formação Barreiras buscando identificar relações entre perfis que apresentem horizontes coesos; iii) avaliar a distribuição espacial de propriedades físicas, químicas e morfológicas de solos que possuem horizonte coeso, bem como sua ausência; iv) Associar determinadas condições à presença do atributo coeso e que possam contribuir no estudo da gênese desse fenômeno; v) avaliar a utilização das ferramentas geoestatística para identificação de padrões na ocorrência do caráter coeso.

As avaliações realizadas foram divididas em capítulos. No Capítulo I foi feita uma abordagem revisional sobre os assuntos relacionados ao objeto de pesquisa da tese e, de forma complementar, foi feito um levantamento das produções científicas que abordam o tema dos solos com horizontes coesos com base em análise de dados secundários relacionados a estudos realizados na área da Formação Barreiras no Brasil. Os dados foram organizados

comparando-se propriedades morfológicas, físicas, químicas e condições ambientais às informações de presença e ausência do caráter coeso de perfis de solos, na tentativa de identificar que condições e/ou características podem estar contribuindo para a ocorrência do atributo coeso.

No Capítulo II foram apresentados os dados da análise de trincheiras de uma topossequência e foi abordada a análise da variação do relevo e suas condições derivadas, complementado pela análise geoestatística na área de estudo, o campo experimental da EMBRAPA Agroindústria Tropical em Pacajus-CE, onde buscou-se avaliar propriedades morfológicas, físicas e químicas de solos visando analisar também condições que propiciem a formação de horizontes coesos.

**CAPÍTULO I – SOLOS COM CARÁTER COESO: HIPÓTESES DE GÊNESE,  
DISTRIBUIÇÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS**

## RESUMO

Solos que apresentam caráter coeso são adensados, resistentes à penetração da faca ou martelo pedológico, muito duro a extremamente duro quando seco e friável ou firme quando úmido. A gênese dessa condição ainda não está totalmente esclarecida e várias pesquisas tem sido desenvolvidas no intuito de entender as causas da coesão. Visando embasar o conhecimento já produzido sobre essa temática, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre solos com caráter coeso, analisando sua definição, formas de identificação, evolução histórica, principais hipóteses de gênese, bem como de estratégias de avaliação futura da condição coesa. As perspectivas de pesquisas sobre o caráter coeso estão em sintonia com os avanços vivenciados na ciência do solo, tendo como principal atuação a inclusão de análises espaciais e inclusão de parâmetros quantitativos na avaliação do caráter coeso, que espera-se que possam construir cenários mais amplos que facilitem a compreensão e definição da gênese do caráter coeso.

**Palavras-chave:** Pedogênese. Classificação de solos. Coesão.

## ABSTRACT

Soils that present cohesive character are dense, resistant to knife or pedologic hammer, very to extremely hard when dry and friable or firm when moistened. The genesis of cohesion is not completely understood and several researches have been developed to understand the causes of cohesion. Aiming to support the knowledge produced about this topic, we made a bibliographic research about soils with cohesive character, analyzing its definition, ways of identification, historic evolution, main hypothesis of genesis, as well as strategies of future evaluation of cohesive condition. The perspectives of research about cohesive character are aligned with the advances in soil science, having as main topic the spatial analysis and inclusion of quantitative parameters in the evaluation of cohesive character, that is expected to construct wider scenarios that help to comprehend and define the genesis of cohesive character.

**Keywords:** Pedogenesis. Soil Classification. Cohesion.

## 1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de solos com caráter coesos já foi descrita em vários lugares do mundo, como nos Camarões (Breuer e Schwertmann, 1999), na Nigéria (Igwe, Zarei e Stahr, 2009), na Austrália (Chan, 1995; Bresson e Moran, 2004), na Índia (Ley e Laryea, 1994), na África do Sul (Materechera, 2009), no Reino Unido (Young, 1992) e no Brasil (Lima et al., 2005; Corrêa et al., 2008; Bezerra et al., 2015).

A coesão nos solos é definida, principalmente, como um horizonte que apresenta elevada resistência quando seco e abrandamento quando úmido. Usa-se a referência em alguns sistemas de classificação como *hardsetting* ou *coesos* (Northcote, 1979; Embrapa, 2013).

A gênese dessas limitações tem sido avaliada e documentada e em algumas situações as hipóteses de explicação ainda não são totalmente estabelecidas. Em alguns casos a ocorrência tem sido relacionada a determinados tipos de mineralogia da argila (Greene, Eggleton e Rengasamy, 2002), ou provocada pela dispersão da argila em água (Igwe, 2006) que pode acontecer tanto em horizontes superficiais como em maiores profundidades. Os solos que foram identificados nessa condição também podem ser pouco (Breuer e Schwertmann, 1999) ou muito intemperizados (Corrêa et al., 2008).

A limitação de uso e manejo que essa condição causa nos solos está relacionada ao impedimento para germinação e desenvolvimento das sementes, bem como para o desenvolvimento radicular, reduzindo a faixa adequada para manejo dos solos (Daniells, 2012).

Alguns países como o Brasil já desenvolveram vários trabalhos sobre a gênese do caráter coesos que apontam influência da compactação natural do solo (Giarola et al., 2003), processos de iluviação (Corrêa et al., 2008; Lima Neto et al., 2009), atuação de compostos amorfos (Vieira et al., 2012), participação do material de origem e mal seleção das frações de areia (Bezerra et al., 2015), ajuste face a face da caulinita (Moreau et al., 2006). Uma ou mais combinações destas hipóteses têm sido consideradas.

Visando analisar o estado da arte das produções bibliográficas sobre as temáticas relacionadas à gênese do caráter coeso, especialmente no Brasil, bem como de novas alternativas tecnológicas que podem ser usadas na avaliação e ocorrência da coesão, foi elaborada uma revisão bibliográfica, que pode servir de fundamento a ações de pesquisa

visando preencher lacunas ainda não completamente entendidas sobre a gênese de solos com caráter coeso.

## 2 IDENTIFICAÇÃO DE SOLOS COM CARÁTER COESO

A identificação de solos com caráter coesos tem sido muito relacionada a contrastante condição de consistência quando úmido ou seco, que não deve ser confundido com *crusting ou cementation*, sendo estes últimos relacionados com práticas de manejo inadequadas (Daniells, 2012).

Uma das primeiras definições para caráter coeso foi elaborado por Northcoat (1979), quando avaliando solos Australianos, que define que os horizontes são considerados *hardsetting* quando possuem uma condição compacta, dura e aparentemente apedal que prevalece durante a secagem do solo.

No Brasil, as produções de Levantamentos de solos realizadas entre 1970 e 1980 já indicavam a presença de horizontes com caráter coeso. No entanto, apenas com o estabelecimento do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) foi incluído e definido os parâmetros de identificação do caráter coeso. É considerado como um atributo diagnóstico e refere-se a horizontes pedogenéticos subsuperficiais adensados, muito resistentes à penetração da faca e muito duros a extremamente duros quando secos, passando a friáveis ou firmes quando úmidos (Embrapa, 2013).

Giarola e Silva (2002) quando avaliaram a relação entre o atributo coeso e a denominação *hardsetting*, usada inicialmente na Austrália, concluíram existir similaridade entre os dois termos. Algumas diferenças podem ser ressaltadas, já que são descritos *hardsettings* em horizontes superficiais e em ordens de solos não previstas no SiBCS (Embrapa, 2013), bem como a possibilidade de a condição *hardsetting* ser adquirida por manejo inadequado (Daniells, 2012).

Os horizontes que possuem o caráter coeso são de textura média, argilosa ou muito argilosa e em condições naturais, são geralmente maciços ou com tendência a formação de blocos. O caráter coeso é comumente observado nos horizontes transicionais AB e/ou, BA, entre 30 cm e 70 cm da superfície do solo, podendo prolongar-se até o Bw ou coincidir com o Bt, no todo ou em parte. Uma amostra de horizonte coeso, quando seco, desmancha-se ao ser imersa em água (Embrapa, 2013).

No Brasil, a área de ocorrência de solos com caráter coeso tem sido relacionada a depósitos sedimentares de textura média a argilosa, representados pela área ocupada pela Formação Barreiras (Lima Neto et al., 2009) (Figura 1).

A Formação Barreiras é formada por sedimentos arenosos a argilosos, com datações não definidas da sua formação, tendo estudos sugerindo períodos como médio Mioceno ou alto Mioceno-Plioceno (Behling e Costa, 2004). Sua área de ocorrência estende-se na porção próxima ao litoral do Brasil, desde o estado do Amapá ao Rio de Janeiro (Behling e Costa, 2004; Arai, 2006). Ressalta-se que a ocorrência de horizontes coesos em outra Formação geológica não é descartada.

Os solos reportados de ocorrência nessas áreas são bastante intemperizados, predominando representações nas ordens dos Argissolos e Latossolos, sendo encontrados também Neossolos Quartzarênicos e com menor ocorrência, Espodossolos.

### **3 ANÁLISE HISTÓRICA DAS PESQUISAS REALIZADAS E HIPÓTESES DE GÊNESE PROPOSTAS**

Analisando historicamente trabalhos realizados sobre a temática de solos com caráter coeso no Brasil, identifica-se que a maioria deles localiza-se na área que compreende a área da Formação Barreiras, tendo alguns trabalhos que identificaram a presença do caráter coeso mesmo em áreas com Formação geológica distinta, sugerindo um novo elemento a ser analisado sobre a gênese dos horizontes coesos.

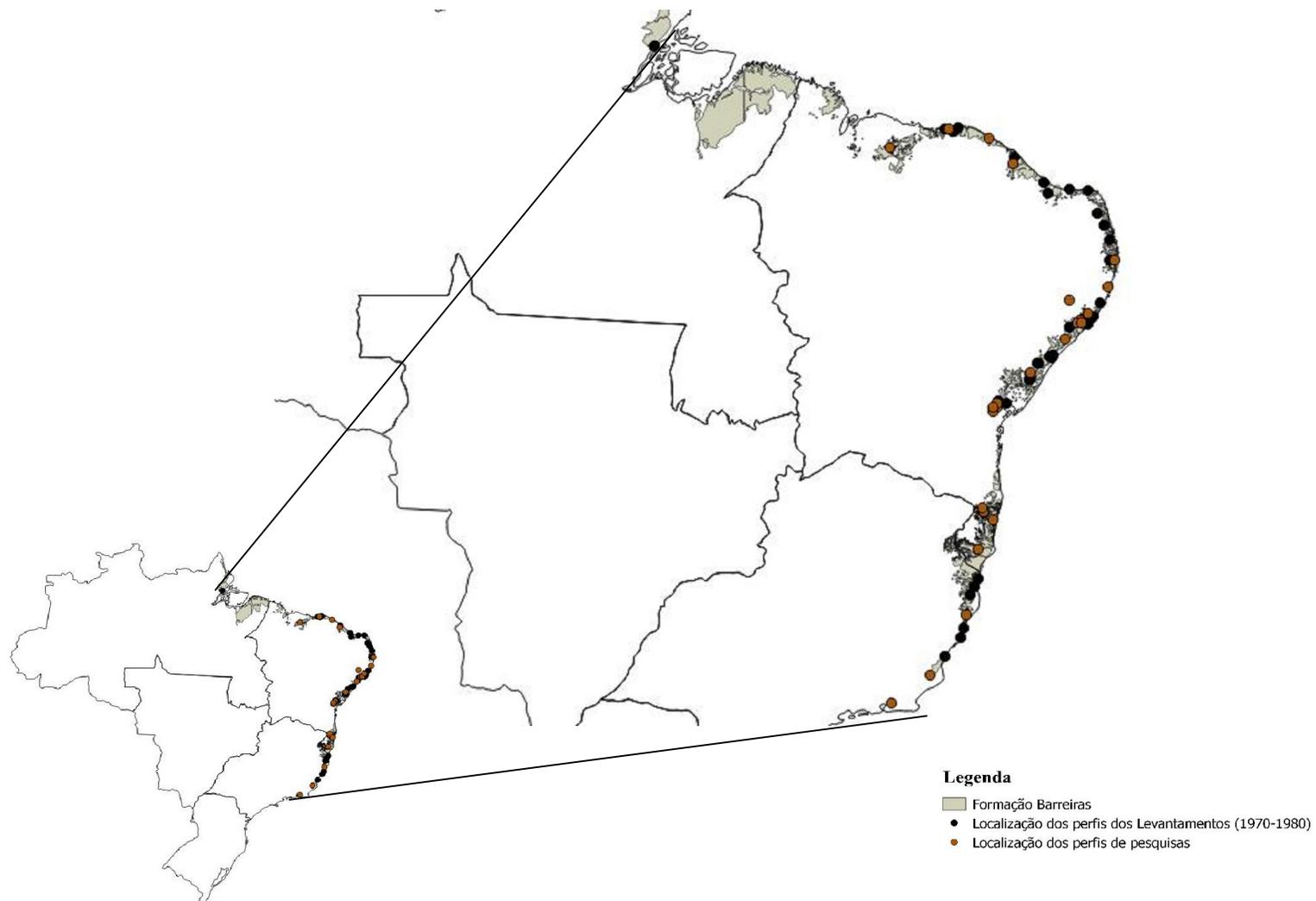
Considerando o período de produção dos Levantamentos de Solos empreendidos no Brasil entre os anos de 1970 e 1980 nos estados de Amapá (Embrapa, 1982), Maranhão (Embrapa, 1986), Ceará (Brasil, 1973), Rio Grande do Norte (Brasil, 1971), Paraíba (Brasil, 1972), Pernambuco (Brasil, 1972a), Alagoas (Jacomine et al., 1975), Sergipe (Jacomine et al., 1975a), Bahia (Embrapa, 1977) e Espírito Santo (Embrapa, 1978), foram reunidos os perfis inseridos na área da Formação Barreiras que atendem à definição do caráter coeso (Embrapa, 2013) e identificou-se 36 perfis de solos com a presença do caráter coeso. Ressalta-se que esse número poderia ser maior, mas foi limitado pela ausência da descrição da consistência, elemento definidor para a identificação do caráter coeso.

Os perfis analisados distribuíram-se nas classes: Argissolo Vermelho Amarelo (19), Latossolo Vermelho Amarelo (13), Argissolo Acinzentado (3) e Latossolo Amarelo (1).

Nessa época, o SiBCS ainda não possuía uma base estrutural definida, e as classificações possuem a ocorrência de caráter coeso na Classe dos Argissolos e Latossolos Vermelho Amarelo, fato que atualmente não consta na chave do SiBCS (Embrapa, 2013).

Corrêa et al. (2008a) reforçam a necessidade de avaliação dos hidróxidos de Ferro, principalmente no domínio dos tabuleiros costeiros em que, apesar dos baixos teores encontrados, pequenas áreas podem possuir valores mais elevados, sugerindo material de origem distinto, influenciado por rochas do Pré-Cambriano. Os referidos autores encontraram valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  médios de 2,5%, evidenciando um possível elemento adicional para avaliação de solos com caráter coeso.

Figura 1 -Mapa representativo da área da Formação Barreiras e localização dos perfis analisados no presente trabalho.



A forte associação observada entre o caráter coeso e a classe dos Argissolos está diretamente associada ao fato de esta classe ser significativamente predominante na Formação Barreiras.

Os perfis analisados apresentaram pH baixo, distróficos, baixa soma de bases, carbono orgânico e de atividade de argila. Complementarmente, as informações de altitude, declividade e forma da superfície dos perfis considerados apresentaram altitude média em torno de 80 metros, aliado a uma declividade suave-ondulada (3,7%) e forma plano-côncava (Tabela 1).

Essa situação corrobora a discussão sobre a ocorrência de horizontes coesos nas regiões mais baixas da paisagem, locais que favoreceriam o processo de acumulação de alguns constituintes, como argila e/ou Sílica pouco cristalina (Vieira et al., 2012).

Com os avanços no estabelecimento do SiBCS, os estudos sobre solos com caráter coeso passaram a abordar aspectos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos na busca da explicação da gênese do caráter coeso (Tabela 2).

Os principais trabalhos com essa abordagem se concentraram entre os anos de 2001 a 2009, onde o objeto das pesquisas direcionava-se para confirmação da presença do caráter coeso, sempre comparando-se com perfis que não possuíam tal caráter. Essas pesquisas geraram importantes informações como valores médios de Resistência a penetração, teor de umidade e tensão, forma de reversão dos efeitos da coesão, dentre outros.

Algumas pesquisas internacionais também contribuíram nesses aspectos, com a realizada por Igwe, Zarei e Stahr (2006) que identificaram que a argila dispersa em água tinha relação com a ocorrência de características *hardsetting* e concluíram ser um fator relevante, encontrando também relação da argila dispersa em água com a densidade do solo, mostrando que quanto maior a dispersão de argila maior a densidade, explicando a tendência de *hardsetting* dos solos.

Tabela 1- Dados dos perfis identificados com descrição de caráter coeso em levantamentos de solos realizados no Brasil entre os anos de 1970 a 1980.

Cód.	Classif. <sup>1</sup>	Alt. <sup>2</sup>	Decliv. <sup>3</sup>	Forma	Prof. <sup>4</sup>	Areia	Silte	Arg. <sup>5</sup>	Grad. <sup>6</sup>	AD <sup>7</sup>	pH	SB <sup>8</sup>	V%	CO <sup>9</sup>	AA <sup>10</sup>	Ki	Kr	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
1	LVA	100	3	1	35	59	4	37	1,6	10	4,5	0,9	13	0,7	19,1	1,95	1,76	2,7	15,6	17,9
2	LVA	90	3	1	60	48	1	51	1,7	0	4,2	0,9	17	0,42	10,3	1,88	1,75	2,2	18,6	20,6
3	LVA	130	2	-1	80	32	2	66	1,5	0	4,9	0,7	14	0,35	7,7	1,73	1,71	0,6	26,8	27,3
4	LVA	60	1	1	55	44	3	57	1,6	0	4,7	0,5	10	0,3	8,4	1,75	1,66	2	21,8	22,5
5	LVA	80	1	1	90	31	1	68	1,3	0	5	0,9	12	0,4	10,7	1,86	1,82	1	24,8	27,2
6	PVA	60	3	1	35	33	8	59	1,9	21	4,9	1,7	30	0,47	9,4	1,88	1,73	3,4	25,1	27,7
7	PAC	160	3	1	40	77	1	22	2,9	0	4,2	0,6	29	0,16	9,5	2,01	1,91	0,7	9,5	11,2
8	LA	14	3	0	46	45	6	49	1,02	0	5,1	0,2	9	0,25	4,48	1,94	1,73	3,6	18,2	20,8
9	LVA	180	20	1	170	37	1	62	1,4	0	5	0,6	24	0,18	4,03	1,86	1,72	3,1	23,3	25,5
10	LVA	180	3	-1	54	41	3	56	1,3	6	5	0,5	11	0,64	8,03	1,9	1,87	2	20,5	23,1
11	LVA	190	2	1	80	44	9	47	0	1	4,3	0,4	9	0,43	9,57	1,92	1,56	5	14,6	16,5
12	PVA	140	2	1	95	37	15	48	1,5	0	4,9	0,7	23	0,43	6,45	1,9	1,71	3,5	20	22,4
13	PAC	160	3	-1	23	54	5	41	1,7	26	4,9	0,9	24	0,41	9,26	1,78	1,71	1	17	17,8
14	PVA	30	2	-1	108	45	9	46	4,3	0	4,3	0,9	29	0,24	6,73	2,09	1,95	2	17,8	21,9
15	PVA	15	2	0	84	46	14	40	10	0	4,9	1,3	42	0,22	7,75	2,04	1,95	1,2	16,9	20,3
16	PVA	50	2	-1	95	56	8	36	3,1	0	4,7	0,9	28	0,23	8,88	2,12	1,93	2,1	13,8	17,2
17	PAC	20	2	0	142	67	9	24	2,7	0	4,9	0,6	27	0,12	9,16	2,03	1,87	1,2	9,3	11,1
18	PVA	70	1	-1	30	57	7	36	4,3	1	6,9	2,6	84	0,16	8,61	2,04	1,78	3,3	14,6	3,3
19	LVA	30	2	0	25	57	6	37	2,8	3	4,4	0,9	22	0,44	11,08	1,86	1,63	2,8	13,2	14,4
20	LVA	80	9	1	55	49	3	48	2,3	24	4,6	1,1	29	0,4	7,91	1,93	1,69	3,7	16,8	19,1
21	LVA	70	14	1	10	50	7	43	1,6	32	4,9	1,8	26	0,81	16,04	2,14	1,9	3	15,6	19,6
22	LVA	30	2	1	40	59	4	37	0	3	4,9	0,7	21	0,31	9,18	1,88	1,64	2,8	12,5	13,8
23	PVA	10	1	1	40	80	7	13	7,8	12	5,6	0,6	26	0,27	17,69	1,72	1,53	1,2	6,1	6,2
24	LVA	100	7	-1	40	36	7	57	1,5	0	4,5	0,7	17	0,37	7,36	1,92	1,67	4,7	20,3	22,9
25	PVA	40	3	1	115	44	4	52	2,9	0	5,4	0,3	11	0,17	5,38	1,99	1,89	1,9	19,4	22,9
26	PVA	150	3	1	100	36	15	49	2,5	9	4,4	0,7	10	0,34	13,87	1,82	1,81	0,5	22	23,7
27	PVA	110	3	-1	110	65	7	28	3	0	4,4	0,5	22	0,27	8,21	2	1,83	1,7	11,8	13,1

28	PVA	120	3	1	110	49	10	41	4	25	4,7	1,5	31	0,24	11,95	2,16	1,82	4,4	15,5	19,7
29	PVA	20	3	0	55	39	11	50	4,7	0	5,4	5,6	76	0,18	14,8	2,12	1,65	8,4	19,2	23,9
30	PVA	20	3	1	30	43	11	46	4,2	0	4,4	2,9	55	0,37	11,52	2,13	1,72	6,6	17,8	22,3
31	PVA	60	5	-1	105	66	4	30	5,5	22	5,5	11,8	91	0,18	43,3	3,05	2,6	2,2	8,4	15
32	PVA	150	1	1	150	45	13	42	1,7	0	4,8	0,8	24	0,2	8,09	1,92	1,75	2,6	16,6	18,8
33	PVA	70	8	1	25	18	15	67	1,5	0	5	0,8	11	0,45	10,59	1,95	1,57	9,1	24,1	27,6
34	PVA	50	5	1	40	42	10	48	1,53	0	5,3	0,9	21	0,3	8,75	1,82	1,6	3,7	17,3	18,5
35	PVA	40	5	-1	105	40	25	35	2,4	1	4,7	2,1	28	0,27	21,14	2,31	1,92	3,1	9,8	13,3
36	PVA	160	1	1	35	61	15	24	3,6	16	5,5	1,9	51	0,41	15,41	2,04	1,65	3,3	8,9	10,7

1- Classif.: Classificação: LVA- Latossolo Vermelho Amarelo, PVA- Argissolo Vermelho Amarelo, PAC- Argissolo Acinzentado, LA- Latossolo Amarelo; 2-Altitude; 3- Declividade; 4- Profundidade de ocorrência do horizonte coeso; 5- Argila; 6- Gradiente textural; 7-Argila Dispersa; 8- Soma de Bases; 9- Carbono Orgânico; 10- Atividade de Argila

Tabela 2- Pesquisas sobre solos com caráter coeso desde 2001 aos dias atuais realizadas no Brasil, reportando localização da pesquisa, classificação dos solos estudados e aspectos abordados.

<b>Pesquisa</b>	<b>Localização<sup>1</sup></b>	<b>Classificação dos solos<sup>2</sup></b>	<b>Aspectos analisados/Explicação da coesão</b>
Sousa e Paiva (2001)	BA	PA e LA	Propriedades físicas e Desenvolvimento vegetal
Portela, Libardi e Van Lier (2001)	BA	LA	Propriedades físicas
Giarola et al. (2003)	BA	LA	Propriedades físicas e Micromorfologia
Souza et al. (2004)	BA	LA	Desenvolvimento radicular
Maia e Ribeiro (2004)	AL	PA	Propriedades morfológicas e físicas
Cintra, Portela e Nogueira (2004)	SE	PA	Propriedades físicas
Lima et al. (2005)	CE	PAC	Método de coleta de amostras indeformadas
Lima et al. (2005)a	CE	PAC	Propriedades físicas
Moreau et al. (2006)	BA	PA	Translocação de argila, posição na paisagem
Lima et al. (2006)	CE	PAC	Micromorfologia e Propriedades físicas
Santana et al. (2006)	BA	LA e PAC	Desenvolvimento radicular
Silva e Carvalho (2007)	AL	LA	Estudo de cisalhamento
Fonseca et al. (2007)	SE	-	Identificação do caráter coeso
Correa et al. (2008)	BA	PA, PV e LA	Propriedades morfológicas, físicas e químicas
Oliveira (2008)	AL	PA	Compactação
Souza et al. (2008)	BA	LA, PA e PAC	Desenvolvimento radicular
Cintra et al. (2009)	SE	PA	Manejo da irrigação
Giarola et al. (2009)	ES, RJ, BA e CE	PA, PAC e LA	Mineralogia e cristalografia da fração argila
Lima Neto et al. (2009)	AL	PA, PAC e LA	Propriedades morfológicas e físicas
Costa (2010)	CE	PAC	Propriedades morfológicas e físicas
Lima Neto et al. (2010)	AL	PA, PAC e LA	Mineralogia e Micromorfologia
Velame (2010)	BA	LA	Manejo do solo
Carvalho, Vilas-Boas, Fadigas (2010)	BA	LA	Geoestatística

Silveira et al. (2010)	BA	PA	Propriedades físicas
Vasconcelos et al. (2010)	AL	LA	Propriedades físicas e Manejo do Solo
Vasconcelos et al. (2010)a	AL	LA	Propriedades físicas e Manejo do Solo
Vieira et al. (2012)	CE	PA, PAC	Contribuição do material amorfo
Ramos et al. (2013)	RJ	PA e LA	Posição na paisagem
Dantas et al. (2014)	MA	PA	Relação solo-paisagem
Lima et al. (2014)	CE, BA, RJ e ES	PA, PAC e LA	Índice de qualidade física
Melo et al. (2014)	PE	PA e LA	Estabilização estrutural
Resende et al. (2014)	MA	PA	Geoestatística e Posição na paisagem
Bezerra et al. (2015)	CE	PA e PAC	Fracionamento da areia e Micromorfologia
Araújo et al.(2015)	PE	LA	Manejo do solo

1- Estados de localização dos perfis considerados na presente pesquisa; 2- Nomenclatura de classificação dos perfis: PA- Argissolo Amarelo, PAC- Argissolo Acinzentado, PV- Argissolo Vermelho, LA- Latossolo Amarelo.

A consideração da participação da argila como agente cimentante foi feita por Harper e Gilkes (1994) em solos de uma região semiárida da Austrália. Mais tarde, Corrêa et al. (2008) analisando solos com caráter coeso no Brasil, encontraram que tal condição é normalmente constatada nos horizontes transicionais e topo do horizonte B dos Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos. Ademais, relacionou também o aumento da relação Argila fina/Argila grossa ao processo de argiluviação, principalmente nos Argissolos, que apresentaram forte resistência à penetração da faca, sugerindo a presença do caráter coeso. De forma semelhante, Lima Neto et al. (2010) relacionaram a importância da iluviação de argila à gênese do horizonte coeso.

Exemplificando mais algumas pesquisas desse período, Araújo et al. (2004) avaliaram a causa da presença do caráter coeso em solos do sul da Bahia e discutiram que o termo coeso estaria relacionado a dois processos: i) ocorrência de pontes inter partículas e inter agregados que promovem resistência ao solo, mesmo quando este está úmido; ii) cimentação temporária do solo seco por sílica fracamente ordenada e por aluminossilicatos.

Avaliando os mecanismos responsáveis pela ocorrência da coesão, fragipãs e duripãs em solos do tabuleiro costeiro do sul da Bahia, Moreau et al. (2006) sugerem que a coesão pode ser explicada pela mineralogia essencialmente caulínica e a sua forma placóide que favorecem o ajuste cerrado entre as partículas de argila, indicando um mecanismo físico que se desfaz com a umidade. No entanto, Giarola et al. (2009), avaliando solos com horizontes coesos de diversas partes do Brasil, não encontraram diferença entre o grau de ordenamento estrutural de caulinitas de horizontes coesos e não coesos, não sendo possível associar o empacotamento da fração argila com o caráter coeso.

A avaliação de imagens micromorfológicas de horizontes coesos e não coesos foi feita por Lima et al. (2006) que além de influências do formato e tamanho dos poros na diferenciação de horizontes coesos e não coesos, não encontraram diferenças texturais, sugerindo que os perfis avaliados possuem mesmo material de origem e que as diferenças observadas nos horizontes podem ter relação com sua posição na paisagem.

A suposição da ausência de óxidos como condição propícia à ocorrência do caráter coeso foi sugerida por Breuer e Schwertmann (1999), que conseguiram reverter a condição de coesão adicionando óxidos de ferro sintéticos. Conclusões semelhantes

sobre a ausência de óxidos de ferro foram feitas por Lima Neto et al. (2010), avaliando solos dos tabuleiros costeiros de Alagoas, sugerindo que inicialmente haveria o aumento da densidade em função da iluviação das argilas dispersas e com a redução da permeabilidade aumentariam as condições de redução, favorecendo a remoção do Fe e um colapso na estrutura da camada, formando um horizonte coeso.

#### 4 ATUAIS LINHAS DE PESQUISA E PERSPECTIVAS FUTURAS

De 2010 aos dias atuais as pesquisas sobre solos com horizontes coesos foram progressivamente ganhando uma diversificação das análises envolvidas, o que evidencia a busca por aspectos que possam complementar as informações e revelar mais aspectos da gênese do atributo coeso. Percebe-se a inclusão de temas mais gerais nas pesquisas como avaliação dos dados por meio da geoestatística, uso de elementos da paisagem, dentre outros.

Considerando o conhecimento da variação espacial dos solos como um fator importante no estudo de horizontes coesos, Carvalho, Vilas-Boas e Fadigas (2010) quantificaram a variabilidade espacial de alguns atributos de solos com caráter coeso em superfície e subsuperficialmente, encontrando dependência espacial para todas as variáveis analisadas.

A utilização de técnicas geoestatísticas na análise do caráter coeso foi usada por Resende et al. (2014) que identificou que a cor pode ser um parâmetro adequado para identificação de áreas com horizontes coesos em condições de pequena variação de relevo.

O comportamento espacial de solos com *hardsetting* já foi sugerido por Harper e Gilkes (1994) como um caráter contínuo e para sua descrição e identificação na classificação de solos deveria ser estabelecida classes de limites usando, por exemplo, a consistência.

A reconhecida complexidade de variação dos solos na paisagem motiva a sua avaliação, aliando variáveis auxiliares como dados de sensoriamento remoto, modelo digital de elevação, atributos derivados do terreno, dentre outros (Rossel e Chen, 2011), visando facilitar o entendimento das relações. Uma das formas correntemente aceita de relação dos solos com a paisagem se dá por meio de estudos geomorfológicos.

Em estudo realizado por Dantas et al. (2014), a relação solo-paisagem foi utilizada na análise de perfis com caráter coeso, buscando entender a interação entre o relevo e os componentes do solo. Sob essa perspectiva, consideraram que a posição da paisagem foi determinante para a distinção dos solos coesos, onde solos sob a pedoforma côncava apresentaram expressão mais efetiva do caráter coeso.

Analisando a influência da posição na paisagem, Ramos et al. (2013), encontraram presença de solos com horizonte coeso na porção superior e inferior de uma topossequência convexo-divergente e consideraram que a intensidade do fenômeno de coesão foi maior na parte superior da vertente, explicado pelos valores diferenciados de densidade e macroporosidade.

Outra ferramenta que vem se destacando na análise de dados é a análise multivariada, que apresenta a possibilidade de analisar um grande número de variáveis, podendo simplificar o modelo e identificar os componentes que mais influenciam na explicação do fenômeno. Na ciência do solo tem sido usada nas mais diversas aplicações, como avaliação de práticas de manejo (Freddi, Ferraudo e Centurion, 2008), qualidade do solo (Marzaioli et al. 2010), estimativas de erodibilidade (Miqueloni e Bueno, 2011) dentre outras aplicações.

A consideração de cimentação fraca por compostos sílico-aluminosos amorfos foi abordada por Vieira et al. (2012), avaliando solos com horizonte coeso no Ceará. Os autores encontraram menores valores de resistência à penetração após a remoção dos referidos compostos, complementarmente, na posição mais baixa da paisagem foi identificado maior valor de densidade do solo, que associaram ao aporte lateral desses compostos solúveis com acúmulo favorecido pela posição.

Mais recentemente, Bezerra et al. (2015) consideraram a possibilidade de as regiões de ocorrência do horizonte coeso possuírem características herdadas do material de origem, que conjuntamente com a má seleção das frações de areia podem contribuir para a ocorrência do horizonte coeso.

Perspectivas para as ações futuras na ciência do solo já previam a inclusão de modelos numéricos para avaliação espacial e considerações mais baseadas em dados quantitativos como critérios para a classificação de solos (Heuvelink e Webster, 2001). O cenário atual de pesquisas tem buscado a realização de ações com uma visão mais global do fenômeno, buscando o entendimento de processos.

Coerente com essa perspectiva, os trabalhos sobre solos com caráter coeso incluem perspectivas espaciais e modelos numéricos como forma de avaliação, que podem fornecer uma visão mais completa do fenômeno por agregar mais informações.

Entende-se que as perspectivas futuras de pesquisas sobre solos com caráter coeso devam recair sobre o tratamento de informações relacionando variação espacial do caráter coeso com outros fatores, como relevo, e que inicie-se um processo de construção e manutenção de um banco de dados com informações sobre as propriedades já identificadas como definidoras da presença do caráter coeso (resistência a penetração e densidade do solo, por exemplo) com informações de localização, visando construir um mapa de distribuição do caráter coeso no Brasil, fornecendo uma perspectiva de avaliação bem mais ampla. Além disso, a continuidade de pesquisas buscando esclarecer o papel dos compostos amorfos na ocorrência do caráter coeso.

Dessa forma, as futuras pesquisas podem também ajudar a estabelecer mais parâmetros de definição do caráter coeso, que leve em conta também aspectos quantitativos e melhorando a estrutura do atual SiBCS.

## 5 CONCLUSÕES

As pesquisas sobre a gênese da coesão ainda encontram-se em caráter exploratório e a análise de dados já produzidos pode ajudar na visualização de características mais gerais e o estabelecimento de relações entre variáveis.

Presume-se ainda, a necessidade da avaliação integrada de várias características na contribuição da ocorrência do caráter coeso. A ampliação das técnicas de análise dos dados e a combinação de informações pode contribuir para melhorar as avaliações sobre a ocorrência de horizontes coesos, inclusive sobre processos relacionado à sua gênese.

Com a ampliação das avaliações e estabelecimento de um banco de dados sobre o assunto, vislumbra-se também mais informações que podem complementar características e requisitos usados na classificação de solos que apresentam caráter coeso, contribuindo também para o estabelecimento do ainda recente Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS.

## REFERÊNCIAS

- ARAI, M. A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do grupo Barreiras. **Revista do Instituto de Geociências**, v.6, n.2, p. 1-6, 2006.
- ARAÚJO, Q.R. *et al.* Soil carbon and physical property changes in Brazilian Coastal tableland soils with land use following deforestation. **Agroforestry systems**, v. 63, p. 193-198, 2004.
- ARAÚJO, J.K.S.; CORRÊA, M.M.; GALINDO, I.C.L.; SOUZA-JÚNIOR, V.S. Caracterização de latossolos amarelos húmicos em um ambiente altimontano na região agreste do estado de Pernambuco, Brasil. **Bioscience Journal**, v. 31, p.146-160, 2015.
- BEHLING, H.; COSTA, M.L. Mineralogy, geochemistry, and palynology of modern and late Tertiary mangrove deposits in the Barreiras Formation of Mosqueiro Island, northeastern Pará state, eastern Amazonia. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 17, p. 285-295, 2004.
- BEZERRA, C.E.E; FERREIRA, T.O.; ROMERO, R.E.; MOTA, J.C.A.; VIEIRA, J. M.; DUARTE, L.R.S.; COOPER, M. Genesis of cohesive soil horizons from North-east Brazil: role of argilluviation and sorting of sand. **Soil Research**, v. 53, p. 43-55, 2015.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Rio Grande do Norte**. Nº 21. 536 p., Recife, 1971.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado da Paraíba**. Vol. 1. 692 p., Rio de Janeiro, 1972.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Pernambuco**. Vol. 2. 360 p., Recife, 1972a.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Ceará**. Vol. 2. 297 p., Recife, 1973.
- BRESSON, L.M, MORAN, C.J. Micromorphological study of slumping in a hardsetting seedbed under various wetting conditions. **Geoderma**, 118, p. 277-288, 2004.
- BREUER, J.; SCHWERTMANN, U. Changes to hardsetting properties of soil by addition of metal hydroxides. **European Journal of Soil science**, v. 50, p. 657-664, 1999.
- CARVALHO, S.R.L.; VILAS BOAS, G.S.; FADIGAS, F.S. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos em solos originados nos sedimentos da formação barreiras. **Cadernos de Geociências**, v. 7, p. 63-79, 2010.

CHAN, K.Y. Strength characteristics of a potentially hardsetting soil under pasture and conventional tillage in the semi-arid region of Australia. **Soil & Tillage research**, 34 p. 105-113, 1995.

CINTRA, F.L.D.; PORTELA, J.C.; NOGUEIRA, L.C. Caracterização física e hídrica em solos dos tabuleiros costeiros no distrito de irrigação pato de Neópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, p. 45-50, 2004.

CINTRA, F.L.D.; RESENDE, R.S.; LEAL, M.L.S.; PORTELA, J.C. Efeitos de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos tabuleiros e na produção de coqueiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, p. 1041-1051, 2009.

CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T.C.P. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 297-313, 2008.

CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; FONTES, M.P.F.; TORRENT, J.; CURI, N. Caracterização de óxidos de ferro de solos do ambiente tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 1017-1031, 2008a.

COSTA, P.A. **Estudo de horizontes coesos em uma toposequência dos tabuleiros costeiros em Pacajus, Ceará**. 2009. 48 p. Monografia (Graduação em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

DANIELLS, I.G. Hardsetting soils: a review. **Soil Research**, 50, p. 349-359, 2012.

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 Ciências do Solo**, v. 38, p. 1039-1050, 2014.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem direita do Rio São Francisco**. Vol. 1. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro. 773 p., 1977.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Espírito Santo**. nº 45. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro. 478 p., 1978.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade e avaliação da aptidão agrícola das terras da área do pólo Amapá**. nº 3. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro. 405 p., 1982.

- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Maranhão.** nº 35. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro. 964 p., 1986.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Embrapa Solos, 3ª edição, 306 p., 2013.
- FONSECA, M.H.P.; GUERRA, H.O.C.; LACERDA, R.D.; BARRETO, A.N. Uso de propriedades físico-hídricas de solo na identificação de camadas adensadas nos tabuleiros costeiros, Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 368-373, 2007.
- FREDDI, O. S.; FERRAUDO, A. S.; CENTURION, J. F. Análise multivariada na compactação de um latossolo vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 953-961, 2008.
- GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P. Conceitos sobre solos coesos e hardsetting. **Scientia agrícola**, v. 59, p. 613-620, 2002.
- GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; IMHOFF, S.; DEXTER, A.R. Contribution of natural soil compaction on hardsetting behavior. **Geoderma**, v. 113, p. 95-108, 2003.
- 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 de Ciências do Solo**, v. 33, p. 33-40, 2009.
- GREENE, R.S.B.; EGGLETON, R.A.; RENGASAMY, P. Relationships between clay mineralogy and the hardsetting properties of soils in the Carnarvon horticultural district of western Australia. **Applied Clay Science**, 20, p. 211-223, 2002.
- HARPERS, R. J.; GILKES, R.J. Hardsetting in the surface horizons of sandy soils and its implications for soil classification and management. **Australian Journal of Soil research**, 32, p. 603-619, 1994.
- HEUVELINK, G.B.M.; WEBSTER, R. Modelling soil variation: past, present and future. **Geoderma**, 100, p. 269-301, 2001.
- IGWE, C.A. Clay dispersion of hardsetting Inceptisols in Southeastern Nigeria as influenced by soil components. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 37, p. 751-766, 2006.
- IGWE, C.A.; ZAREI, M.; STAHR, K. Colloidal stability in some tropical soils of Southeastern Nigeria as affected by iron and aluminium oxides. **Catena**, v. 77, p. 232-237, 2009.
- JACOMINE, P.K.T.; CAVALCANTI, A.C.; PESSOA, S.C.P.; SILVEIRA, C.O. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Alagoas.** Recife, EMBRAPA, Centro de Pesquisas Pedológicas, 572 p., 1975.

- JACOMINE, P.K.T.; MONTENEGRO, J.O.; RIBEIRO, M.A.; FORMIGA, R.A. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Sergipe**. Recife, EMBRAPA, Centro de Pesquisas Pedológicas, 545 p., 1975a.
- LEY, G.J.; LARYEA, K.B. Spatial variability in penetration resistance of a hardsetting tropical Alfisol. **Soil & Tillage research**, 29, p. 367-381, 1994.
- LIMA, H.V.; SILVA, A.P. DA; ROMERO, R.E.; JACOMINE, P.K.T. Comportamento físico de um argissolo acinzentado coeso no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 29, p. 33-40, 2005.
- LIMA, H.V.; SILVA, A.P.; ROMERO, R.E.; JACOMINE, P.K.T. Comportamento físico de um argissolo acinzentado coeso no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 29, p. 33-40, 2005a.
- LIMA, H.V.; SILVA, A.P.; SANTOS, M.C.; COOPER, M.; ROMERO, R.E. Micromorphology and image analysis of a hardsetting Ultisol (Argissolo) in the state of Ceará (Brazil). **Geoderma**, v. 132, p. 416-426, 2006.
- LIMA, H.V.; SILVA, A.P.; GIAROLA, N.F.B.; IMHOFF, S. Index of soil physical quality of hardsetting soils on the Brazilian Coast. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, p. 1722-1730, 2014.
- LIMA NETO, J.A.; RIBEIRO, M.R.; CORRÊA, M.M.; SOUZA JÚNIOR, V.S.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 Ciências 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**, v. 34, p. 473-486, 2010.
- MAIA, J.L.T.; RIBEIRO, M.R. Propriedades de um Argissolo Amarelo fragipânico de Alagoas sob cultivo contínuo da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39, p. 79-87, 2004.
- MARZAIOLI, R.; D'SCOLI, R.; DE PASCALE, R.A.; RUTIGLIANO, F.A. Soil quality in a Mediterranean area of Southern Italy as related to different land use types. **Applied Soil Ecology**, v. 44, p. 205-212, 2010.
- MATERECHERA, S.A. Aggregation in a surface layer of a hardsetting and crusting soil as influenced by the application of amendments and grass mulch in a South African semi-arid environment. **Soil Tillage Research**, 105, p. 251-259, 2009.

MELO, D.V.M.; ALMEIDA, B.G.; SOUZA, E.R.; SILVA, L.S.; JACOMINE, P.K.T. Structural quality of Polyacrylamide-treated cohesive soils in the Coastal Tablelands of Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, p. 476-485, 2014.

MIQUELONI, D. P.; BUENO, C. R. P. Análise multivariada e variabilidade espacial na estimativa da erodibilidade de um argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, p. 2175- 2182, 2011.

MOREAU, A.M.S.S.; COSTA, L.M. DA; 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 Ciências do Solo**, v. 30, p. 1021-1030, 2006.

NORTHCOTE, K.H. **A factual key for the recognition of Australian soils**. 4<sup>th</sup> ed. Rellim Technical Publications: Glenside, S. Aust. 1979.

OLIVEIRA, V.S. **Compactação em solos coesos dos tabuleiros costeiros de Alagoas**. Tese de Doutorado. Programa de pós-graduação em ciência do solo. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 94 f. 2008.

PORTELA, J.C.; LIBARDI, P.L.; J. VAN LIER, Q. Retenção da água em solo sob diferentes usos no ecossistema tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 5, p. 49-54, 2001.

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

RESENDE, J.M.A.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V.; DANTAS, J.S.; SIQUEIRA D.S.; TEIXEIRA, D.B. Variabilidade espacial de atributos de solos coesos do leste Maranhense. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, p. 1077-1090, 2014.

ROSSEL, R.A.V.; CHEN, C. Digitally mapping the information content of visible-near infrared spectra of surficial Australian soils. **Remote sensing of environment**, v. 115, p. 1443-1455, 2011.

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

SILVA, A.J.N.; CARVALHO, F.G. Coesão e resistência ao cisalhamento relacionadas a atributos físicos e químicos de um latossolo amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, p. 853-862, 2007.

SILVEIRA, D.C.; MELO FILHO, J.F.; SACRAMENTO, J.A.A.S.; SILVEIRA, E.C.P. Relação umidade versus resistência a penetração para um argissolo amarelo distrocoeso

no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 34, p. 659-667, 2010.

SOUZA, L.S.; PAIVA, A.Q. Variação do potencial total da água em uma topossequência de solos de tabuleiro, durante dois anos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 349-355, 2001.

SOUZA, L.D.; SOBRINHO, A.P.C.; RIBEIRO, L.S.; SOUZA, L.S.; LEDO, C.A.S. Avaliação de plantas cítricas, em diferentes profundidades de plantio, em Latossolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, p. 241-244, 2004.

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

VASCONCELOS, R.F.B.; CANTALICE, J.R.B.; OLIVEIRA, V.S.; COSTA, Y.D.J.; CAVALCANTE, D.M. Estabilidade de agregados de um latossolo amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 34, p. 309-316, 2010.

VASCONCELOS, R.F.B.; CANTALICE, J.R.B.; OLIVEIRA, V.S.; COSTA, Y.D.J.; CAVALCANTE, D.M. Limites de consistência e propriedades químicas de um latossolo amarelo distrocoeso sob aplicação de diferentes resíduos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 34, p. 639-648, 2010a.

VELAME, Z.S. **Influência da subsolagem, calagem, sistema de plantio e porta-enxerto no crescimento da cultivar tangerineira-tangelo page em solos coesos dos tabuleiros costeiros da Bahia**. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em ciências agrárias. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. 106 f. 2010.

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**, v. 43, p. 623-632, 2012.

YOUNG, I.M. Hardsetting soils in the UK. **Soil & Tillage research**, 25, p. 187-193, 1992.

**CAPÍTULO II – ANÁLISE DO RELEVO E USO DA GEOESTATÍSTICA EM  
ÁREA COM HORIZONTES COESOS**

## RESUMO

A gênese de solos com horizontes coesos tem sido estudada por vários pesquisadores, mas sua explicação ainda não é unânime, enquanto que o relevo é um elemento importante na formação e diferenciação dos solos. O presente estudo teve por objetivo analisar quatro perfis de solos em uma topossequência e analisar o relevo por meio do modelo digital de elevação e técnicas geoestatísticas, em área com ocorrência de horizonte coeso originários de sedimentos da Formação Barreiras, localizada na área experimental da EMBRAPA Agroindústria Tropical em Pacajus, CE. Foram realizadas análises das propriedades morfológicas, físicas e químicas. Identificou-se a influência do relevo nos processos de formação dos solos, sendo os perfis P1 e P2, da parte mais elevada da topossequência, classificados como Argissolos Amarelos, o perfil P3, com horizonte coeso, classificado como Argissolo Acinzentado e o perfil P4, na parte mais baixa, como Neossolo Flúvico. O perfil P3 localizou-se em área plana, com evidência de drenagem deficiente e acúmulo de areia fina e argila, sugerindo o processo de argiluviação como influenciador no processo de gênese dos horizontes coesos. A área apresentou relevo predominantemente plano, com pequenas variações de declividade e curvatura. A maioria das variáveis apresentou dependência espacial e ajustaram-se ao modelo esférico. As variáveis mais superficiais tenderam a distribuir-se seguindo padrão similar ao de variação do relevo. Nas profundidades de 100-120 e 120-140 cm, identificaram-se pontos que atenderam ao critério de consistência e delimitou-se uma área com ocorrência de horizonte coeso, localizada nas proximidades dos perfis já identificados com horizonte coeso. Não identificou-se dependência espacial para a variável consistência. As variáveis cascalho, areia muito grossa e areia muito fina apresentaram valores mais elevados nessa área. Não foi possível identificar uma contribuição efetiva da argila nos horizontes com caráter coeso.

**Palavras-chave:** Horizonte coeso. Modelo Digital de Elevação (MDE). Classificação de solos.

## ABSTRACT

The soil genesis of cohesive soils have been well studied, but its causes are not unanimous, while relief is a key element in the formation and differentiation of soils. The present study aimed to analyze four soil profiles in a topossequence and analyze the relief using digital elevation model and geostatistics in areas with occurrence of cohesive horizon originating from Barreiras Formation sediments, located in the experimental área from EMBRAPA Agroindústria Tropical in Pacajus, CE. We analyzed morphological, chemical and physical aspects. It was identified contribution of relief in the process of soil formation, and the profiles P1 and P2, from the top part, classified as Argissolos Amarelos, the profile P3, with cohesive horizon, classified as Argissolo Acinzentado and the profile P4, in the lowest part, as Neossolo Flúvico. The profile P3 was located in a flat área, with evidences of dificulted drainage and accumulation of fine sand and clay, suggesting the argiluviation as influencing the process of genesis of cohesive horizons. The area showed relief mainly flat, with small variations of slope and curvature. Most of the variables showed spatial dependence and adjusted to spherical model. The superficial variables tended to distribute similar to the relief variation. In the depths of 100-120 and 120-140 cm, it was identified cohesive points, so was delimited an area with cohesive horizon occurrence, located near other profiles already identified with cohesive horizon. It was not identified spatial dependence to the variable consistence. The variables gravel, very coarse sand and very fine sand showed higher values in this area. It was not possible to identify an effective contribution of Clay in the horizons with cohesive horizon.

**Keywords:** Cohesive horizon. Digital Elevation Model (DEM). Soil Classification.

## 1 INTRODUÇÃO

O estudo genético dos solos busca avaliar as relações entre horizontes e/ou camadas de um perfil do solo, considerando ainda suas relações com os fatores e processos de formação. As informações coletadas são organizadas e podem ser classificadas usando-se um sistema de classificação de solos. Para o Brasil, essas relações são efetivadas através do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

Algumas situações específicas de formação dos solos ainda não são satisfatoriamente compreendidas. A gênese de horizontes coesos é uma dessas situações. Apesar de vários estudos buscando caracterizar a ocorrência do atributo coeso, ainda não existe uma explicação definitiva para o seu processo de formação.

A descrição de perfis com horizontes coesos tem sido documentada como ocorrendo na área da formação geológica denominada de Formação Barreiras, que dizem respeito a sedimentos arenosos a argilosos, com datações não definidas da sua formação, tendo estudos sugerindo períodos como médio Mioceno ou alto Mioceno-Plioceno (BEHLING; COSTA, 2004).

Os solos dessa região são caracterizados genericamente como bastante intemperizados, profundos, com CTC e soma de bases baixas, com predominância de mineralogia caulínica e com relevo plano a suave ondulado (LIMA, 2004).

Atualmente, no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, o atributo “caráter coeso” é usado para distinguir solos com horizontes pedogenéticos subsuperficiais adensados, muito resistentes à penetração de faca ou martelo pedológico e que são de muito duros a extremamente duros quando secos, passando a friáveis ou firmes quando úmidos. Uma amostra úmida quando submetida à compressão deforma-se lentamente, ao contrário do fragipã, que apresenta quebradice (desintegração em fragmentos menores) (EMBRAPA, 2013).

Os horizontes coesos são de textura média, argilosa ou muito argilosa e em condições naturais, têm uma fraca organização estrutural, sendo geralmente maciços ou com tendência a formação de blocos. O caráter coeso é comumente observado nos horizontes transicionais AB e/ou BA, entre 30 cm e 70 cm da superfície do solo, podendo prolongar-se até o Bw ou coincidir com o Bt, no todo ou em parte. Uma

amostra de horizonte coeso, quando seca, desmancha-se ao ser imersa em água. Este critério é derivado de Jacomine (2001), Ribeiro (2001) e Santos *et al.* (2005).

Na pesquisa desenvolvida por Corrêa *et al.* (2008) o processo de argiluviação foi considerado como um processo determinante na formação de horizontes coesos. Lima Neto *et al.* (2010) relatam que a cimentação ocorreria por um processo de argiluviação que diminuiria a permeabilidade do solo, e com isso facilitaria o processo de redução dos óxidos e hidróxidos de Ferro, e com sua remoção levaria a um colapso da estrutura e provocaria um ajuste face a face da caulinita.

Vieira *et al.* (2012) ressaltam a participação de compostos pouco cristalinos na formação de horizontes coesos, bem como a localização em porções mais deprimidas da paisagem.

Analisando a influência da fração areia, juntamente com o processo de argiluviação, Bezerra *et al.* (2015) encontraram que os perfis que apresentaram horizonte coeso possuíam a fração areia concentrada nas suas formas média e fina e sugerem que o fato de os solos da Formação Barreiras possuírem a fração areia como seu componente mais representativo poderia ser um fator decisivo no arranjo das partículas.

A análise da paisagem é um parâmetro reconhecidamente importante na análise da formação dos solos (SCHAETZL; ANDERSON, 2005; VIDAL-TORRADO; LEPSCH; CASTRO, 2005). Dessa forma, variações na paisagem podem fornecer informações mais detalhadas sobre os solos (CAMARGO *et al.* 2008), podendo revelar também informações sobre os fluxos da água, útil para a compreensão dos processos genéticos e de comportamento dos solos (VIDAL-TORRADO; LEPSCH; CASTRO, 2005).

A consideração do relevo como elemento formador e condicionador de certas características nos solos é bem estabelecida na área de gênese, morfologia e classificação. Nas últimas décadas, com o avanço das técnicas computacionais para obtenção e tratamento de dados, tem-se utilizado informações complementares como dados do modelo digital de elevação (MDE) e imagens de satélite para avaliação das propriedades do solo (McBRATNEY; MENDONÇA-SANTOS; MINASNY, 2003).

Mais recentemente, alguns trabalhos também têm considerado a posição na paisagem como um fator importante na avaliação da formação de horizontes coesos (DANTAS *et al.*, 2014; RESENDE *et al.*, 2014).

Além dessas geotecnologias, a análise da distribuição dos dados pode ser feita por meio da geoestatística, que se destaca como uma ferramenta que tem sido empregada por proporcionar a avaliação da dependência espacial dos atributos estudados e a estimação nos locais não amostrados (GOOVAERTS, 1999; NOVAES FILHO *et al.*, 2007).

A inovação proporcionada pelo uso de técnicas geoestatísticas na ciência do solo relaciona-se à possibilidade de obter informações da variabilidade de atributos do solo de forma contínua em uma área, onde antes era avaliada apenas por dados de perfis analisados isoladamente ou em topossequência.

A análise da gênese de perfis com horizonte coeso vem sendo discutida na maioria das vezes em perfis isolados, ou em topossequências. Ainda são poucos os trabalhos que inseriram a avaliação da paisagem e da variabilidade espacial como uma possibilidade de avaliação da gênese dos referidos horizontes (DANTAS *et al.*, 2014; RAMOS *et al.*, 2013; RESENDE *et al.*, 2014).

Considerando a não definição dos processos de formação do horizonte coeso, buscou-se analisar propriedades físicas, químicas e morfológicas de solos da Formação Barreiras no Ceará, associados à posição na paisagem, como elementos influenciadores da ocorrência do caráter coeso. Para isso, foram realizadas análises em quatro perfis de solos de uma topossequência localizada no município de Pacajus, Ceará e realizadas considerações sobre sua relação com a gênese do caráter coeso. De forma complementar realizou-se a análise geoestatística, visando auxiliar na compreensão do processo de formação do horizonte coeso.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O município de Pacajus dista 55 km de Fortaleza, possui condição climática classificada como Aw', tropical com chuvas de verão-outono, com precipitação e temperatura média anual de 983 mm e 28°C, respectivamente. Essa região possui vegetação de transição floresta/caatinga (hipoxerófilas).

A área de estudo abrange parte do centro de pesquisa da EMBRAPA Agroindústria Tropical. Nessa área são desenvolvidos experimentos da EMBRAPA e instituições parceiras. A área do centro de pesquisa foi delimitada em trabalho desenvolvido por Lima, Oliveira e Aquino (2002) e totalizou 202 ha. Nessa área foi elaborado o levantamento de solos que revelou predominância de Argissolos Vermelho-Amarelos (91,6%) e Neossolos Quartzarênicos (8,4%).

Para a análise por meio de trincheiras, a definição do local de abertura levou em consideração o trabalho realizado por Lima *et al.* (2005), onde foi descrito um perfil com presença de horizonte coeso (Figura 1 e Tabela 1).

Usando-se o perfil descrito por Lima *et al.* (2005), identificou-se uma vertente com variação de relevo, e alocaram-se as trincheiras de forma a representar essa variação de relevo na área. As trincheiras foram abertas, descritas e coletadas com base em Santos *et al.* (2005) e classificadas com base em EMBRAPA (2013). Para a análise geostatística delimitou-se uma área de 9 ha de forma que abrangesse as trincheiras analisadas.

Figura 1- Representação do perfil com horizonte coeso descrito por Lima *et al.* (2005)



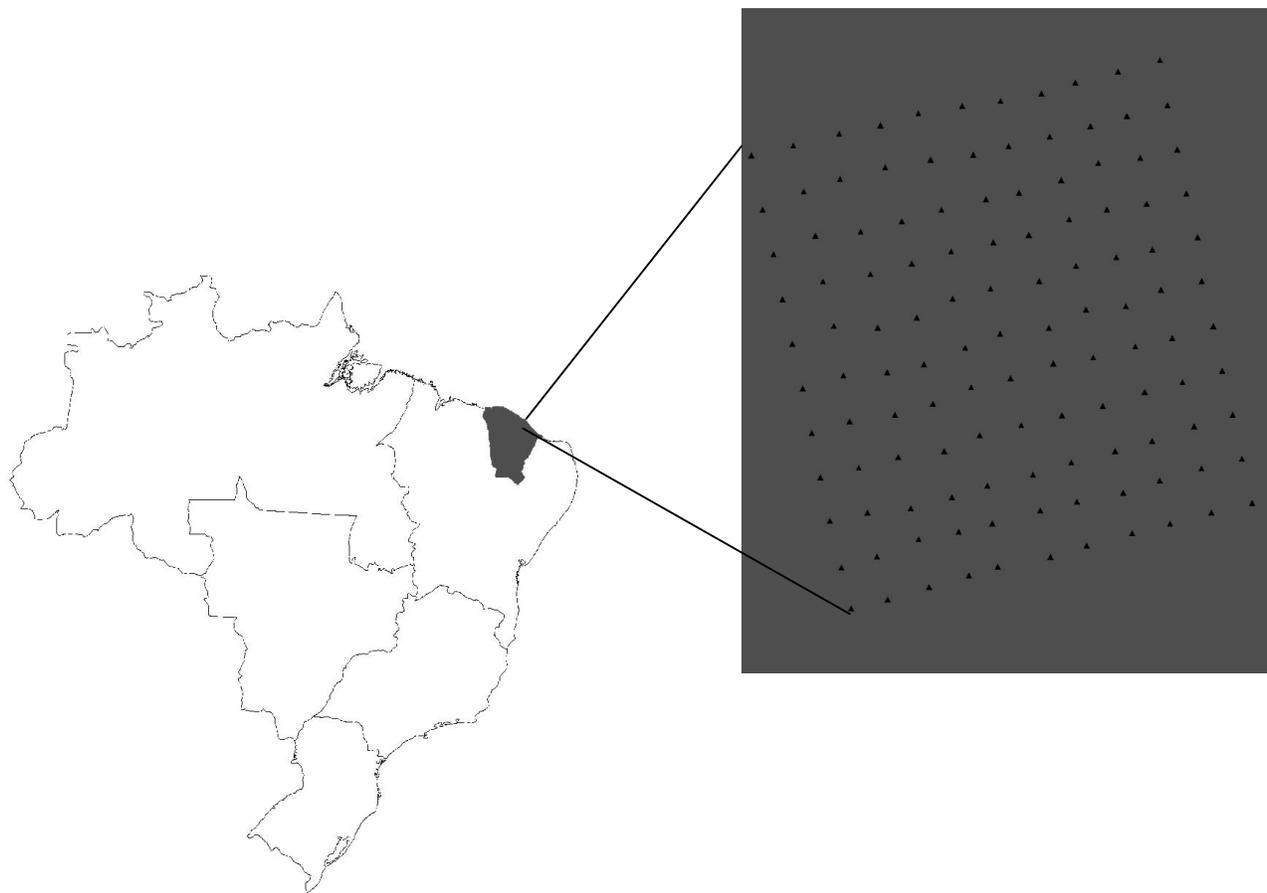
Tabela 1- Características morfológicas do perfil analisado por Lima *et al.* (2005)

Horizonte	Prof. (m)	Cor		Consistência	
		Seca	Úmida	Seca	Úmida
<b>ARGISSOLO ACINZENTADO Distrocoeso arênico</b>					
Ap1	0,0 - 0,19	2,5YR 5/1	10YR 3/2	Macia	Muito friável
Ap2	0,19 - 0,34	10YR 5/2	10YR 4/3	Lig.dura	Muito friável
EA	0,34 - 0,70	2,5Y 7/2	10YR 5/3	lig.dura	Muito friável
E	0,70 - 0,87	10YR 7/2	2,5 Y 6/3	Lig.dura	Muito friável
EB	0,87 - 0,99	10YR 8/1	2,5Y 7/3	Dura	Muito friável/Friável
Bt1(Coeso)	0,99 - 1,22	2,5Y 8/1	10YR 7/2	Muito dura	Muito friável/Friável
Bt2(Coeso)	1,22 - 1,65	2,5Y 8/1	2,5Y 8/2	Muito dura	Friável/firme
Bt3(Coeso)	1,65 - 1,94+	2,5Y 8/1	2,5Y 8/2	Muito dura	Friável/firme

Para a avaliação da influência das variações do relevo na presença da condição coesa, e visando obter informações mais precisas dessa variação, foram coletados dados de elevação da área. Essa informação foi considerada para a construção do modelo digital de elevação (MDE) da área.

Para a obtenção dessas informações, utilizou-se GPS geodésico *Promark 2 Magellan*. Esse equipamento possui uma antena, que foi montada em um ponto que pudesse ter a maior visibilidade da área levantada e ficou durante todo o tempo de levantamento coletando informações de localização, e um aparelho móvel (*rover*) que foi usado para coletar as informações nos pontos definidos. Os pontos foram alocados com espaçamento de 30 metros e materializados com a colocação de um piquete, totalizando 121 pontos na área de 9 hectares (Figura 2).

Figura 2 - Representação da localização da área de estudo com destaque para os pontos do grid delimitado na área experimental da EMBRAPA Agroindústria Tropical.



Usou-se como parâmetro de avaliação da qualidade do sinal, o PDOP (Position Dilution of Precision) de no máximo 2,0. O tempo de coleta de dados em cada ponto foi de 2 minutos. No dia da coleta, o céu estava sem nuvens e obteve-se dados de PDOP dentro do aceitável.

Os dados coletados foram processados e os valores de altitude obtidos foram avaliados usando-se os software ArcGis 9.3<sup>®</sup> e Global Mapper<sup>®</sup> gerando o Modelo Digital de Elevação (MDE) e posteriormente os arquivos com os parâmetros de declividade e curvatura (perfil de curvatura). Este último parâmetro foi usado para a divisão da área em superfícies geomórficas plana, côncava e convexa.

## 2.1 Amostragem para análise geoestatística

A coleta de amostras de solos foi feita usando-se os pontos definidos para a obtenção do MDE, com coleta de amostras espaçadas de 60 metros, totalizando 62 pontos amostrais. Para cada ponto, foram coletadas amostras nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100, 100-120, 120-140 cm usando trado holandês.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos de 5 kg e posteriormente foram levadas para a Casa de Vegetação do Departamento de Solos da UFC e colocadas para secar ao ar. Após a secagem, foi realizada a determinação da consistência (úmida e seca). Em seguida, as amostras foram destorroadas e peneiradas para obtenção da TFSA. Nesse último procedimento foi quantificado também o cascalho das amostras, representado pelo material retido na peneira de 2,0 mm (DONAGEMA *et al.*, 2011).

## 2.2 Análises físicas e químicas

Foram realizadas análises químicas: pH em água e em KCl, condutividade elétrica, complexo sortivo ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ ) com base em Donagema *et al.* (2011), carbono orgânico por metodologia proposta por Yeomans e Bremner (1988) e adaptada por Mendonça e Matos (2005), ferro e alumínio pouco cristalinos e ferro e alumínio cristalino conforme metodologia contida em Urley e Drees (2008) e ataque sulfúrico conforme a metodologia contida em Donagema *et al.* (2011).

As análises físicas realizadas foram análise granulométrica, argila dispersa em água conforme a metodologia contida em Donagema *et al.* (2011) e fracionamento da areia feito com base em Soil Survey (1993) com frações divididas nas classes muito grossa (2–1 mm), grossa (1–0,5 mm), média (0,5–0,25 mm), fina (0,25–0,1 mm) e muito fina (0,1–0,05 mm).

As amostras para a análise geoestatística foram analisadas quanto às propriedades químicas: pH em água e fósforo assimilável, com base em Donagema *et al.* (2011) e carbono orgânico total por metodologia proposta por Yeomans e Bremner (1988) e adaptada por Mendonça e Matos (2005). As análises físicas realizadas foram a análise granulométrica e argila dispersa em água conforme Donagema *et al.* (2011). O fracionamento da areia foi feito com base em Soil Survey (1993), com frações

divididas nas classes muito grossa (2–1 mm), grossa (1–0,5 mm), média (0,5–0,25 mm), fina (0,25–0,1 mm) e muito fina (0,1–0,05 mm).

### 2.3 Análise espacial

Os dados obtidos foram analisados pela estatística descritiva, calculando-se média, variância, desvio padrão, máximo, mínimo, coeficiente de variação, assimetria e curtose. Para avaliação das médias usou-se o teste t de Student. Todas as análises foram realizadas no software Statistica®.

Para a análise da variabilidade espacial usou-se a análise geoestatística e para as variáveis que apresentaram dependência espacial foi ajustado um modelo com base no cálculo da semivariância, usando-se a equação:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_{i+h})]^2$$

Onde  $\gamma(h)$  representa o valor do semivariograma experimental numa distância  $h$ ,  $N(h)$  o número de pares formados em uma dada distância  $h$ ,  $z(x_i)$  e  $z(x_{i+h})$  valores das amostras em dois pontos separados por uma distância  $h$ . Essa equação pode ser representada por meio de um gráfico, chamado de semivariograma, que pode ser ajustado segundo alguns modelos, como esférico, exponencial ou gaussiano.

As variáveis que apresentaram dependência espacial também foram analisadas usando-se a validação cruzada (Jack-knife), que ajudou a definir o valor do número de vizinhos, a ser considerado nos valores de estimação da krigagem ordinária. Todos os procedimentos foram realizados no programa GEOSTAT (VIEIRA, *et al.* 2002).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análise e Classificação das trincheiras

Todos os perfis classificados apresentaram-se profundos, tendo sido descritos até a profundidade de 200 cm, corroborando com os estudos realizados na área de tabuleiros costeiros e especificamente no Ceará, que relatam a presença de solos profundos nessa região (CORRÊA *et al.*, 2008; LIMA NETO *et al.*, 2009; VIEIRA *et al.*, 2012).

O parâmetro cor apresentou-se, em sua maioria, com matiz 10YR, tendo apenas três horizontes no perfil P1 que apresentaram matiz 5YR. Identificaram-se variações de valor e croma, e no perfil P4 essa variação foi maior, apresentando valores baixos nos horizontes mais superficiais (Tabela 2).

A coloração amarelada já foi relatada por Corrêa *et al.* (2008), citando a predominância dessa coloração em solos dos tabuleiros costeiros e atribuindo como consequência do baixo teor de óxidos de ferro em solos originados dos sedimentos da Formação Barreiras.

Para o parâmetro estrutura, observa-se fraca estruturação nos horizontes superficiais dos perfis P1 a P3, que podem ser influenciados pelas ações de mecanização agrícola, que são constantemente realizadas na área. O perfil P4 também passa por ações de mecanização agrícola, mas a caracterização da estrutura apresenta-se marcadamente diferente, influenciado por características de um material mais escurecido que se estende desde a parte superficial até a aproximadamente 100 cm de profundidade (Tabela 2).

Foi descrita a presença de lamelas no perfil P1, nos horizontes AB (64 cm), B1 (84 cm), B2 (95 e 103 cm), transição do B2 para Bt3 (118 cm) e Bt4 (140 e 150 cm) e no perfil P2, nos horizontes B1 (65 cm), Bt2 (95 cm) e Bt3 (115 cm) (Tabela 2 e Figura 3). Mafra *et al.* (2001) relacionam a ocorrência de lamelas a deposições em momentos de secagem e o entupimento de poros finos associados ao fluxo hídrico descendente no perfil. Adicionalmente, as lamelas têm um papel no fluxo e retenção de água e nutrientes, especialmente em solos de textura mais grosseira (BOCKHEIM; HARTEMINK, 2013).

Lamelas originadas pedologicamente caracterizam-se pelo paralelismo com a superfície moderna e evidências micromorfológicas de *coatings* e pontes de argila entre as partículas primárias. A formação de lamelas, pela condição pedológica, pode estar relacionada a processo de iluviação e também a relíquias de horizontes Bt subjacentes, que foram degradados por processos hidromórficos e eluviação por meio de fluxo lateral subsuperficial (RAWLING, 2000; HOLLIDAY; RAWLING, 2006; FURQUIM *et al.*, 2013), considerando também a contribuição das condições climáticas (QUÉNARD *et al.*, 2011).

Tabela 2- Características morfológicas dos solos estudados

Hor	Prof cm	Cor		Estrutura <sup>1</sup>	Cascalho (g.kg <sup>-1</sup> )	Consistência	
		Úmida	Seca			Seca	Úmida
<b>P1 – Argissolos Amarelos Distróficos Abrúpticos</b>							
Ap1	0-16	10YR 3/2	10YR 5/2	Gr. Simp	38,2	Solta	Solta
Ap2	16-41	10YR 4/4	10YR 6/4	Gran. Méd. Fr.	25,5	Macia	Muito friável
AB	41-65	10YR 5/4	10YR 6/4	Gran. Méd. Fr.	34,0	Macia	Muito friável
B1	65-82	5YR 4/6	10YR 5/4	Bl. Subang. Peq a Méd. Fr. a Mod.	40,9	Solta	Solta
B2	82-118	5YR 6/4	10YR 8/4	Bl. Subang. Peq. Fr.	40,9	Solta	Solta
B3	118-153	5YR 6/6	10YR 8/6	Bl. Subang. Méd. Mod.	48,1	Lig. dura	Friável
Bt4	153-200+	10YR 6/6	10YR 7/6	Bl. Subang. Méd. Mod.	39,8	Lig. dura	Friável
<b>P2 – Argissolos Amarelos Distróficos Abrúpticos</b>							
Ap1	0-21	10YR 4/4	10YR 6/3	Gran. Méd. Fr.	18,8	Solta	Solta
A2	21-48	10YR 5/4	10YR 7/4	Gran. Peq. a Méd. Fr.	49,4	Solta	Solta
Bt1	48-86	10YR 6/4	10YR 7/4	Bl. Subang. Peq. a Méd. Fr.	79,0	Macia	Muito friável
Bt2	86-110	10YR 6/2	10YR 7/2	Bl. Subang. Méd. Mod.	23,7	Lig. dura	Friável
Bt3	110-162	10YR 7/4	10YR 8/4	Bl. Subang. Méd. Mod.	44,5	Macia	Muito friável
Bt4	162-200+	10YR 7/3	10YR 8/4	Bl. Subang. Méd. Fr.	59,0	Macia	Muito friável
<b>P3 – Argissolos Acinzentados Distrocócosos arênicos</b>							
Ap1	0-20	10YR 3/2	10YR 5/2	Gran. Peq. Fr.	49,7	Macia	Friável
A2	20-54	10YR 4/3	10YR 6/3	Gran. Méd. Fr.	42,0	Macia	Friável
BA	54-87	10YR 5/3	10YR 7/3	Gran. Méd. Fr.	69,7	Macia	Friável
Bt1	87-120	10YR 7/1	10YR 8/1	Bl. Subang. a Gran. Peq. a Méd. Fr.	71,7	Dura	Friável
Bt2	120-171	10YR 7/1	10YR 8/1	Asp. Mac.	100,5	Muito dura	Friável
Bt3	171-200+	10YR 7/1	10YR 8/1	Asp. Mac.	44,8	Muito dura	Friável
<b>P4 – Neossolos Flúvicos Ta Distróficos</b>							
A1	0-30	10YR 2/1	10YR 3/2	Asp. Mac., Gran. Peq. Mod.	22,1	Lig. dura	Friável
A2	30-58	10YR 2/1	10YR 3/1	Asp. Mac., Gran. Peq. Mod.	13,8	Macia	Muito friável
A3	58-82	10YR 2/1	10YR 3/1	Prism. Peq. Fr.	9,2	Dura	Friável
AC1	82-104	10YR 3/2	10YR 4/2	Gran. Méd. Fr.	3,2	Lig. dura	Friável
AC2	104-135	10YR 2/1	10YR 3/1	Bl. Ang. Méd. Mod.	4,28	Dura	Friável
C1	135-151	10YR 6/2	10YR 7/2	Gran. Méd. Fr.	100,5	Lig. dura	Friável
C2	151-170	10YR 6/2	10YR 7/2	Gran. Méd. Fr.	112,0	Macia	Muito friável
C3	170-200+	10YR 6/2	10YR 7/2	Bl. Subang. Méd. Fr.	12,1	Solta	Solta

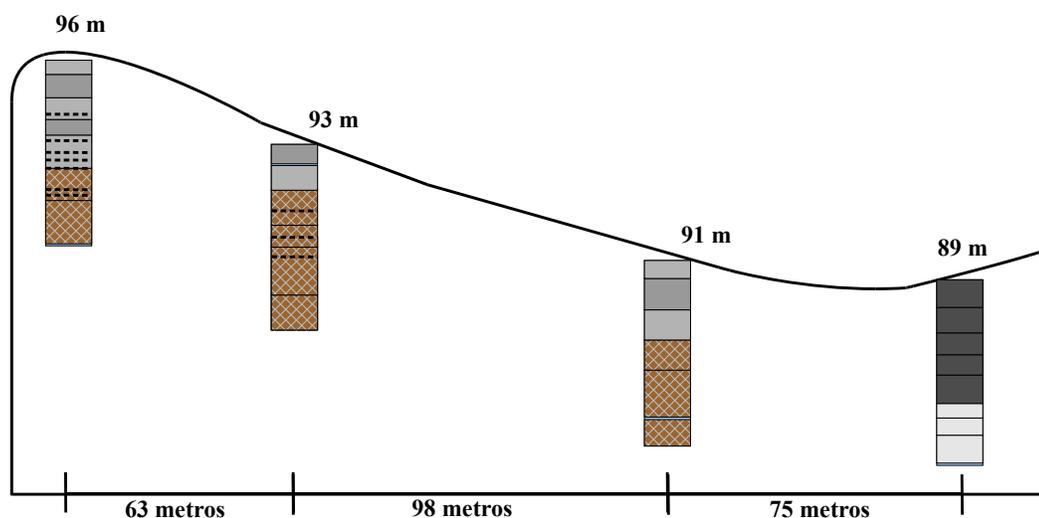
1- Gr. Simpl.: Grãos simples; Gran.: Granular; Bl. Subang.: Blocos sub angulares; Bl. Ang.: Blocos Angulares; Prism.: Prismática; Asp. Mac.: Aspecto Maciço; Peq.: Pequeno; Med.: Média; Fr.: Fraca; Mod.: Moderada;

A ocorrência de lamelas na profundidade de 64 a 150 cm do perfil P1, coincidindo em parte com a ocorrência de mosqueado confirma a condição de variação de lençol freático, ocasionando condições de oxidação/redução, que podem ter levado à

movimentação da argila dos horizontes mais superficiais para os horizontes mais profundos.

No perfil P1 (Horizonte Bt3) foi identificada ocorrência de mosqueados, classificado como comum, médio e difuso. No horizonte Bt4, classificado como abundante, médio a grande e distinto. Não foram identificados mosqueados nos horizontes coesos do perfil P3.

Figura 3- Representação esquemática da localização dos perfis com representação da ocorrência de lamelas (linhas pontilhadas) e horizontes Bt (horizontes marrons)



A consistência apresentou condições semelhantes quando se comparam os perfis, predominando a condição friável e macia. No entanto, foram identificados horizontes coesos no perfil P3 (horizontes Bt2 e Bt3), onde a descrição de consistência é bem discrepante, variando de muito dura a friável (Tabela 2). A variação de consistência ainda é o único parâmetro efetivo definido pelo SiBCS para a definição de solos com horizontes coeso (EMBRAPA, 2013).

Os horizontes coesos identificados no perfil P3 aconteceram em profundidades superiores a 120 cm, não ocasionando problemas de desenvolvimento radicular para a maioria das culturas agrícolas, que se concentram mais superficialmente. Nesse caso, a água que pode ser retida nesses horizontes pode funcionar como fonte de armazenamento hídrico em momentos de estiagem (RAMOS, 2013).

Lima *et al.* (2006), analisando solos com horizonte coeso no Ceará identificaram a presença desses horizontes na profundidade de 97 cm. Vieira *et al.* (2012) destacaram constatação semelhante também avaliando solos com caráter coeso no Ceará. No entanto, Lima Neto *et al.* (2009), encontraram horizontes coesos em pequenas profundidades (22 cm) em Alagoas.

Uma sugestão de alteração à definição de profundidade de ocorrência do caráter coeso definida pelo SiBCS (EMBRAPA, 2013) parece necessária, já que este considera a ocorrência nas profundidades de 30 a 70 cm da superfície do solo, e já identificou-se em vários trabalhos a ocorrência em profundidades maiores.

O perfil P4, que se apresenta na parte mais baixa da topossequência e na área com formato côncavo (Figura 3), apresentou maiores variações das propriedades quando comparado com os outros perfis. Identificou-se a presença de distribuição errática de argila e carbono orgânico. O material mais escurecido não apresentou requisitos que atendessem para a identificação de um horizonte B diagnóstico.

A conformação das camadas sugere que acontecem repetidas deposições de materiais, influenciados pela drenagem de uma lagoa existente nas proximidades. Dessa forma, atende aos requisitos para a identificação na classe dos Neossolos Flúvicos.

Ao analisar os níveis mais baixos da classificação percebeu-se que ainda não existe no SiBCS a previsão de Neossolos Flúvicos Ta Distróficos, sugerindo-se com esse trabalho a inclusão desta classificação no sistema.

Os valores de cascalho identificados nos perfis são baixos, classificando-os em apenas poucos horizontes na classe “Com cascalho” (SANTOS *et al.*, 2005), com expressiva homogeneidade dessa fração para os solos estudados.

A composição granulométrica dos perfis P1 a P3 apresentou predomínio da fração areia em superfície, ocorrendo incremento de argila nos horizontes subsuperficiais suficiente para caracterizar horizonte Bt (Tabela 3).

Identifica-se que a profundidade de ocorrência do horizonte Bt diminuiu do perfil P1 (118 cm) para o perfil P3 (87 cm) (Figura 3), indicando um possível fluxo lateral desse material, ressaltando o sentido de declividade e fluxo que se dá nessa mesma direção.

O gradiente textural dos perfis atendeu ao critério para delimitação do horizonte B textural para os perfis P1 a P3 e ficaram acima de 2, sendo o maior valor o do perfil P2 (3,7).

Nos horizontes coesos identificados no perfil P3, os valores de argila ficaram em torno de 130 g/kg, classificando-se como Franco-arenosa. Os horizontes coesos apresentam classe textural Franco-arenosa, Franco-argilo-arenosa e argilo-arenosa, como evidenciado pelos trabalhos de Corrêa *et al.* (2008), Giarola e Silva (2002) e Moreau *et al.* (2006).

Os baixos teores de silte, bem como da relação silte/argila são recorrentes nestes solos (MOREAU *et al.*, 2006) e relacionam-se tanto ao estágio de intemperização como a características do material de origem.

Os valores de densidade do solo apresentaram-se constantes, exceto para os horizontes coesos do perfil P3, mais expressamente o horizonte Bt3, que apresentou o valor de 1,7 g.cm<sup>-3</sup>. No trabalho de Lima *et al.* (2005), foram encontrados valores de densidade dos horizontes coesos em média de 1,75 g.cm<sup>-3</sup>

As frações de areia apresentaram predominância nas frações fina e média, com aumento nos teores, de acordo com aumento da profundidade e comportamento antagônico das mencionadas frações. Em estudo realizado por Bezerra *et al.* (2015), foi considerada a possibilidade de contribuição de processos geogênicos na formação de horizontes coesos, pelo fato de terem encontrado material mal selecionado, com concentração nas frações fina e média.

Nos horizontes coesos (Perfil P3) a fração areia média apresentou progressiva redução com a profundidade, enquanto areia fina teve um leve aumento. Resultado semelhante foi obtido por Lima (2004) analisando solos coesos no estado do Ceará.

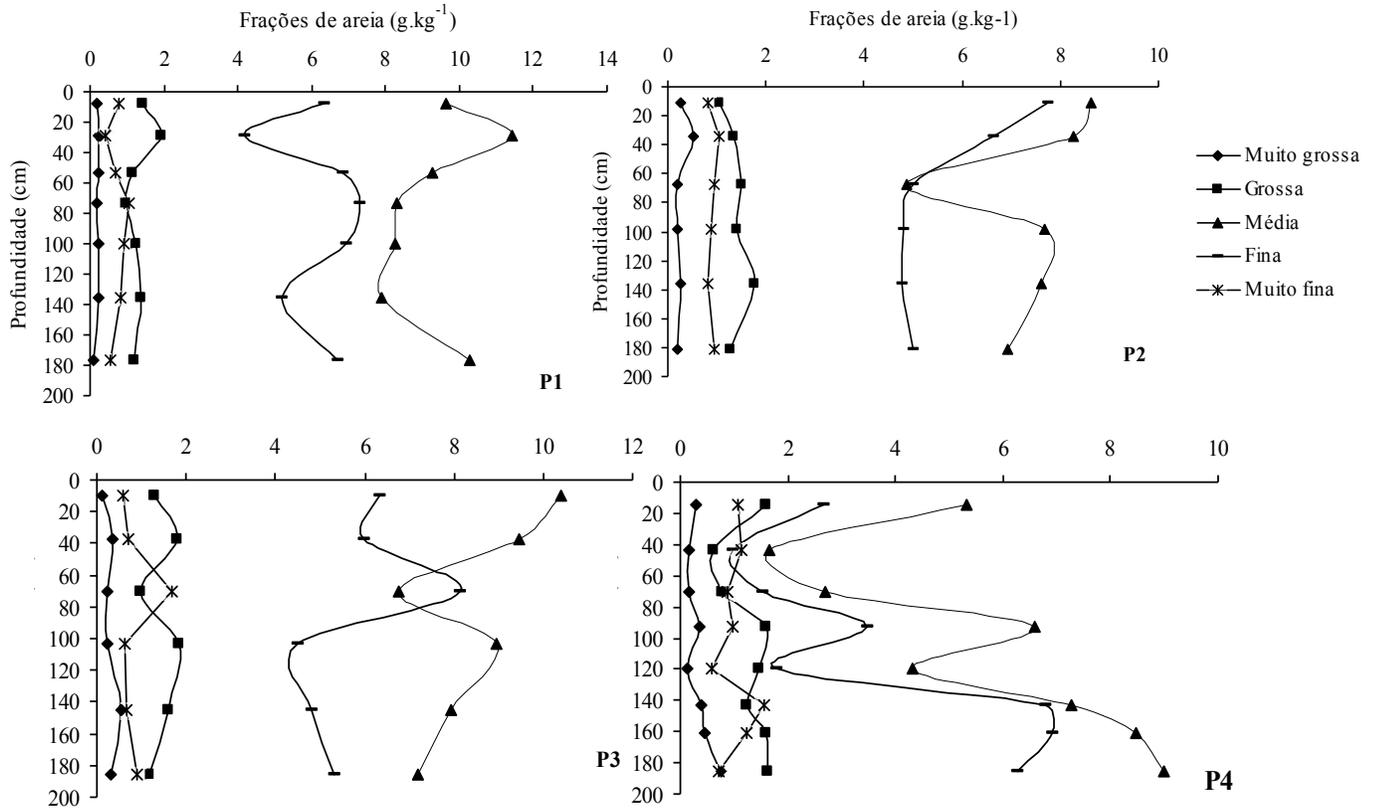
Analisando a distribuição de poros em várias classes de solos, Ribeiro *et al.* (2007) encontraram menores valores de vazios em classes de solos predominantemente arenosas e atribuíram ao fato do íntimo contato entre as partículas, reduzindo os espaços entre partículas. Destacaram também a concentração da areia nas frações média e fina. Este fato pode ser reforçado nos horizontes coesos pelo aspecto maciço presente nesses horizontes (Tabela 2). Contrariamente, Melo *et al.* (2002) encontraram predomínio de areia grossa em relação à areia fina estudando solos da Formação Barreiras no Espírito Santo.

Tabela 3 - Características físicas dos solos estudados

Hor. <sup>1</sup>	Prof. (cm) <sup>2</sup>	Areia Total	Silte	Argila	Classe textural	ADA <sup>3</sup>	Ds <sup>4</sup>
							<u>g.cm<sup>-3</sup></u>
<b>P1 – Argissolos Amarelos Distróficos Abrúpticos</b>							
Ap1	0-16	921,0	38,2	40,8	Areia	25,0	
Ap2	16-41	907,5	25,7	66,8	Areia	53,4	
AB	41-65	911,5	23,7	64,8	Areia	58,2	
B1	65-82	895,5	39,3	65,2	Areia	60,8	1,6
B2	82-118	880,0	32,6	87,4	Areia franca	77,6	1,4
Bt3	118-153	777,5	48,1	174,4	Franco-arenosa	107,8	
Bt4	153-200+	720,0	49,2	230,8	Franco-argilo-	16,8	
<b>P2 – Argissolos Amarelos Distróficos Abrúpticos</b>							
Ap1	0-21	947,0	18,0	35,0	Areia	9,8	
A2	21-48	926,0	19,6	54,4	Areia	11,8	
Bt1	48-86	879,5	36,3	84,2	Areia franca	15,2	1,5
Bt2	86-110	749,5	48,3	202,2	Franco-argilo-	38,2	1,4
Bt3	110-162	749,5	44,9	205,6	Franco-argilo-	12,6	
Bt4	162-200+	767,5	55,1	177,4	Franco-arenosa	3,0	
<b>P3 – Argissolos Acinzentados Distrocoesos arênicos</b>							
Ap1	0-20	940,5	21,3	38,2	Areia	17,4	
A2	20-54	921,0	21,8	57,2	Areia	39,0	
BA	54-87	891,5	42,1	66,4	Areia	25,4	
Bt1	87-120	810,0	47,4	142,6	Franco-arenosa	92,0	1,4
Bt2	120-171	775,5	56,1	168,4	Franco-arenosa	17,4	1,5
Bt3	171-200+	751,0	137,4	111,6	Franco-arenosa	8,2	1,7
<b>P4 – Neossolos Flúvicos Ta Distróficos</b>							
A1	0-30	546,0	279,4	174,6	Franco-arenosa	73,2	
A2	30-58	225,0	387,2	387,8	Franco-argilosa	130,8	
A3	58-82	304,0	203,0	493,0	Argila	229,0	
AC1	82-104	649,0	81,4	269,6	Franco-argilo-	133,4	
AC2	104-135	415,0	117,6	467,4	Argila	229,4	1,5
C1	135-151	864,0	52,4	83,6	Areia-franca	38,4	1,6
C2	151-170	934,0	38,8	27,2	Areia	20,4	
C3	170-200+	914,0	23,6	62,4	Areia	8,0	

1- Hor.: Horizontes; 2- Prof. (cm): Profundidades; 3- ADA: Argila Dispersa em Água (%); 4- Ds: Densidade do solo.

Figura 4 – Dados das frações de areia dos solos estudados segundo profundidades e perfis



Analisando os dados de fracionamento de areia por meio da aplicação da escala phi ( $\phi$ ), que leva em conta o diâmetro do grão (JONG VAN LIER; VIDAL-TORRADO, 1992), os valores apresentaram-se uniformes, tendo uma leve diminuição nos valores dos horizontes Bt dos perfis P1 a P3 (Tabela 4), caracterizando-se como sedimentos moderadamente selecionados e moderadamente bem selecionados. A participação das frações média e fina foi reforçada na análise de distribuição dos histogramas.

Tabela 4 – Valores de  $\phi$  médios das frações de areia e grau de seleção dos horizontes segundo as profundidades e perfis

Hor. <sup>1</sup>	Prof. (cm) <sup>2</sup>	$\phi$	Grau de seleção
<b>P1 – Argissolos Amarelos Distróficos Abrúpticos</b>			
Ap1	0-16	1,894±0,741	Moderadamente selecionado
Ap2	16-41	1,680±0,656	Moderadamente bem selecionado
AB	41-65	1,926±0,731	Moderadamente selecionado
B1	65-82	2,039±0,680	Moderadamente bem selecionado
B2	82-118	1,980±0,763	Moderadamente selecionado
Bt3	118-153	1,899±0,80	Moderadamente selecionado
Bt4	153-200+	1,902±0,681	Moderadamente bem selecionado
<b>P2 – Argissolos Amarelos Distróficos Abrúpticos</b>			
Ap1	0-21	1,985±0,721	Moderadamente selecionado
A2	21-48	1,941±0,795	Moderadamente selecionado
Bt1	48-86	1,984±0,770	Moderadamente selecionado
Bt2	86-110	1,893±0,745	Moderadamente selecionado
Bt3	110-162	1,843±0,830	Moderadamente selecionado
Bt4	162-200+	1,950±0,710	Moderadamente bem selecionado
<b>P3 – Argissolos Acinzentados Distrocósesos arênicos</b>			
Ap1	0-20	1,870±0,693	Moderadamente bem selecionado
A2	20-54	1,839±0,792	Moderadamente selecionado
BA	54-87	2,160±0,639	Moderadamente bem selecionado
Bt1	87-120	1,777±0,785	Moderadamente selecionado
Bt2	120-171	1,795±0,846	Moderadamente selecionado
Bt3	171-200+	1,944±0,759	Moderadamente selecionado
<b>P4 – Neossolos Flúvicos Ta Distróficos</b>			
A1	0-30	1,846±0,772	Moderadamente selecionado
A2	30-58	1,853±0,599	Moderadamente selecionado
A3	58-82	2,016±0,788	Moderadamente selecionado
AC1	82-104	1,823±0,784	Moderadamente selecionado
AC2	104-135	1,715±0,783	Moderadamente selecionado
C1	135-151	2,060±0,690	Moderadamente bem selecionado
C2	151-170	1,966±0,747	Moderadamente selecionado
C3	170-200+	1,836±0,847	Moderadamente selecionado

1- Hor.: Horizontes; 2- Prof. (cm): Profundidades; 3-  $\phi$ : Valor phi;

Os perfis P1 a P3 apresentaram limitada disponibilidade de nutrientes, com baixos valores de S (Soma de bases) e T (Capacidade de Troca de Cátions), em alguns horizontes identificou-se valores elevados de m (Saturação por Alumínio), baixos valores de V% e valores de pH em água variando de 4 a 6 (Tabela 5). Os valores

encontrados estão de acordo com os dados característicos de solos da Formação Barreiras reportados por Giarola e Silva (2002).

Já foram identificados solos contrastantes com as informações encontradas no presente trabalho, onde Corrêa *et al.* (2008), estudando topossequência na Bahia encontraram solos eutróficos e justificou pela presença de outro material de origem rico em bases.

Os valores de Fósforo assimilável mostraram-se baixos, mesmo em superfície, onde são realizados incrementos por meio de adubação e matéria orgânica. Os valores de atividade de argila caracterizaram solos Tb, sendo que o perfil P4 não seguiu essa tendência.

Os valores de carbono orgânico foram baixos, com pequena distinção nos horizontes superficiais. O perfil P4 apresentou valores elevados nos horizontes superficiais, com drástica redução no material mais arenoso em profundidade.

Tabela 5 – Características químicas dos solos estudados segundo profundidade e horizontes

Hor. <sup>1</sup>	Prof. <sup>2</sup>	pH		C.O <sup>3</sup>	P <sup>4</sup>	S <sup>5</sup>	T <sup>6</sup>	V <sup>7</sup>	m <sup>8</sup>	AA <sup>9</sup>	C.E
		H <sub>2</sub> O	KCl								
<b>P1 – Argissolos Amarelos Distróficos Abrúpticos</b>											
Ap1	0-16	6,24	4,93	3,11	2,32	1,72	3,15	54,6	5,5		0,3
Ap2	16-41	5,54	4,32	1,72	0,62	0,94	2,17	43,3	17,5		0,2
AB	41-65	5,26	4,12	1,24	0,48	0,83	1,56	53,2	19,4		0,1
B1	65-82	5,00	4,05	0,98	0,41	0,86	1,29	66,6	25,9	19,7	0,1
B2	82-118	5,23	4,07	0,75	0,27	0,77	1,9	40,5	28,0	21,7	0,1
Bt3	118-153	4,99	3,90	1,77	0,55	0,99	2,32	42,6	28,8	13,3	0,1
Bt4	153-200+	4,88	3,96	1,73	0,34	0,98	3,11	31,5	33,8	13,4	0,07
<b>P2 – Argissolos Amarelos Distróficos Abrúpticos</b>											
Ap1	0-21	6,23	4,87	2,47	1,71	1,15	1,98	58,0	8,0		0,2
A2	21-48	5,62	4,23	2,13	1,03	0,92	1,85	49,7	17,9		0,2
Bt1	48-86	5,00	4,00	1,67	0,55	0,78	2,31	33,7	33,9		0,2
Bt2	86-110	4,84	3,88	1,99	0,48	1,00	3,63	27,5	41,2	17,9	0,1
Bt3	110-162	4,58	3,91	1,49	0,34	0,57	2,4	23,7	55,1	11,6	0,1
Bt4	162-200+	4,56	3,94	1,25	0,21	0,67	2,1	31,9	47,2	11,8	0,1
<b>P3 – Argissolos Acinzentados Distrocósesos arênicos</b>											
Ap1	0-20	6,57	5,31	3,08	3,08	1,83	2,86	63,9	5,2		0,4
A2	20-54	5,39	4,26	1,51	1,03	0,97	2,1	46,1	17,1		0,4
BA	54-87	5,10	4,11	1,66	0,55	0,86	2,19	39,2	25,9	32,9	0,1
Bt1	87-120	5,13	3,92	1,84	0,68	1,08	3,21	33,6	31,6	22,5	0,1
Bt2	120-171	4,95	4,07	1,10	0,34	1,04	2,07	50,2	27,8	12,2	0,09
Bt3	171-200+	4,89	4,12	1,54	0,21	0,94	1,87	50,2	34,7	16,7	0,01
<b>P4 – Neossolos Flúvicos Ta Distróficos</b>											
A1	0-30	4,31	3,81	13,26	4,92	1,57	16,6	9,4	61,4		0,3
A2	30-58	4,33	3,61	15,29	1,78	1,6	22,63	7,0	71,4*	58,3	0,1
A3	58-82	4,32	3,57	10,23	1,57	2,12	17,65	12,0	65,4*	35,8	0,1
AC1	82-104	4,29	3,56	3,69	0,48	1,03	6,96	14,7	62,3	25,8	0,07
AC2	104-135	4,27	3,50	6,18	0,62	1,63	12,46	13,08	64,0	26,6	0,09
C1	135-151	4,40	3,85	1,24	0,27	0,91	2,74	33,2	35,5		0,07
C2	151-170	4,74	4,01	1,11	0,21	0,68	1,31	51,9	30,6		0,06
C3	170-200+	4,57	4,01	0,87	0,41	0,63	1,66	37,9	32,3		0,06

1- Hor.: Horizontes; 2- Prof.: Profundidade; 3- C.O: Carbono orgânico; 4- P: Fósforo; 5- S: Soma de bases; 6- T: Soma de bases + H+Al; 7- V: Saturação de bases; 8- m: Saturação por alumínio; 9- AA: Atividade de argila; \*Caráter alítico

Os valores de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> apresentaram-se abaixo dos geralmente identificados em solos da Formação Barreiras por Lima *et al.* (2005), Lima Neto *et al.* (2009) e Dantas *et al.* (2014), provavelmente pelos reduzidos valores de argila dos perfis P1 a P3. Não confirmou-se a relação entre coesão e teor de SiO<sub>2</sub>.

Os valores de  $k_i$  encontrados concentraram-se acima de 1,7 e os baixos teores de Ferro (Tabela 5) encontram-se dentro da faixa descrita para solos da Formação Barreiras, descritos como inferiores a  $80 \text{ g.kg}^{-1}$  (GIAROLA; SILVA, 2002). Os baixos valores de  $k_i$  do perfil P4 podem estar associados ao estado mais recente dos sedimentos que formam esse perfil, bem como pelos valores mais elevados de Alumínio.

O perfil P3 apresentou os menores valores de  $\text{Fe}_{\text{DCB}}$ , refletindo aspectos de drenagem dificultada. A relação  $\text{Fe}_{\text{Ox/DCB}}$  indica formas de Ferro de pior cristalinidade. Novamente o perfil P3 apresentou valores elevados, especialmente nos horizontes coesos. Lima Neto (2008) sugere a ocorrência do processo de desferrificação em horizontes coesos, com colapso da estrutura e adensamento dos horizontes.

Os valores do  $\text{Al}_{\text{Ox}}$  foram maiores que os do  $\text{Al}_{\text{DCB}}$  em todos os perfis, sendo que os horizontes B do perfil P3, apresentaram os valores mais elevados de  $\text{Al}_{\text{Ox}}$  (comparando-se os perfis P1 a P3). Algumas pesquisas sugerem a participação das formas de Alumínio extraíveis por oxalato na formação de horizontes coesos (MOREAU *et al.*, 2006) fato não efetivamente confirmado no presente estudo, já que não só os horizontes coesos apresentaram esse comportamento.

A relação  $\text{Fe}_{\text{DCB}}/\text{Fe}_{\text{TOT}}$  apresentou valores mais elevados nos perfis P1 e P2 quando comparados com o perfil P3, sugerindo uma situação evolutiva mais avançada dos dois primeiros perfis em relação ao último.

O perfil P4 apresenta uma dinâmica diferenciada em relação aos demais perfis. Nele foram encontrados valores de  $\text{Al}_{\text{Ox}}$  até 10 vezes maiores, caracterizando a influência dos compostos de baixa cristalinidade, complementado pelos elevados valores de Carbono orgânico (Tabela 5).

Tabela 6 – Teores de SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> extraídos por ataque sulfúrico dos solos estudados segundo profundidade e horizontes

Hor. <sup>1</sup>	Prof. <sup>2</sup>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ki	Kr
		g.kg <sup>-1</sup>				
<b>P1 - Argissolos Amarelos Distróficos Abrúpticos</b>						
Ap1	0-16	11,53	9,69	1,44	2,02	2,92
Ap2	16-41	10,60	11,97	2,89	1,51	3,31
AB	41-65	11,17	10,82	1,42	1,75	2,64
B1	65-82	15,43	12,65	1,98	2,07	3,31
B2	82-118	25,03	14,91	2,63	1,90	4,82
Bt3	118-153	38,90	29,97	4,73	2,21	5,17
Bt4	153-200+	6,08	34,92	4,84	1,89	3,35
<b>P2 - Argissolos Amarelos Distróficos Abrúpticos</b>						
Ap1	0-21	9,67	7,04	0,91	2,34	2,90
A2	21-48	12,78	9,27	1,54	2,34	3,31
Bt1	48-86	35,01	15,96	2,15	1,99	5,70
Bt2	86-110	41,36	35,44	4,57	1,98	4,84
Bt3	110-162	36,89	37,47	4,80	1,67	4,68
Bt4	162-200+	8,03	34,15	3,97	1,79	2,90
<b>P3 – Argissolos Acinzentados Distrocoesos arênicos</b>						
Ap1	0-20	9,08	6,18	1,09	2,50	3,18
A2	20-54	11,14	8,13	0,93	2,33	2,91
BA	54-87	28,57	27,88	3,06	1,74	3,65
Bt1	87-120	37,01	33,98	3,01	1,85	3,73
Bt2	120-171	30,73	11,36	1,28	1,97	6,00
Bt3	171-200+	41,15	33,93	4,14	2,06	4,65
<b>P4 – Neossolos Flúvicos Ta Distróficos</b>						
A1	0-30	59,89	42,49	3,21	2,40	4,40
A2	30-58	67,71	84,43	6,34	1,36	5,32
A3	58-82	32,45	84,32	8,17	0,57	5,68
AC1	82-104	51,88	46,04	4,57	1,92	4,77
AC2	104-135	20,35	92,41	9,25	1,39	6,08
C1	135-151	7,08	16,05	2,30	1,40	2,05
C2	151-170	9,06	5,74	1,61	2,68	3,69
C3	170-200+	22,78	8,02	1,08	2,15	6,57

1- Hor.: Horizontes; 2-Prof.: Profundidades (cm).

Tabela 7 – Dados de Fe e Al extraídos no DCB e Oxalato dos solos estudados segundo profundidade e horizontes

Hor. <sup>1</sup>	Prof. <sup>2</sup>	Fe <sub>DCB</sub>	Al <sub>DCB</sub>	Fe <sub>Ox</sub>	Al <sub>Ox</sub>	Fe <sub>Ox/DCB</sub>	Al <sub>Ox/DCB</sub>	Fe <sub>DCB/TOT</sub>
<b>P1 - Argissolos Amarelos Distróficos Abrúpticos</b>								
Ap1	0-16	0,20	0,07	0,47	0,22	2,32	3,23	0,14
Ap2	16-41	0,25	0,07	0,22	0,13	0,89	1,90	0,09
AB	41-65	0,29	0,09	0,36	0,18	1,24	1,99	0,20
B1	65-82	0,31	0,09	0,28	0,21	0,92	2,27	0,16
B2	82-118	0,32	0,10	0,24	0,29	0,76	2,83	0,12
B3	118-153	0,49	0,14	0,20	0,40	0,40	2,88	0,10
Bt3	153-200+	0,71	0,19	0,27	0,47	0,39	2,53	0,15
<b>P2 - Argissolos Amarelos Distróficos Abrúpticos</b>								
Ap1	0-21	0,11	0,04	0,30	0,25	2,71	6,46	0,12
A2	21-48	0,17	0,05	0,23	0,17	1,36	3,12	0,11
Bt1	48-86	0,23	0,10	0,43	0,37	1,87	3,63	0,11
Bt2	86-110	0,52	0,20	0,42	0,69	0,80	3,38	0,11
Bt3	110-162	0,34	0,15	0,24	0,45	0,70	2,92	0,07
Bt4	162-200+	0,49	0,16	0,11	-	0,22	-	0,12
<b>P3 – Argissolos Acinzentados Distrocoesos arênicos</b>								
Ap1	0-20	0,07	0,03	0,31	0,09	4,13	3,03	0,07
A2	20-54	0,08	0,04	0,11	0,22	1,44	6,10	0,08
BA	54-87	0,07	0,05	0,18	0,74	2,52	15,90	0,02
Bt1	87-120	0,07	0,11	0,32	0,62	4,46	5,67	0,02
Bt2	120-171	0,06	0,08	0,22	0,65	3,98	7,92	0,04
Bt3	171-200+	0,06	0,09	0,11	0,66	1,88	7,68	0,01
<b>P4 – Neossolos Flúvicos Ta Distróficos</b>								
A1	0-30	0,21	1,29	0,64	6,67	3,00	5,17	0,07
A2	30-58	0,12	1,16	0,27	6,14	2,32	5,29	0,02
A3	58-82	0,11	0,88	0,24	4,62	2,21	5,23	0,01
AC1	82-104	0,07	0,32	0,12	1,02	1,70	3,14	0,02
AC2	104-135	0,09	0,54	0,24	2,34	2,71	4,34	0,01
C1	135-151	0,05	0,12	0,22	0,24	4,36	1,99	0,02
C2	151-170	0,04	0,13	-	0,08	-	0,59	0,03
C3	170-200+	0,05	0,03	0,05	0,09	0,91	3,03	0,05

1- Hor.: Horizontes; 2-Prof.: Profundidades (cm).

### 3.2 Análise espacial

Os dados obtidos para construção do Modelo Digital de Elevação (MDE) apresentaram variação de altitude de 89 a 97,6 metros (Figura 4). Os valores de altitude encontraram-se próximos aos valores médios obtidos em análise da altitude da Formação Barreiras no estado do Ceará (dados não apresentados), no entanto, já foram identificadas cotas de mais de 700 m em outras áreas da Formação (MOREAU, 2001; NUNES; SILVA; VILAS-BOAS, 2011).

Considerando-se a delimitação de declividade proposta por Santos *et al.* (2005), identificou-se que a condição plana representou 70,3% da área de estudo, enquanto a classificação suave ondulado foi de 25,3% e a condição ondulado representa apenas 4,3% da área (Figura 5).

Para a delimitação da concavidade da área foi utilizado o perfil de curvatura, que indica relações de adição (côncava) e perda (convexa) de materiais, bem como a situação estável da área plana. A maior parte da área (49,8%) classificou-se na condição plana, a situação convexa atendeu 31,7% e a situação côncava compreendeu 18,3% (Figura 6). Os perfis P1 e P2 encontram-se na área convexa, o perfil P3 na área plana e o perfil P4 na área côncava.

As formas côncavas favorecem a acumulação, situação bem retratada pelo perfil P4, com as condições de iluviação de matéria orgânica, favorecida pela forma da posição na paisagem e também por próximo a essa área existir a drenagem de uma lagoa, contribuindo para o aporte de material orgânico e condições mais úmidas que o resto da área. As formas convexas representam divergências de fluxos e podem representar áreas com maiores variações nos atributos dos solos (SCHAETZL; ANDERSON, 2005).

No presente trabalho, o único perfil no qual foi identificada a presença do caráter coeso localizou-se em área plana. Nesse sentido, a evolução geomorfológica da paisagem indica que as áreas planas são ambientes de deposição e consideram superfícies aplainadas mais estáveis e antigas (VIDAL-TORRADO, LEPSCH e CASTRO, 2005; CUNHA *et al.*, 2005).

É importante complementar que a informação de área plana relaciona-se à superfície, fato que pode não estar efetivamente relacionado com a condição em

subsuperfície, dado que os horizontes com caráter coeso ocorreram em uma profundidade maior que 120 cm, o fluxo de subsuperfície pode ser alterado.

Uma forma complementar de avaliação pode ser a análise espacial em subsuperfície de uma área na vertente da topossequência, visando identificar diferenças de características superficiais e subsuperficiais.

Demattê, Mazza e Demattê (1996), analisando uma topossequência sobre a Formação Barreiras em Alagoas, discutiram que o relevo aparentemente plano e uniforme revela um micro relevo com formas e tamanhos variáveis, na maior parte das vezes com drenagem imperfeita, onde desenvolvem-se Argissolos Acinzentados e numa situação de pior drenagem, Espodosolos. Das áreas com melhor drenagem para as mais deprimidas podem ocorrer inclusive horizontes específicos (fragipã, duripã) e/ou lamelas. A descrição de tal estudo encontra muita relação com a topossequência do presente estudo. Ademais, como horizontes específicos foi identificado apenas os horizontes coesos no perfil P3.

Essa condição plana com micro variações pode estar refletida na drenagem deficiente representada pela coloração mais acinzentada do perfil P3. Dantas *et al.* (2014) encontraram redução na quantidade de microporos em solos com horizontes coesos, que ocasionou maiores valores de densidade do solo localizado em áreas côncavas.

Figura 4 – Representação da variação de altitude da área de estudo

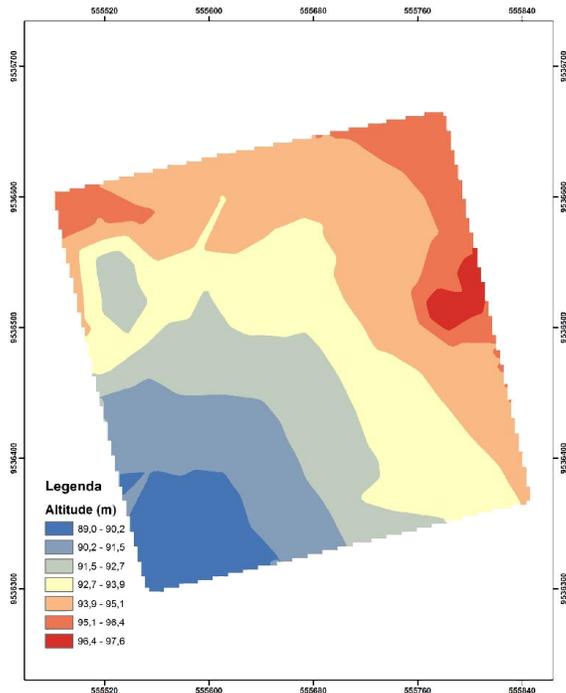


Figura 5 - Representação da declividade da área de estudo

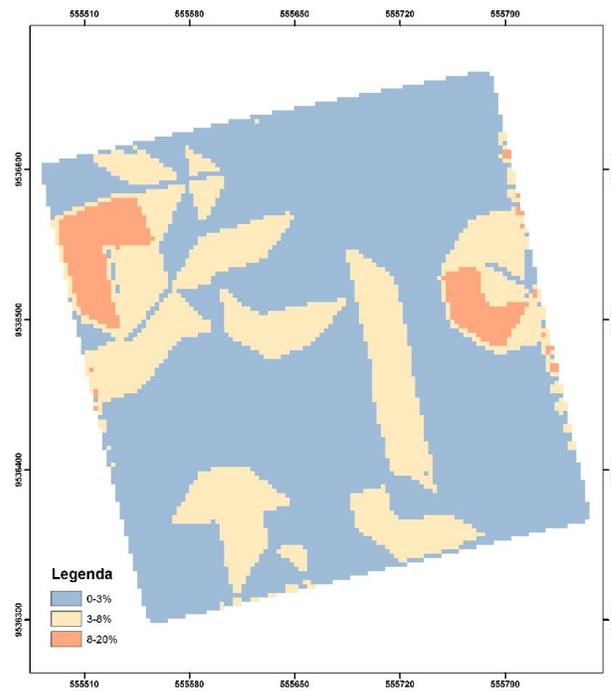
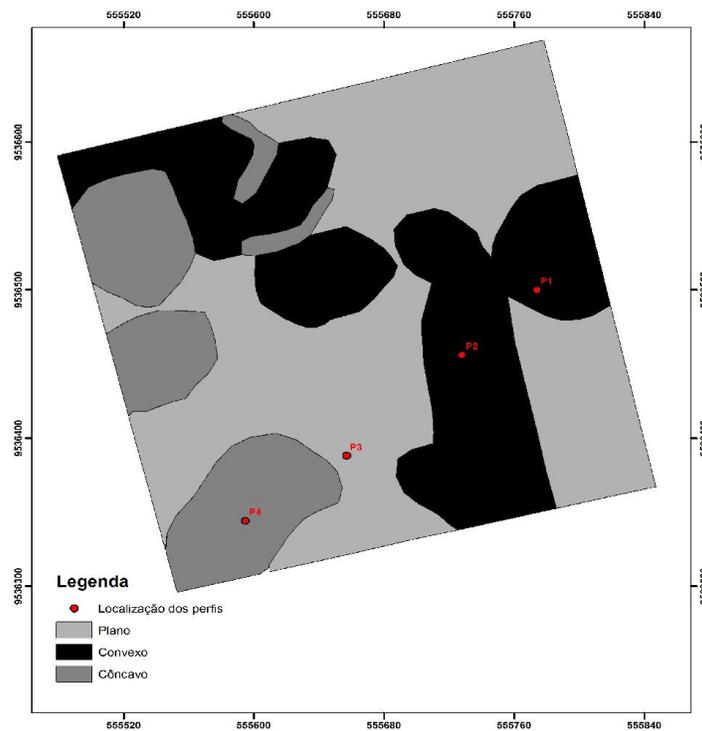


Figura 6 – Representação das formas da superfície na área estudada



### 3.3 Análise estatística básica dos dados espaciais

A avaliação preliminar da área usando-se a estatística básica apresentou resultados com baixos valores de desvio padrão, representando baixa variabilidade dos valores, distribuindo-se próximos à média (Tabelas 8 a 14). Os valores de assimetria e curtose são utilizados como forma de avaliar a distribuição dos dados e quanto mais próximos de zero, maior a proximidade com a distribuição normal. Em relação a esses parâmetros, identifica-se uma grande variação nas diversas profundidades e variáveis analisadas.

Os dados de altitude apresentaram baixo valor de desvio padrão e distribuição próxima à normalidade, reforçando para essa área, a condição de relevo plano e suave ondulado com pequenas e suaves variações de altitude em pequenas distâncias (DEMATTÊ; MAZZA; DEMATTÊ, 1996).

Os valores de cascalho apresentaram grande variação nos valores comparando-se as diferentes profundidades analisadas. Na profundidade de 0 – 20 cm seu valor máximo atingiu  $7 \text{ g.kg}^{-1}$ , enquanto na profundidade de 100 – 120 cm esse valor foi de  $70 \text{ g.kg}^{-1}$ . Ainda que nessas quantidades classifique-se como “pouco cascalhenta” essa variação pode ser função dos diversos tipos de sedimentos que compõem a Formação Barreiras, tendo autores que caracterizam esses sedimentos como mal selecionados e variando de areias finas a grossas predominando grãos angulosos (NUNES; SILVA; VILAS-BOAS, 2011; VILAS-BOAS; SAMPAIO; PEREIRA, 2001). Essa variação dos valores também foi reforçada pela avaliação geoestatística, apresentando dependência espacial apenas na profundidade de 120-140 cm (Tabelas 15 a 21).

Os dados relacionados à areia revelam solos arenosos, com valores médios acima de 70% em todas as profundidades avaliadas, corroborando com trabalhos realizados nessa região por Lima *et al.* (2005), Costa (2009) e Freitas (2010). As frações de areia estudadas apresentaram participação representativa das frações média e fina. Identificou-se que a partir da profundidade de 60-80 cm, a diferença entre as quantidades das duas frações diminui.

Os valores médios de silte apresentaram-se baixos, com um incremento na profundidade 120-140 cm, e os valores médios de argila aumentaram com a profundidade, indicando a concentração de argila em horizontes subsuperficiais, com

profundidades coincidentes com os horizontes Bt identificados nas trincheiras (Capítulo II).

Os dados médios de carbono orgânico foram de forma geral baixos, da mesma forma que os valores de Fósforo. Para esta última variável só foi realizada análise até a profundidade 60-80 cm devido os baixos valores identificados. Os valores médios de pH apresentaram-se levemente ácidos, com valores pouco diferenciados em sub-superfície.

Tabela 8 - Dados da estatística descritiva clássica das variáveis analisadas na camada 0-20 cm

Variáveis	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Assimetria	Curtose
Altitude	93	89	98	0,248	-0,165	-0,554
Cascalho	3	0	7	0,216	-0,514	1,178
Areia	921	661	953	5,104	-5,069	30,897
Are. M. Gr. <sup>1</sup>	0,3	0	1	0,010	1,917	5,606
Are.Gr. <sup>2</sup>	1	1	3	0,046	1,516	5,260
Are. Me. <sup>3</sup>	9	6	11	0,116	-0,857	1,004
Are. Fina <sup>4</sup>	6	3	8	0,095	-1,197	3,435
Are. M. fina <sup>5</sup>	1	0	2	0,036	0,432	-0,249
Silte	29	6	133	2,463	3,326	14,396
Argila	50	31	206	2,907	5,723	38,427
Argila disp. <sup>6</sup>	28	9	139	2,235	4,540	27,624
C org. <sup>7</sup>	5	3	11	0,158	2,937	11,662
Fósforo	5	0	18	0,434	2,263	5,230
pH H2O	6	5	7	0,060	0,308	0,562

1- Areia muito grossa; 2- Areia grossa; 3- Areia média; 4- Areia fina; 5- Areia muito fina; 6- Argila dispersa; 7- Carbono Orgânico.

Tabela 9 - Dados da estatística descritiva clássica das variáveis analisadas na camada 20-40cm

Variáveis	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Assimetria	Curtose
Cascalho	2	0	10	0,247	1,243	2,665
Areia	897	566	940	7,908	-3,594	15,046
Are. M. Gr. <sup>1</sup>	0,3	0	0	0,007	1,505	3,151
Are.Gr. <sup>2</sup>	1	1	2	0,040	1,022	1,037
Are. Me. <sup>3</sup>	10	6	12	0,139	-0,803	2,060
Are. Fina <sup>4</sup>	6	3	7	0,105	-1,525	3,988
Are. M. fina <sup>5</sup>	1	0	2	0,033	0,038	0,144
Silte	19	0	145	3,515	3,041	10,387
Argila	83	44	290	4,878	3,506	15,335
Argila disp. <sup>6</sup>	41	3	90	2,426	0,365	-0,178
C org. <sup>7</sup>	3	2	11	0,166	4,190	21,347
Fósforo	2	1	33	0,551	6,315	43,822
pH H2O	5	5	7	0,055	0,650	1,013

1- Areia muito grossa; 2- Areia grossa; 3- Areia média; 4- Areia fina; 5- Areia muito fina; 6- Argila dispersa; 7- Carbono Orgânico.

Tabela 10 - Dados da estatística descritiva clássica das variáveis analisadas na camada 40-60cm

Variáveis	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Assimetria	Curtose
Cascalho	2	0	21	0,373	4,668	29,614
Areia	885	309	929	10,716	-5,857	38,882
Are. M. Gr. <sup>1</sup>	0,4	0	1	0,011	1,502	5,420
Are.Gr. <sup>2</sup>	1	1	2	0,034	0,635	-0,314
Are. Me. <sup>3</sup>	9	2	11	0,147	-3,446	18,097
Are. Fina <sup>4</sup>	6	2	8	0,120	-2,149	8,811
Are. M. fina <sup>5</sup>	1	0	5	0,068	4,640	29,074
Silte	28	0	265	5,213	3,602	18,446
Argila	88	13	427	7,361	3,633	20,295
Argila disp. <sup>6</sup>	57	5	122	3,522	0,036	-0,373
C org. <sup>7</sup>	2	1	12	0,178	5,743	38,256
Fósforo	2	0	37	0,775	5,342	28,104
pH H2O	6	0	7	0,118	-5,970	42,788

1- Areia muito grossa; 2- Areia grossa; 3- Areia média; 4- Areia fina; 5- Areia muito fina; 6- Argila dispersa; 7- Carbono Orgânico.

Tabela 11 - Dados da estatística descritiva clássica das variáveis analisadas na camada 60-80cm

Variáveis	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Assimetria	Curtose
Cascalho	4	0	9	0,234	0,204	1,325
Areia	886	539	920	6,327	-6,008	42,0
Are. M. Gr. <sup>1</sup>	0,1	0	0,3	0,012	0,354	-0,434
Are.Gr. <sup>2</sup>	1	1	2	0,024	0,664	-0,097
Are. Me. <sup>3</sup>	8	5	12	0,131	0,696	4,505
Are. Fina <sup>4</sup>	7	3	8	0,119	-1,679	4,924
Are. M. fina <sup>5</sup>	1	0	2	0,038	-0,644	0,886
Silte	14	0	95	1,972	3,223	13,326
Argila	100	66	366	4,940	5,668	38,633
Argila disp. <sup>6</sup>	50	8	219	4,214	2,240	10,238
C org. <sup>7</sup>	2	1	8	0,106	4,906	32,009
Fósforo	2	0	52	0,909	6,428	43,594
pH H2O	5	5	7	0,048	0,877	1,026

1- Areia muito grossa; 2- Areia grossa; 3- Areia média; 4- Areia fina; 5- Areia muito fina; 6- Argila dispersa; 7- Carbono Orgânico.

Tabela 12 - Dados da estatística descritiva clássica das variáveis analisadas na camada 80-100cm

Variáveis	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Assimetria	Curtose
Cascalho	4	0	30	0,544	4,231	24,249
Areia	849	656	912	5,543	-1,698	5,692
Are. M. Gr. <sup>1</sup>	0,06	0	1	0,044	-2,726	6,602
Are.Gr. <sup>2</sup>	1	0	2	0,077	-2,477	5,612
Are. Me. <sup>3</sup>	7	0	10	0,335	-2,781	6,769
Are. Fina <sup>4</sup>	6	0	8	0,285	-2,477	5,527
Are. M. fina <sup>5</sup>	1	0	5	0,122	1,320	7,402
Silte	21	0	107	2,232	2,463	9,157
Argila	130	73	298	4,852	1,869	5,817
Argila disp. <sup>6</sup>	45	6	211	5,514	1,613	2,696
C org. <sup>7</sup>	2	1	4	0,073	0,134	0,675
pH H2O	5	4	6	0,052	1,092	1,987

1- Areia muito grossa; 2- Areia grossa; 3- Areia média; 4- Areia fina; 5- Areia muito fina; 6- Argila dispersa; 7- Carbono Orgânico.

Tabela 13 - Dados da estatística descritiva clássica das variáveis analisadas na camada 100-120 cm

Variáveis	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Assimetria	Curtose
Cascalho	5	0	73	1,178	6,911	51,291
Areia	794	683	902	6,187	0,317	-0,311
Are. M. Gr. <sup>1</sup>	0,03	0	0,6	0,057	-1,738	1,306
Are.Gr. <sup>2</sup>	1	0	2	0,101	-1,652	1,122
Are. Me. <sup>3</sup>	7	0	9	0,437	-1,759	1,316
Are. Fina <sup>4</sup>	5	0	8	0,335	-1,567	1,007
Are. M. fina <sup>5</sup>	1	0	2	0,104	-1,239	0,336
Silte	30	2	80	2,205	1,269	1,767
Argila	175	88	281	5,264	-0,287	-0,285
Argila disp. <sup>6</sup>	87	8	200	7,736	0,119	-1,595
C org. <sup>7</sup>	2	0	3	0,075	-0,392	0,610
pH H20	5	4	6	0,050	1,064	1,831

1- Areia muito grossa; 2- Areia grossa; 3- Areia média; 4- Areia fina; 5- Areia muito fina; 6- Argila dispersa; 7- Carbono Orgânico.

Tabela 14 - Dados da estatística descritiva clássica das variáveis analisadas na camada 120-140 cm

Variáveis	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Assimetria	Curtose
Cascalho	3	0	17	0,348	2,361	10,254
Areia	764	645	882	5,417	-0,257	1,194
Are. M. Gr. <sup>1</sup>	0,04	0	1	0,010	1,269	2,692
Are.Gr. <sup>2</sup>	1	1	2	0,025	0,142	-0,509
Are. Me. <sup>3</sup>	7	6	9	0,089	-0,166	-0,944
Are. Fina <sup>4</sup>	6	4	8	0,093	1,051	2,279
Are. M. fina <sup>5</sup>	1	0	2	0,043	-1,127	1,938
Silte	56	2	257	9,050	1,661	1,753
Argila	180	9	343	9,838	-0,713	0,006
Argila disp. <sup>6</sup>	89	3	249	10,807	0,559	-1,338
C org. <sup>7</sup>	2	1	4	0,077	0,226	-0,206
pH H20	5	0	6	0,105	-5,433	38,246

1- Areia muito grossa; 2- Areia grossa; 3- Areia média; 4- Areia fina; 5- Areia muito fina; 6- Argila dispersa; 7- Carbono Orgânico.

### 3.4 Análise geoestatística

Na análise geoestatística, o modelo de semivariograma que mais se ajustou às variáveis foi o esférico, já relatado como um dos modelos mais comuns em análise de propriedades do solo (CAMARGO *et al.*, 2008; RESENDE *et al.*, 2014) (Tabelas 15 a 21).

As variáveis cascalho e frações da areia foram as que mais apresentaram efeito pepita puro (Tabelas 15, 16, 18, 19, 20 e 21). A ocorrência do efeito pepita puro está relacionado com maior variabilidade das variáveis, não possuindo dependência espacial e nesses casos, a estatística clássica pode ser a forma mais adequada de avaliação (CEDDIA *et al.*, 2009).

As variáveis que apresentaram dependência espacial classificaram-se com um grau de dependência de moderado a forte, de acordo com a classificação de Cambardella *et al.* (2004).

Os valores de alcance foram elevados para a maioria das variáveis, indicando o limite que um ponto amostral tem relação com outro, ou seja, a distância que a variável possui correlação espacial. As variáveis areia e argila diminuíram os valores de alcance com o aumento da profundidade, apresentando efeito pepita puro na última profundidade (120-140 cm), indicando uma diminuição da dependência espacial em profundidade.

A diferença da variação da condição superficial e subsuperficial sugerem que uma análise levando em conta essa diferenciação, bem como com base nas condições de forma (plana, côncava ou convexa) identificadas por meio do perfil de curvatura, possa gerar valores mais semelhantes e possivelmente com uma relação espacial mais facilmente identificável.

As frações de areia analisadas não apresentaram constância na presença de dependência espacial. As variáveis carbono orgânico, pH, fósforo e argila dispersa apresentaram maior constância de dependência espacial nas diferentes profundidades analisadas.

Pode-se inferir que as frações de areia diferem mais nas camadas subsuperficiais analisadas, portanto podem ser fatores mais influenciáveis na formação dos solos. O material de origem e o relevo parecem ser os fatores mais atuantes na diferenciação dos solos da área estudada.

Tabela 15 – Análise geoestatística das variáveis analisadas na profundidade de 0-20 cm

Variáveis	Modelo	Co <sup>8</sup>	Co+C <sub>1</sub> <sup>9</sup>	A (m) <sup>10</sup>	R <sup>2</sup> <sup>11</sup>	Co/Co+C <sub>1</sub> (%)	GDE <sup>12</sup>
Altitude	Gaussiano	0,394	2,90	200	0,81	13,58	Forte
Cascalho				EPP			
Areia	Gaussiano	25	2.505,76	94,18	0,31	0,99	Forte
Are. M. Gr. <sup>1</sup>	Esférico	0,0003	0,007	65,27	0,37	4,28	Forte
Are.Gr. <sup>2</sup>	Esférico	0,01	0,14	82,75	0,56	6,80	Forte
Are. Me. <sup>3</sup>	Gaussiano	0,01	0,94	68,21	0,44	1,06	Forte
Are. Fina <sup>4</sup>	Gaussiano	0,1	0,60	87	0,55	16,66	Forte
Are. M. fina <sup>5</sup>	Gaussiano	0,001	0,08	65,15	0,56	1,25	Forte
Silte	Gaussiano	0,2	513,78	81,38	0,30	0,03	Forte
Argila	Esférico	0,1	841,92	123,92	0,30	0,01	Forte
C org. <sup>6</sup>	Esférico	0,01	2,05	97,26	0,32	0,48	Forte
Fósforo	Gaussiano	0,1	9,67	85,32	0,57	1,03	Forte
pH H2O	Gaussiano	0,001	0,23	82	0,77	0,43	Forte
Argila disp. <sup>7</sup>	Esférico	0,2	481,04	121,83	0,33	0,04	Forte

1- Areia muito grossa; 2- Areia grossa; 3- Areia média; 4- Areia fina; 5- Areia muito fina; 6- Carbono Orgânico; 7- Argila dispersa; 8- Efeito pepita; 9- Patamar; 10- Alcance (m); 11- Coeficiente de determinação; 12- Grau de Dependência Espacial.

Tabela 16 – Análise geoestatística das variáveis analisadas na profundidade de 20- 40 cm

Variáveis	Modelo	Co <sup>8</sup>	Co+C <sub>1</sub> <sup>9</sup>	A (m) <sup>10</sup>	R <sup>2</sup> <sup>11</sup>	Co/Co+C <sub>1</sub> (%)	GDE <sup>12</sup>
Cascalho				EPP			
Areia	Gaussiano	43,1	5.400	88	0,38	0,79	Forte
Are. M. Gr. <sup>1</sup>				EPP			
Are.Gr. <sup>2</sup>	Gaussiano	0,002	0,10	78	0,47	2	Forte
Are. Me. <sup>3</sup>	Esférico	0,01	1,45	75,62	0,31	0,68	Forte
Are. Fina <sup>4</sup>	Esférico	0,015	0,84	89,45	0,33	1,78	Forte
Are. M. fina <sup>5</sup>				EPP			
Silte	Gaussiano	5,35	1.006,6	83,6	0,42	0,53	Forte
Argila	Esférico	29,6	2.064,62	93,95	0,40	1,43	Forte
C org. <sup>6</sup>	Gaussiano	0,1	2,30	95	0,32	4,34	Forte
Fósforo	Gaussiano	0,4	19,81	91,71	0,51	2,01	Forte
pH H2O	Esférico	0,002	0,18	76,74	0,67	1,11	Forte
Argila disp. <sup>7</sup>	Esférico	116	246,86	111,61	0,53	46,99	Moderado

1- Areia muito grossa; 2- Areia grossa; 3- Areia média; 4- Areia fina; 5- Areia muito fina; 6- Carbono Orgânico; 7- Argila dispersa; 8- Efeito pepita; 9- Patamar; 10- Alcance (m); 11- Coeficiente de determinação; 12- Grau de Dependência Espacial.

Tabela 17 – Análise geoestatística das variáveis analisadas na profundidade de 40-60

Variáveis	Modelo	Co <sup>8</sup>	Co+C <sub>1</sub> <sup>9</sup>	A (m) <sup>10</sup>	R <sup>2</sup> <sup>11</sup>	Co/Co+C <sub>1</sub> (%)	GDE <sup>12</sup>
Cascalho				EPP			
Areia	Esférico	240	11.590	119,2	0,29	2,07	Forte
Are. M. Gr. <sup>1</sup>	Esférico	0,0001	0,008	65	0,25	1,25	Forte
Are.Gr. <sup>2</sup>	Gaussiano	0,02	0,06	80	0,80	33,33	Moderado
Are. Me. <sup>3</sup>	Esférico	0,06	1,95	110	0,30	3,07	Forte
Are. Fina <sup>4</sup>	Esférico	0,015	1,13	90,4	0,25	1,32	Forte
Are. M. fina <sup>5</sup>	Esférico	0,01	0,29	100	0,46	3,44	Forte
Silte	Gaussiano	33,5	2.45	90,93	0,32	1,36	Forte
Argila	Gaussiano	45,3	4.88	84,18	0,36	0,92	Forte
C org. <sup>6</sup>	Gaussiano	0,08	3,27	95,86	0,31	2,44	Forte
Fósforo	Gaussiano	0,87	35,02	92,6	0,61	2,48	Forte
pH H2O				EPP			
Argila disp. <sup>7</sup>				EPP			

1- Areia muito grossa; 2- Areia grossa; 3- Areia média; 4- Areia fina; 5- Areia muito fina; 6- Carbono Orgânico; 7- Argila dispersa; 8- Efeito pepita; 9- Patamar; 10- Alcance (m); 11- Coeficiente de determinação; 12- Grau de Dependência Espacial.

Tabela 18 – Análise geoestatística das variáveis analisadas na profundidade de 60-80

Variáveis	Modelo	Co <sup>8</sup>	Co+C <sub>1</sub> <sup>9</sup>	A (m) <sup>10</sup>	R <sup>2</sup> <sup>11</sup>	Co/Co+C <sub>1</sub> (%)	GDE <sup>12</sup>
Cascalho				EPP			
Areia	Esférico	120	3.999	117,06	0,26	3,00	Forte
Are. M. Gr. <sup>1</sup>	Esférico	0,0006	0,007	68,39	0,64	8,57	Forte
Are.Gr. <sup>2</sup>				EPP			
Are. Me. <sup>3</sup>				EPP			
Are. Fina <sup>4</sup>				EPP			
Are. M. fina <sup>5</sup>				EPP			
Silte				EPP			
Argila	Gaussiano	50	2.400	90	0,30	2,08	Forte
C org. <sup>6</sup>	Esférico	0,05	1,08	115,04	0,30	4,62	Forte
Fósforo	Esférico	1,01	40,87	126,23	0,57	2,47	Forte
pH H2O	Esférico	0,02	0,12	81,3	0,80	16,66	Forte
Argila disp. <sup>7</sup>	Esférico	13,01	1490	94,7	0,32	0,87	Forte

1-Areia muito grossa; 2- Areia grossa; 3- Areia média; 4- Areia fina; 5- Areia muito fina; 6- Carbono Orgânico; 7- Argila dispersa; 8- Efeito pepita; 9- Patamar; 10- Alcance (m); 11- Coeficiente de determinação; 12- Grau de Dependência Espacial.

Tabela 19 – Análise geoestatística das variáveis analisadas na profundidade de 80-100 cm

Variáveis	Modelo	Co <sup>8</sup>	Co+C <sub>1</sub> <sup>9</sup>	A (m) <sup>10</sup>	R <sup>2</sup> <sup>11</sup>	Co/Co+C <sub>1</sub> (%)	GDE <sup>12</sup>
Cascalho				EPP			
Areia	Esférico	42,6	2.277	88,3	0,36	1,87	Forte
Are. M. Gr. <sup>1</sup>	Esférico	0,0004	0,008	64,8	0,39	5,0	Forte
Are.Gr. <sup>2</sup>	Esférico	0,02	0,02	124,2	0,63	100,0	Fraco
Are. Me. <sup>3</sup>				EPP			
Are. Fina <sup>4</sup>				EPP			
Are. M. fina <sup>5</sup>				EPP			
Silte				EPP			
Argila	Esférico	33,8	1785	100,2	0,41	1,89	Forte
C org. <sup>6</sup>	Gaussiano	0,2	0,12	101,9	0,54	166,66	Fraco
pH H20	Esférico	0,001	0,17	85	0,78	0,58	Forte
Argila disp. <sup>7</sup>	Esférico	19,5	2158	94,3	0,54	0,90	Forte

1- Areia muito grossa; 2- Areia grossa; 3- Areia média; 4- Areia fina; 5- Areia muito fina; 6- Carbono Orgânico; 7- Argila dispersa; 8- Efeito pepita; 9- Patamar; 10- Alcance (m); 11- Coeficiente de determinação; 12- Grau de Dependência Espacial.

Tabela 20 – Análise geoestatística das variáveis analisadas na profundidade de 100-120 cm

Variáveis	Modelo	Co <sup>8</sup>	Co+C <sub>1</sub> <sup>9</sup>	A (m) <sup>10</sup>	R <sup>2</sup> <sup>11</sup>	Co/Co+C <sub>1</sub> (%)	GDE <sup>12</sup>
Cascalho				EPP			
Areia	Esférico	45,5	2.246	69,5	0,47	2,02	Forte
Are. M. Gr. <sup>1</sup>	Esférico	0,0006	0,006	65,01	0,15	10,0	Forte
Are.Gr. <sup>2</sup>				EPP			
Are. Me. <sup>3</sup>	Esférico	0,002	0,33	69,5	0,46	0,60	Forte
Are. Fina <sup>4</sup>				EPP			
Are. M. fina <sup>5</sup>	Esférico	0,05	0,08	110,6	0,47	62,5	Moderado
Silte				EPP			
Argila	Esférico	9,2	1.598	65,1	0,78	0,57	Forte
C org. <sup>6</sup>	Gaussiano	0,22	0,14	121,5	0,83	157,14	Fraco
pH H20	Esférico	0,02	0,12	80,3	0,55	16,66	Forte
Argila disp. <sup>7</sup>	Gaussiano	13,2	3,173	68,6	0,74	0,41	Forte

1-Areia muito grossa; 2- Areia grossa; 3- Areia média; 4- Areia fina; 5- Areia muito fina; 6- Carbono Orgânico; 7- Argila dispersa; 8- Efeito pepita; 9- Patamar; 10- Alcance (m); 11- Coeficiente de determinação; 12- Grau de Dependência Espacial.

Tabela 21 – Análise geoestatística das variáveis analisadas na profundidade de 120-140 cm

Variáveis	Modelo	Co <sup>8</sup>	Co+C <sub>1</sub> <sup>9</sup>	A (m) <sup>10</sup>	R <sup>2</sup> <sup>11</sup>	Co/Co+C <sub>1</sub> (%)	GDE <sup>12</sup>
Cascalho	Esférico	0,14	6,7	61,3	0,18	2,08	Forte
Areia				EPP			
Are. M. Gr. <sup>1</sup>	Esférico	0,0001	0,006	81,8	0,45	1,66	Forte
Are.Gr. <sup>2</sup>	Esférico	0,001	0,03	82,5	0,84	3,33	Forte
Are. Me. <sup>3</sup>				EPP			
Are. Fina <sup>4</sup>				EPP			
Are. M. fina <sup>5</sup>				EPP			
Silte	Gaussiano	2.120	4.000	200	0,71	53,0	Moderado
Argila				EPP			
C org. <sup>6</sup>	Esférico	0,2	0,15	200	0,28	133,33	Fraco
pH H2O				EPP			
Argila disp. <sup>7</sup>	Esférico	2.900	4.200	200	0,77	69,04	Moderado

1- Areia muito grossa; 2- Areia grossa; 3- Areia média; 4- Areia fina; 5- Areia muito fina; 6- Carbono Orgânico; 7- Argila dispersa; 8- Efeito pepita; 9- Patamar; 10- Alcance (m); 11- Coeficiente de determinação; 12- Grau de Dependência Espacial.

Por meio da krigagem pôde-se obter os mapas de distribuição das variáveis (Figuras 7 a 13).

Na profundidade de 0-20 cm a variável altitude apresentou o padrão de distribuição semelhante ao identificado usando-se o MDE, como esperado. As variáveis silte, areia grossa, areia média, areia muito grossa, argila, carbono e fósforo apresentaram valores mais elevados no limite inferior esquerdo da área de estudo, indicando acúmulo de materiais e coincidindo com a forma côncava obtida do perfil de curvatura.

Nas demais profundidades ainda encontraram-se valores mais elevados nas áreas de acúmulo, como nas variáveis silte e carbono (20-40 e 40-60 cm), mas também foram identificadas variações espaciais que não seguiram essa tendência.

As frações de areia analisadas apresentaram uma tendência de valores mais reduzidos na área côncava, destacando-se a constância dessa condição para as frações fina e média nas profundidades (0-20 a 40-60 cm), que apresentaram os valores mais elevados.

Figura 7 – Mapas de variabilidade espacial para a profundidade de 0-20 cm

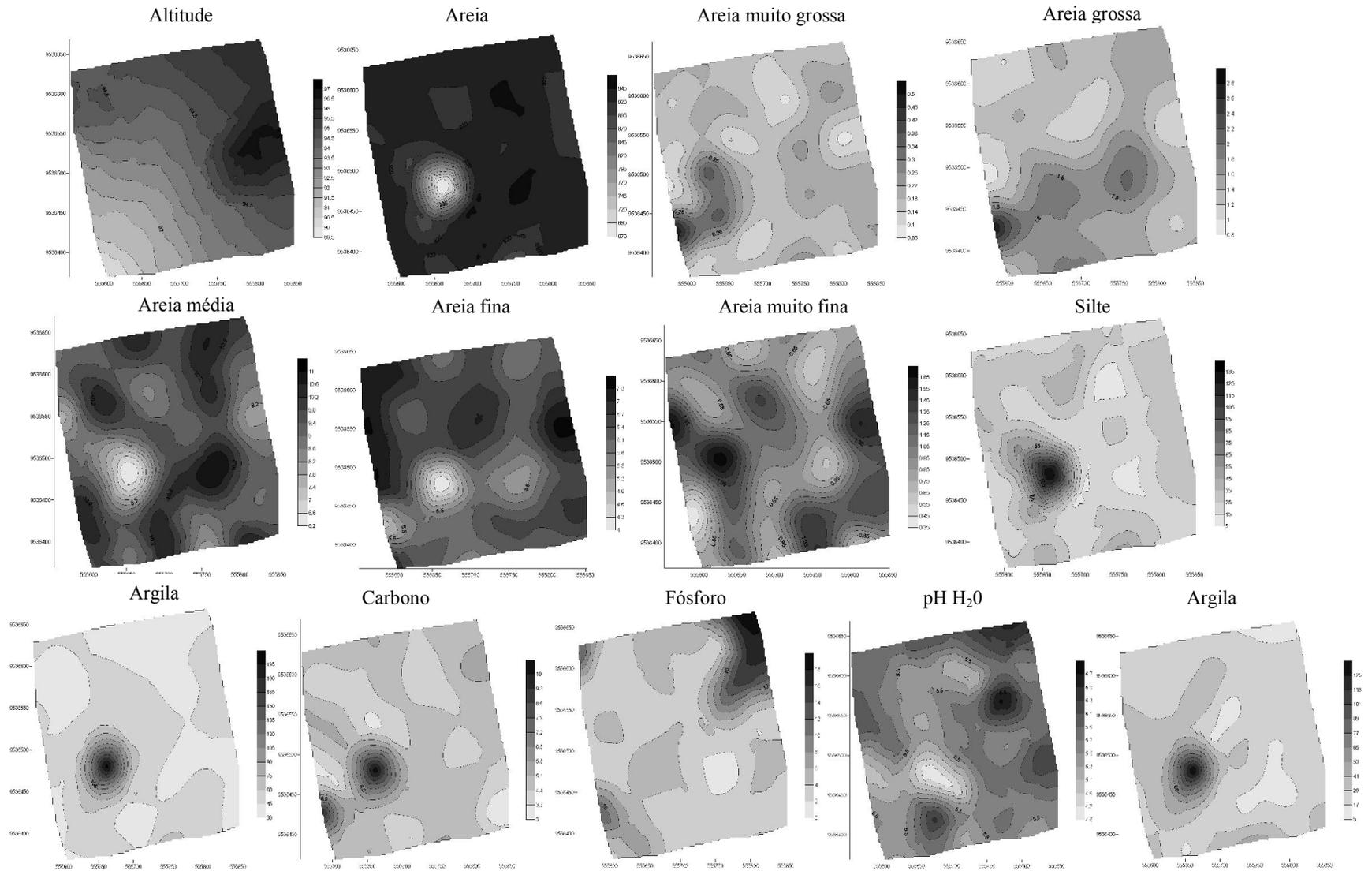


Figura 8 – Mapas de variabilidade espacial para a profundidade de 20-40 cm

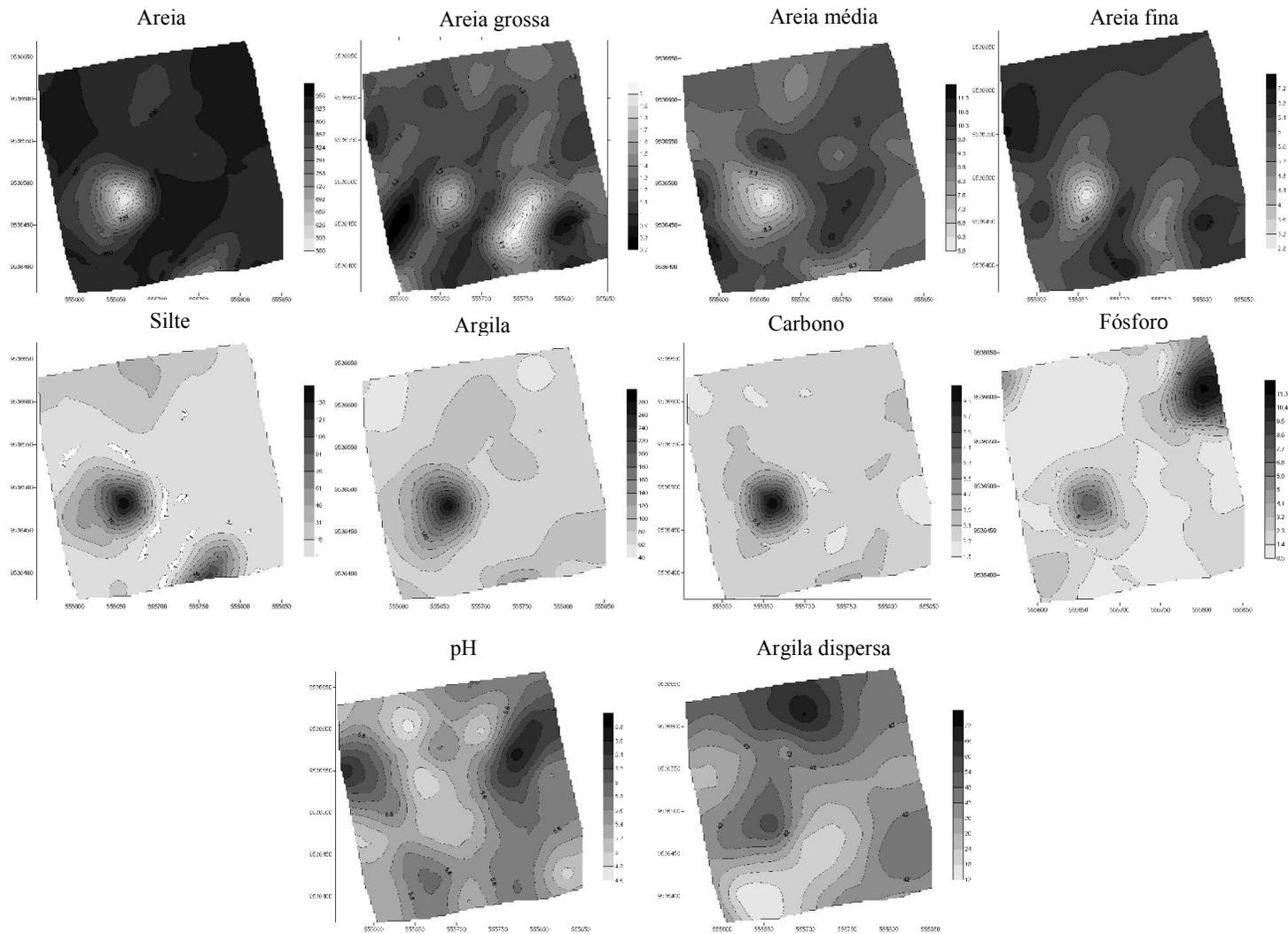


Figura 9 – Mapas de variabilidade espacial para a profundidade de 40-60 cm

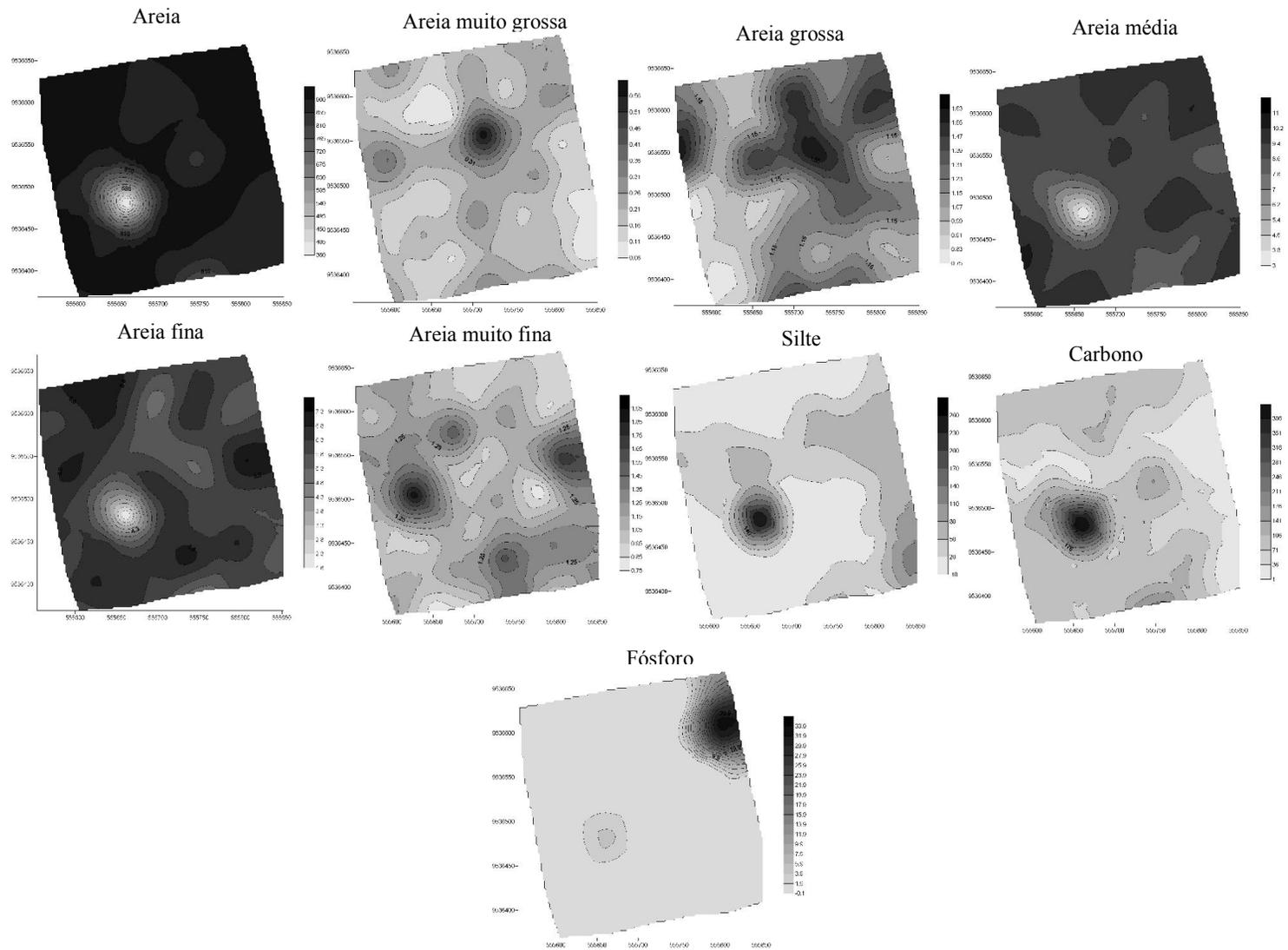


Figura 10 – Mapas de variabilidade espacial para a profundidade de 60-80 cm

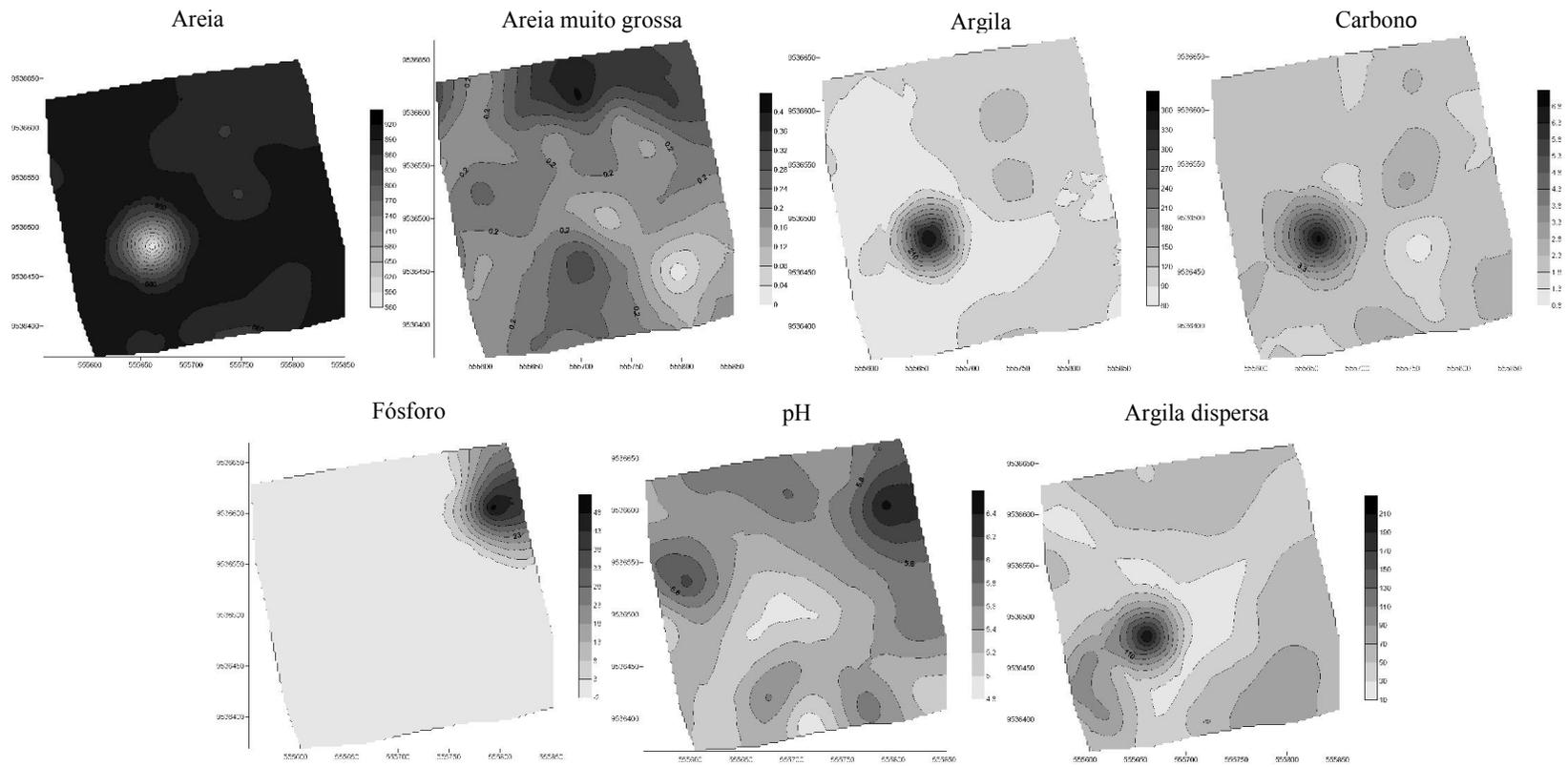


Figura 11 – Mapas de variabilidade espacial para a profundidade de 80-100 cm

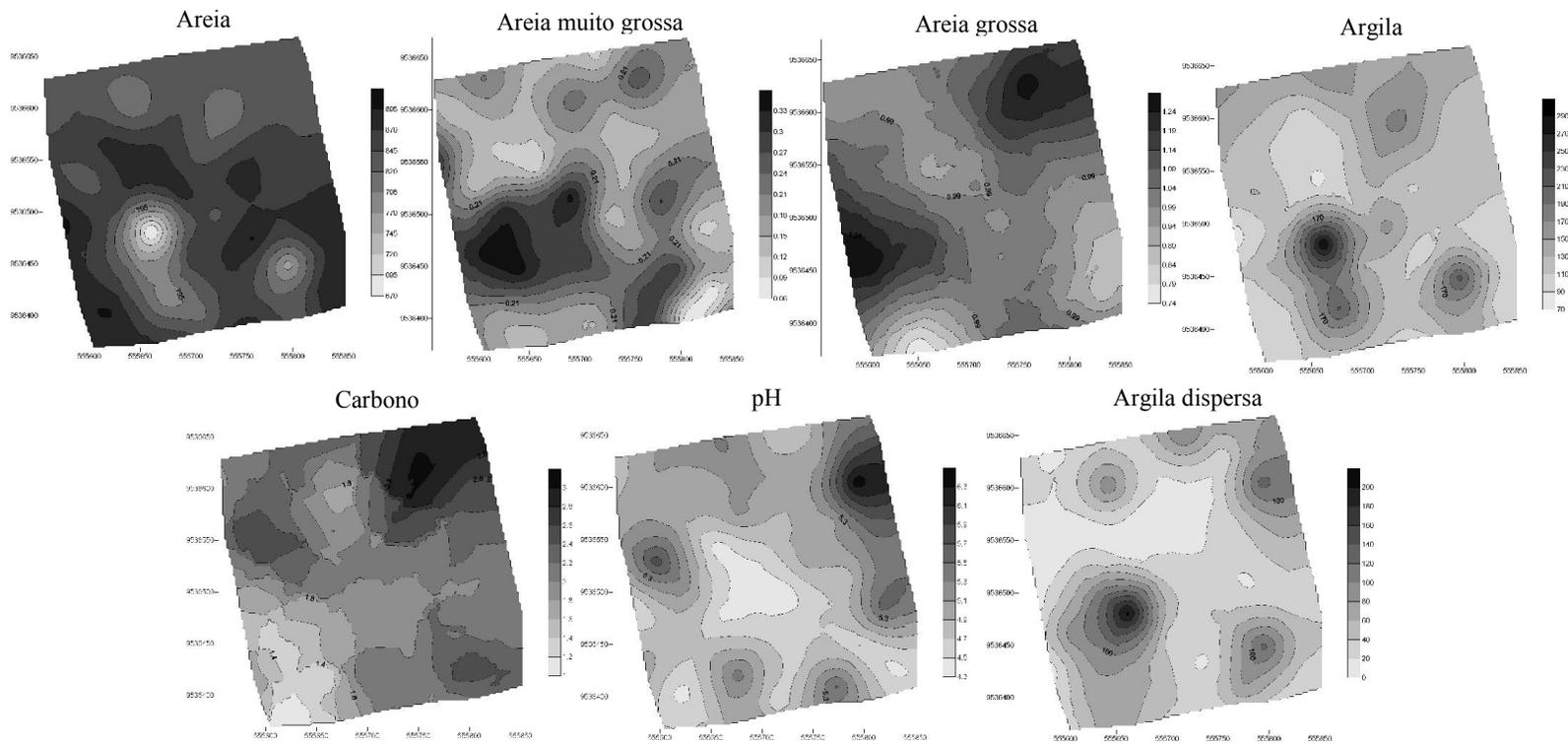


Figura 12 – Mapas de variabilidade espacial para a profundidade de 100-120 cm

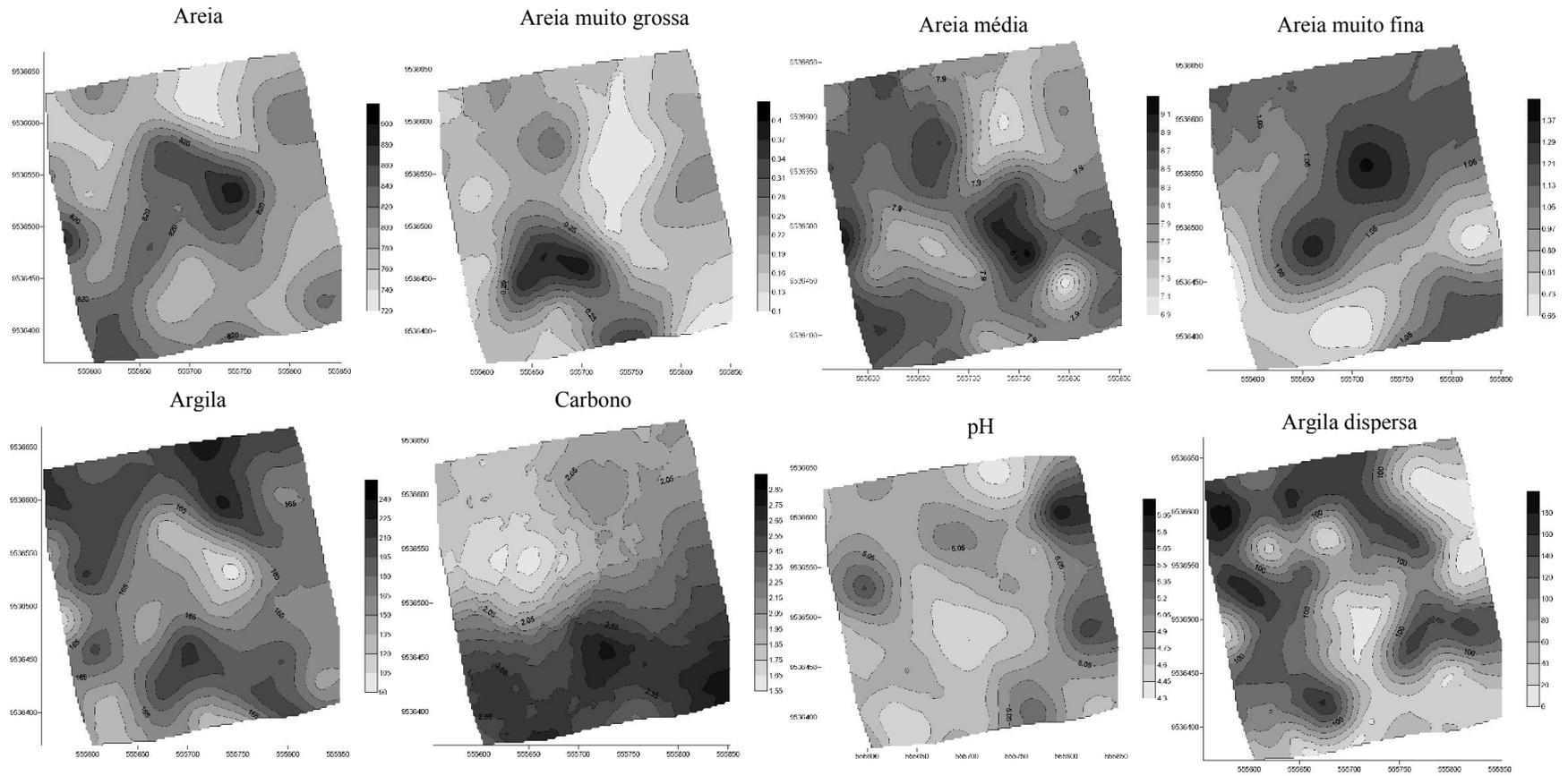
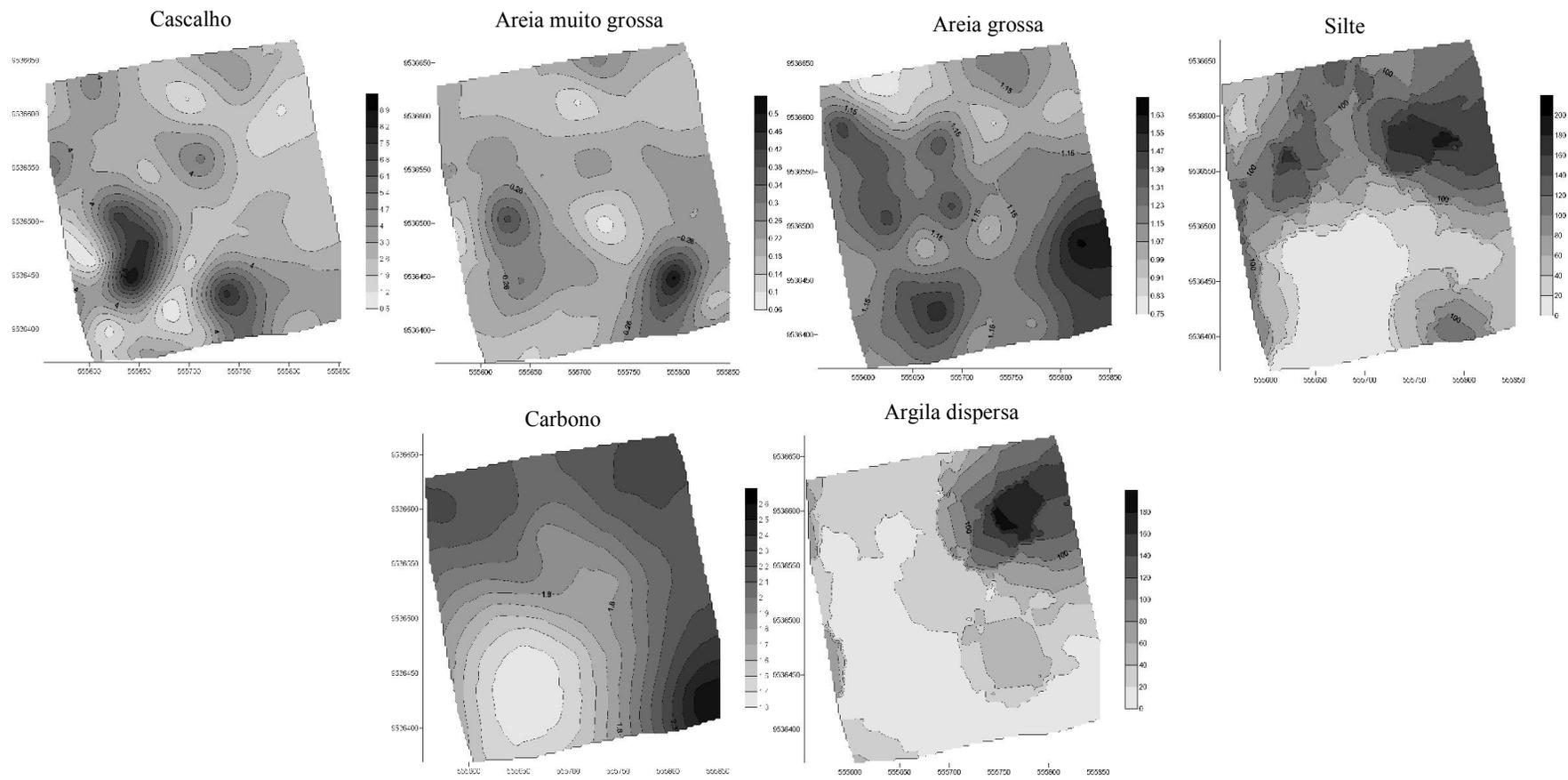


Figura 13 – Mapas de variabilidade espacial para a profundidade de 120-140 cm



### 3.5 Análise da distribuição do caráter coeso

A variável consistência foi considerada para analisar a distribuição espacial do caráter coeso. Por ser uma variável categórica, foi analisada separadamente, atribuindo valor zero para a condição de ausência de caráter coeso e valor 1 para o atendimento ao estabelecido em EMBRAPA (2013) para o caráter coeso.

Nas profundidades de 0-20 a 80-100 cm, apenas 1 ponto de cada profundidade atendeu ao caráter coeso, sendo desconsiderados na análise da distribuição espacial. As profundidades de 100-120 e 120-140 cm apresentaram mais pontos, inclusive coincidentes e foram analisados quanto à distribuição espacial da variável, no entanto, apresentaram efeito pepita puro, provavelmente pela reduzida quantidade de pontos que atenderam ao caráter coeso (12).

A profundidade de ocorrência e localização dos pontos com caráter coeso, analisados juntamente com a localização dos perfis que apresentam caráter coeso (Capítulo II e dados de Lima *et al.* (2005)) reforçam a ocorrência de solos com caráter coeso na área delimitada (Figura 14).

A área onde esses pontos se encontram representam todas as formas identificadas por meio do perfil de curvatura, com predomínio de ocorrência em áreas planas e côncavas. Percebe-se uma continuidade da presença do caráter coeso entre o perfil descrito por Lima *et al.* (2005) e o perfil P3 do presente trabalho.

Nessa região, usando-se os dados da distribuição espacial das variáveis nas profundidades de 100-120 e 120-140 cm, identifica-se que as variáveis que apresentaram dependência espacial nessa região têm valores mais elevados de cascalho, areia muito grossa e areia muito fina (Figuras 15 e 16).

A variável argila apresentou dependência espacial apenas na profundidade de 100-120 cm, apresentando valores intermediários na área com caráter coeso, e não confirmou uma participação preponderante dessa variável para a ocorrência do caráter coeso.

Por outro lado, as frações de areia analisadas apresentaram um comportamento contrastante, quando comparam-se as profundidades analisadas (100-120 e 120-140 cm) com as mais superficiais. Nestas últimas, houve predomínio de dependência espacial nas frações mais finas, enquanto que nas maiores profundidades prevaleceram as frações mais grosseiras. Destaca-se ainda, que o cascalho apresentou dependência espacial apenas na última profundidade, reforçando a contribuição das frações mais grosseiras. As variáveis argila dispersa e carbono não apresentaram comportamento conclusivo.

Pelo fato de não ter obtido dependência espacial em muitas variáveis nas profundidades onde identificou-se caráter coeso a análise das variáveis que poderiam estar contribuindo para a ocorrência do referido caráter ficou prejudicada.

Figura 14 – Representação da localização dos pontos com caráter coeso em relação aos demais aspectos analisados

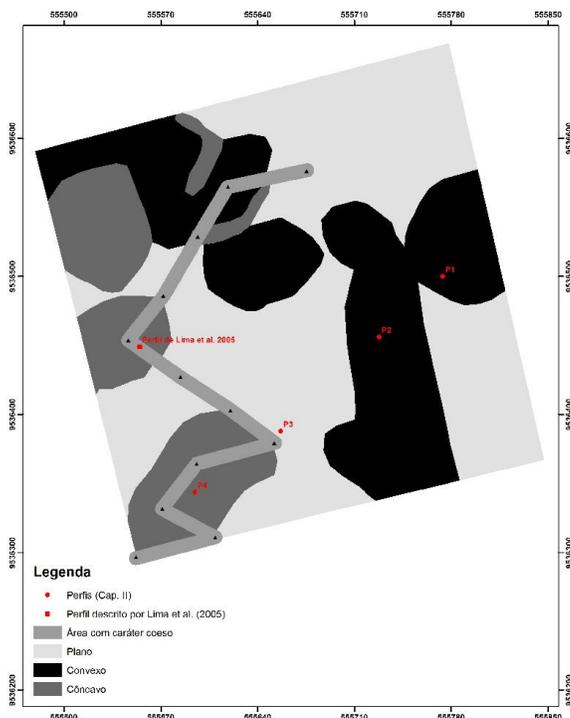


Figura 15 – Representação da área com caráter coeso na profundidade de 100-120 cm

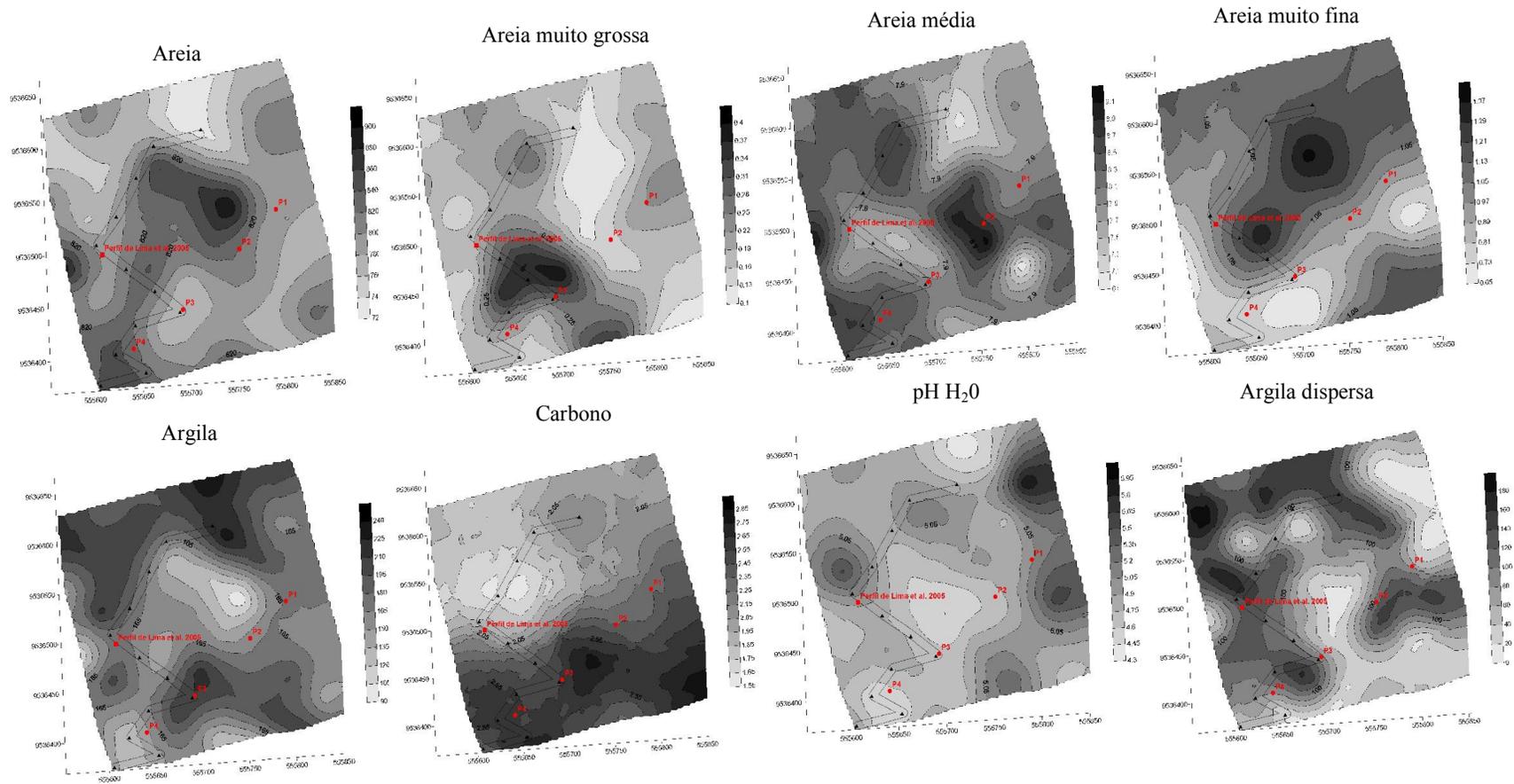
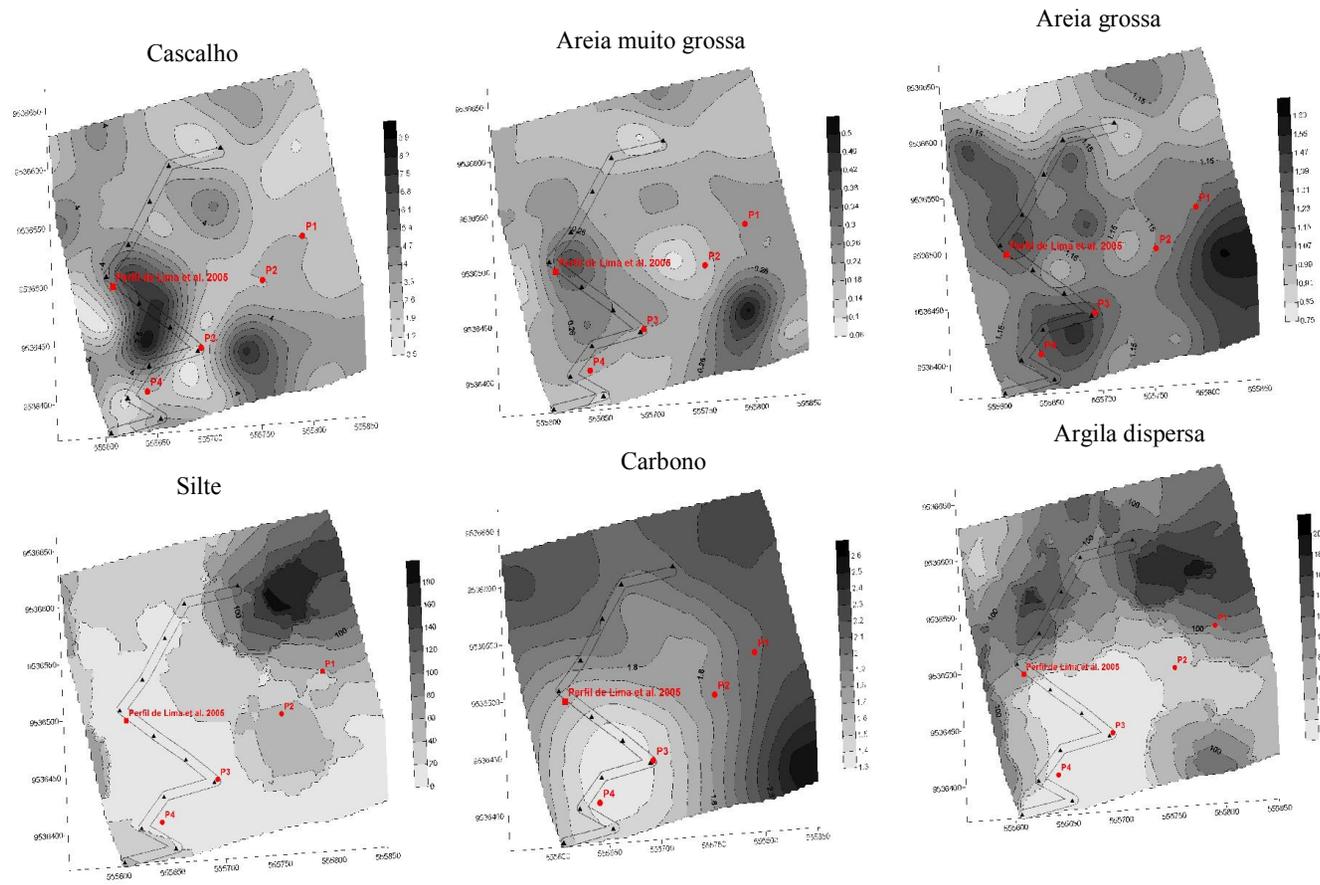


Figura 16 – Representação da área com caráter coeso na profundidade de 120-140 cm



## 4 CONCLUSÕES

1. Os perfis analisados apresentaram indícios de fatores associados a fluxo hídrico influenciando seus processos de formação, como evidenciado pela coloração, presença de lamelas, mosqueados e baixos valores de  $Fe_{DCB}$  e os perfis das partes mais baixas da paisagem apresentaram elementos de solos com drenagem deficiente;
2. O perfil P3 (Argissolo Acinzentado) foi o único onde houve manifestação do caráter coeso e observou-se concentração das frações areia média e fina, que associados a posição de transição na paisagem (plano-côncava), maiores valores de argila e baixa concentração de elementos estruturantes, pode ter contribuído para a formação do horizonte coeso;
3. Por meio da análise do modelo digital de elevação, identificou-se que a área de estudo apresenta altitude média de 90 metros, é em sua maior parte plana, e predominando a forma plana do perfil de curvatura;
4. A análise geoestatística dos dados revelou que o modelo esférico foi o que mais se ajustou à distribuição dos dados e as variáveis químicas mostraram-se mais estáveis na distribuição espacial, enquanto que as variáveis físicas tiveram mais alteração quanto a existência de dependência espacial, podendo ser mais representativas na diferenciação entre os solos;
5. A variável consistência não apresentou dependência espacial, no entanto, foi possível identificar uma área de ocorrência de solos com horizonte coeso, nas profundidades de 100-120 e 120-140 cm. Nessa área identifica-se que as frações de areia mais grosseiras apresentaram valores mais elevados.

## REFERÊNCIAS

- BEHLING, H.; COSTA, M.L. Mineralogy, geochemistry, and palynology of modern and late Tertiary mangrove deposits in the Barreiras Formation of Mosqueiro Island, northeastern Pará state, eastern Amazonia. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 17, p. 285-295, 2004.
- BEZERRA, C.E.E; FERREIRA, T.O.; ROMERO, R.E.; MOTA, J.C.A.; VIEIRA, J. M.; DUARTE, L.R.S.; COOPER, M. Genesis of cohesive soil horizons from Northeast Brazil: role of argilluviation and sorting of sand. **Soil Research**, v. 53, p. 43-55, 2015.
- BOCKHEIM, J.G.; HARTEMINK, A.E. Classification and distribution of soils with lamellae in the USA. **Geoderma**, v. 206, p. 92-100, 2013.
- CAMARGO, L.A.; JÚNIOR, M.J.; PEREIRA, G.T.; HORVAT, R.A. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um latossolo sob diferentes formas do relevo I-mineralogia da fração argila. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 2269-2277, 2008.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B; NOVACK, J.M; PARKIN, T.B; KARLEN, D.L; TURCO, R.F.; KNOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.58, p.1240-1248, 1994.
- CEDDIA, M.B.; VIEIRA, S.R.; VILLELA, A.L.O.; MOTA, L.S.; ANJOS, L.H.C.; CARVALHO, D.F. Topography and spatial variability of soil physical properties. **Scientia Agricola**, v. 66, p. 338-352, 2009.
- CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T.C.P. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 32, p. 297-313, 2008.
- COSTA, P. A. **Estudo de horizontes coesos em uma topossequência dos tabuleiros costeiros em Pacajus, Ceará**. 2009. 48 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- CUNHA, P.; MARQUES JÚNIOR, J.; CURI, N.; PEREIRA, G.T.; LEPSCH, I.F. Superfícies geomórficas e atributos de latossolos em uma sequência arenítico-basáltica da região de Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.29, p. 81-90, 2005.
- 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 Ciências do Solo**, v. 38, p. 1039-1050, 2014.

DEMATTÊ, J.L.I.; MAZZA, J.A.; DEMATTÊ, J.A.M. Caracterização e gênese de uma topossequência Latossolo amarelo-podzol originado de material da formação barreiras – estado de Alagoas. **Scientia Agricola**, v. 53, p. 20-30, 1996.

DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B.; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. **Manual de Métodos de análise de solos**. Orgs.: DONAGEMA *et al.* Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 230 p., 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa Solos, 2013. 306 p.

FREITAS, E. D. **Gênese de solos de uma topossequência dos tabuleiros costeiros (CE): ênfase na dinâmica do ferro**. 2010. 60 f.: TCC (graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

FURQUIM, S.A.C.; COLTRINARI, L.; FERREIRA, R.P.D.; CASTRO, S.S.; PUGLIESE, G.R. Lamellae formation processes in tropical soils in southeastern Brazil. **Catena**, v. 107, p. 15-25, 2013.

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

GOOVAERTS, P. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. **Geoderma**, v. 89, p. 1-45, 1999.

HOLLIDAY, V.T.; RAWLING III, J.E. Soil-geomorphic relations of lamellae in eolian sand on the high plains of Texas and New Mexico. **Geoderma**, v. 131, p. 154-180, 2006.

JACOMINE, P.K.T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: Workshop coesão em solos dos Tabuleiros Costeiros, 2001, Aracaju. **Anais...Aracaju**: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001, p. 19-46.

JONG VAN LIER, Q.; VIDAL-TORRADO, P. PHI: Programa de microcomputador para análise estatística da granulometria de sedimentos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 16, p. 277- 281, 1992.

KLINGE, H. Podzol soils in the Amazon Basin. **Journal of Soil Science**, v.16, p. 96-103, 1965.

LIMA, A.A.C; OLIVEIRA, F.N.S.; AQUINO, A.R.L. **Classificação e aptidão agrícola dos solos do campo experimental de Pacajus, Ceará, para a agricultura**. Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos 53, 20 p., 2002.

LIMA, H.V. **Identificação e caracterização do comportamento físico de solos coesos no estado do Ceará**. 2004. 85f. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

LIMA, H.V.; SILVA, A.P. DA; ROMERO, R.E.; JACOMINE, P.K.T. Comportamento físico de um argissolo acinzentado coeso no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 29, p. 33-40, 2005.

LIMA, H.V.; SILVA, A.P.; SANTOS, M.C.; COOPER, M.; ROMERO, R.E. Micromorphology and image analysis of a hardsetting Ultisol (Argissolo) in the state of Ceará (Brazil). **Geoderma**, v. 132, p. 416-426, 2006.

LIMA NETO, J.A. **Caracterização e gênese do caráter coeso em latossolos amarelos e argissolos da região dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas**. 2008. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo), Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2008.

LIMA NETO, J.A.; RIBEIRO, M.R.; CORRÊA, M.M.; SOUZA JÚNIOR, V.S.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 Ciências do Solo**, 33, p. 1001-1011, 2009.

MAFRA, A.L., SILVA, E.F., COOPER, M., DEMATTÊ, J.L.I. Pedogênese de uma sequência de solos desenvolvidos de arenito na região de Piracicaba (SP). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 25, p. 355-369, 2001.

McBRATNEY, A.B.; MENDONÇA-SANTOS, M.L.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, v. 117, p. 3-52, 2003.

MELO, V.F.; NOVAIS, R.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FONTES, M.P.F.; SINGH, B. Mineralogia das frações areia, silte e argila de sedimentos do Grupo Barreiras no município de Aracruz, estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 26, p. 29-41, 2002.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV. 107p, 2005.

MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**, v.72, p. 317-327, 1960.

MOREAU, A.M.S.S. **Gênese, mineralogia e micromorfologia de horizontes coeso, fragipã e duripã em solos do tabuleiro costeiro do sul da Bahia**. 2001. 152p. Tese de Doutorado. Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa – UFV. 2001.

MOREAU, A.M.S.S.; COSTA, L.M. DA; 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 Ciências do Solo**, v. 30, p. 1021-1030, 2006.

NOVAES FILHO, J.P.; COUTO, E.G.; OLIVEIRA, V.A.; JOHNSON, M.S.; LEHMANN, J.; RIHA, S.S. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo usada na

identificação de classes pedológicas de microbacias na Amazônia Meridional. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, p. 91-100, 2007.

NUNES, F.C.; SILVA, E.F.; VILAS-BOAS, G.S. **Grupo Barreiras: Características, gênese e evidências de neotectonismo**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, v. 194, Embrapa Solos: Rio de Janeiro, 31 p., 2011.

OLIVEIRA, A.P.; KER, J.C.; SILVA, I.R.; FONTES, M.P.F.; OLIVEIRA, A.P.; NEVES, A.T.G. Spodosols pedogenesis under barreiras formation and sandbank environments in the south of Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 847-860, 2010.

QUÉNARD, L.; SAMOUËLIAN, A.; LAROCHE, B.; CORNU, S. Lessivage as a major process of soil formation: A revisitation of existing data. **Geoderma**, v. 167-168, p. 135-147, 2011.

RAMOS, M. R. **Atributos de solos coesos e não coesos e o desenvolvimento de arboreas nativas no município de Itaboraí-RJ**. 2013. 146 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

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

RAWLING III, J.E. A review of lamellae. **Geomorphology**, v. 35, p. 1-9, 2000.

RESENDE, J.M.A.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V.; DANTAS, J.S.; SIQUEIRA D.S.; TEIXEIRA, D.B. Variabilidade espacial de atributos de solos coesos do leste Maranhense. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, p. 1077-1090, 2014.

RIBEIRO, K.D.; MENEZES, S.M.; MESQUITA, M.G.B.F.; SAMPAIO, F.M.T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência Agrotécnica**, v. 31, p. 1167-1175, 2007.

RIBEIRO, M.R. Características morfológicas dos horizontes coesos dos tabuleiros costeiros. In: Workshop coesão em solos dos tabuleiros costeiros, 2001, Aracaju. **Anais...Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros**, 2001. p. 161-168.

SANTOS, R.D. dos, LEMOS, R.C. de, SANTOS, H.G. dos, KER, J.C., ANJOS, L.H.C dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5ª. ed. rev. e ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Ed. da UFV; Rio de Janeiro: Embrapa Solos/Ed. da UFRJ, 2005. 92p.

SCHAETZL, R.; ANDERSON, S. **Soils: Genesis and Geomorphology**. Cambridge University Press. 833p., 2005.

SOIL SURVEY DIVISION STAFF. **Soil Survey Manual** (United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service): Washington, DC, 1993.

URLEY, A. L.; DREES, L. R. **Methods of Soil Analysis**. Soil Science Society of America Madison, 2008. 521 p.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I.F.; CASTRO, S.S. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. In: VIDAL-TORRADO, P. *et al.* Org. **Tópicos em Ciência do Solo**. Volume 4. Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. Cap. 4, p.145-192.

VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C.; REYNOLDS, W.D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ, V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, J.M. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.2, 2002. p.1-45.

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**, v. 43, p. 623-632, 2012.

VILAS-BOAS, G.S.; SAMPAIO, F.J.; PEREIRA, AM.S. The Barreiras group in the Northeastern coast of the state of Bahia: depositional mechanisms and processes. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 73, p. 417-427, 2001.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant analysis**, v.19, p.1467-1476, 1988.

## CONCLUSÕES GERAIS

Identificou-se que poucos trabalhos têm considerado a análise de horizontes coesos de forma integrada e usando ferramentas auxiliares de avaliação dos dados.

A análise dos dados já produzidos pelos Levantamentos de Solos na área da Formação Barreiras, revelaram predominância de ocorrência de horizontes coesos em Argissolos.

A análise dos perfis em topossequência revelou a presença de horizontes coesos em apenas um perfil, classificado como Argissolo Acinzentado, que localizou-se em área plana, com acúmulo de argila e predomínio das frações de areia média e fina.

Na análise da distribuição espacial das variáveis confirmou-se uma área com baixas altitudes, reduzida declividade e forma plana. A análise geoestatística ajudou na compreensão da distribuição das variáveis, e supõe-se que a análise dos dados separados por forma da superfície, pode indicar dados mais uniformes. Nesse método de análise não confirmou-se a participação da argila no processo de formação dos horizontes coesos.

## APÊNDICE A - DESCRIÇÃO DAS TRINCHEIRAS

### PERFIL P1



### DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 01/04/2013.

CLASSIFICAÇÃO SiBCS – ARGISSOLOS AMARELOS Distróficos abruptos

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Pacajus – CE, Estação Experimental da EMBRAPA. Coordenadas UTM 555774/9536500.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Descrito e coletado em trincheira, área convexa, plantação de cajueiro anão precoce.

ALTITUDE – 96 m

LITOLOGIA – Sedimentos areno-argilosos

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Barreiras

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa

ROCHOSIDADE – Não rochosa

RELEVO LOCAL – Área convexa, suave ondulado

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado

EROSÃO – Não aparente

DRENAGEM – Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Vegetação de tabuleiros costeiros

USO ATUAL – Área com plantio de cajueiro anão precoce

CLIMA - BSw'h'

DESCRITO E COLETADO POR – Ana Leônia de Araújo e Rodrigo de Oliveira Girão

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap1** 0-16 cm, bruno-acinzentado 10YR 5/2 (seco) e bruno acinzentado muito escuro 10YR 3/2 (úmido); grãos simples; solta, solta, não plástico e não pegajoso; ondulado (16 – 20) e clara.
- Ap2** 16-41 cm, bruno-amarelado-claro 10YR 6/4 (seco) e bruno-amarelado-escuro 10YR 4/4 (úmido); granular, média, fraca; macia, muito friável, não plástico e não pegajoso; ondulado e gradual.
- AB** 41-65 cm, bruno-amarelado-claro 10YR 6/4 (seco) e bruno-amarelado 10YR 5/4 (úmido); granular, média, fraca; macia, muito friável, não plástico e não pegajoso; plana e clara.
- B1** 65-82 cm, bruno-amarelado-escuro 10YR 4/6 (seco) e bruno-amarelado 10YR 5/4 (úmido); blocos subangulares, pequenos a médios, fraca a moderada; solta, solta, não plástico e não pegajoso; plana e clara.
- B2** 82-118 cm, bruno muito claro-acinzentado 10YR 8/4 (seco) e bruno-amarelado-claro 10YR 6/4 (úmido); blocos subangulares, pequena, fraca; solta, solta, não plástico e não pegajoso; mosqueado comum, pequeno, difuso amarelo (10YR 7/8, úmido); ondulado (115 - 123) e clara.
- Bt3** 118-153 cm, amarelo 10YR 8/6 (seco) e amarelo-brunado 10YR 6/6 (úmido); blocos subangulares, média, moderada; ligeiramente duro, friável, ligeiramente pegajoso, ligeiramente plástico; mosqueado comum, médio, difuso vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmido), amarelo-brunado 10YR 6/8 (fundo); plana e clara.

**Bt4** 153-200+cm, amarelo 10YR 7/6 (seco) e amarelo-brunado 10YR 6/6 (úmido); blocos subangulares, média, moderada; ligeiramente duro, friável, ligeiramente pegajoso, ligeiramente plástico, mosqueado abundante, médio a grande, distinto (vermelho-amarelado 5YR 5/8, vermelho 2,5YR 5/8 úmido), amarelo-brunado 10YR 6/8 (fundo);

**Observações:**

1. Raízes: Ap1: muitas finas e comuns médias; Ap 2: comuns finas e raras médias; AB: raras finas e raras médias; B1: raras finas e raras médias; B2: raras finas e médias; Bt3: raras finas; Bt4: raras finas.
2. Presença de lamelas nos horizontes AB (64 cm), B1 (84 cm), B2 (95 e 103 cm), transição do B2 para Bt3 (118 cm) e Bt4 (140 e 150 cm).
3. Perfil úmido do horizonte Ap1 ao B1.
4. Presença de térmitas.
5. Coleta de lamelas nas profundidades de 65, 80, 94 e 120 cm.

## PERFIL P2



## DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 01/04/2013.

CLASSIFICAÇÃO SiBCS – ARGISSOLOS AMARELOS Distróficos abrupticos

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Pacajus – CE, Estação Experimental da EMBRAPA. Coordenadas UTM 555728/9536456

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Descrito e coletado em trincheira no terço superior de um leve declive, plantação de cajueiro anão precoce.

ALTITUDE – 93 m

LITOLOGIA – Sedimentos areno-argilosos

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Barreiras

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa

ROCHOSIDADE – Não rochosa

RELEVO LOCAL – Suave ondulado

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado

EROSÃO – Não aparente

DRENAGEM – Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Vegetação de Tabuleiros Costeiros

USO ATUAL – Área com plantio de cajueiro anão precoce

CLIMA - BSw'h'

DESCRITO E COLETADO POR – Ana Leônia de Araújo e Rodrigo de Oliveira Girão

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap1** 0-21 cm, bruno-claro-acinzentado 10YR 6/3 (seco) e bruno-amarelado-escuro 10YR 4/4 (úmido); granular, média, fraca; solta, solta, não plástico e não pegajoso; plana e clara.
- A2** 21-48 cm, bruno-muito-claro-acinzentado 10YR 7/4 (seco) e bruno-amarelado 10YR 5/4 (úmido); granular, pequena a média, fraca; solta, solta, não plástico e não pegajoso; mosqueado pouco, médio e distinto (branco 2,5 Y 8/1, úmido); plana e clara.
- Bt1** 48-86 cm, bruno-muito-claro-acinzentado 10YR 7/4 (seco) e bruno-amarelado-claro 10YR 6/4 (úmido); blocos subangulares, pequena a média, fraca; macia, muito friável, não plástico e não pegajoso; mosqueado pouco, grande e distinto (bruno-acinzentado muito escuro 10YR 3/2, úmido); ondulada (82-88 cm) e clara.
- Bt2** 86-110 cm, cinzento-claro 10YR 7/2 (seco) e cinzento-brunado-claro 10YR 6/2 (úmido); blocos subangulares, médios, moderada; ligeiramente dura, friável, ligeiramente pegajosa, ligeiramente plástica; mosqueado comum, médio e proeminente (vermelho-amarelado 5YR 5/8, úmido), bruno-amarelado 10YR 5/4 (fundo); ondulada (105-114 cm) e clara.
- Bt3** 110-162 cm, bruno muito claro-acinzentado 10YR 8/4 (seco) e bruno muito claro-acinzentado 10YR 7/4 (úmido); blocos subangulares, média, moderada; macia, muito friável, ligeiramente pegajosa, ligeiramente plástica; mosqueado comum, pequeno, distinto (vermelho-amarelado 5YR 5/8, úmido); plana e gradual.

**Bt4** 162-200+ cm, bruno muito claro-acinzentado 10YR 8/4 (seco) e bruno muito claro-acinzentado 10YR 7/3 (úmido); blocos subangulares, média, fraca; macia, muito friável, não pegajosa, ligeiramente plástica; mosqueado pouco, pequeno, distinto (vermelho-amarelado 5YR 5/8, úmido).

**Observações:**

1. Raízes: Ap1: muitas finas e poucas médias; A2: poucas finas, poucas médias e raras grossas; Bt1: poucas finas e raras médias; Bt2: poucas finas; Bt3: raras finas e médias; Bt4: raras finas e médias.
2. Presença de lamelas nos horizontes Bt1 (65 cm), Bt2 (95 cm) e Bt3 (115 cm).
3. Perfil úmido do horizonte Ap1 ao Bt1.
4. Presença de térmitas.
5. Presença de carvão nos horizontes Ap1 e A2.

### PERFIL P3



### DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 01/04/2013.

CLASSIFICAÇÃO SiBCS – ARGISSOLOS ACINZENTADOS Distrocoesos arênicos  
LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Pacajus – CE, Estação Experimental da EMBRAPA. Coordenadas UTM 555657/9536388

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Descrito e coletado em trincheira em área plana próximo a borda de área côncava, plantação de cajueiro anão precoce.

ALTITUDE – 91 m

LITOLOGIA - Sedimentos areno-argilosos

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Barreiras

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa

ROCHOSIDADE – Não rochosa

RELEVO LOCAL – Plano

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado

EROSÃO – Não aparente

DRENAGEM – Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Vegetação de Tabuleiros Costeiros

USO ATUAL – Área com plantio de cajueiro anão precoce

CLIMA - BS<sub>w</sub>'h'

DESCRITO E COLETADO POR – Ana Leônia de Araújo e Rodrigo de Oliveira Girão

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap1** 0-20 cm, bruno-acinzentado 10YR 5/2 (seco) e bruno-acinzentado muito escuro 10YR 3/2 (úmido); granular, pequena, fraca; macia, friável, não plástico e não pegajoso; plana e clara.
- A2** 20-54 cm, bruno-claro-acinzentado 10YR 6/3 (seco) e bruno 10YR 4/3 (úmido); granular, média, fraca; macia, friável, não plástico e não pegajoso; plana e clara.
- BA** 54-87 cm, bruno muito claro-acinzentado 10YR 7/3 (seco) e bruno 10YR 5/3 (úmido); granular, média, fraca; macia, friável, não plástico e não pegajoso; plana e clara.
- Bt1** 87-120 cm, branco 10YR 8/1 (seco) e cinzento-claro 10YR 7/1 (úmido); blocos subangulares a granular, pequena a média, fraca; dura, friável, ligeiramente pegajoso, ligeiramente plástico; plana e clara.
- Bt2<sub>coeso</sub>** 120-171 cm, branco 10YR 8/1 (seco) e cinzento-claro 10YR 7/1 (úmido); aspecto maciço; muito dura, friável, ligeiramente pegajoso, ligeiramente plástico; plana e difusa.
- Bt3<sub>coeso</sub>** 171-200+ cm, branco 10YR 8/1 (seco) e cinzento-claro 10YR 7/1 (úmido); aspecto maciço; muito dura, friável, ligeiramente pegajoso, ligeiramente plástico.

**Observações:**

1. Raízes: Ap1: muitas finas e muitas médias; A2: poucas finas, poucas médias; BA: poucas finas e raras médias; Bt1: poucas finas e poucas médias; Bt2: raras finas e raras médias; Bt3: raras finas e raras médias.
2. Perfil úmido do horizonte Ap1 ao BA.
3. Presença de térmitas e galerias de animais.

## PERFIL P4



## DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 01/04/2013.

CLASSIFICAÇÃO SiBCS – NEOSSOLOS FLÚVICOS Ta Distróficos

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Pacajus – CE, Estação Experimental da EMBRAPA. Coordenadas UTM 555595/9536344.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Descrito e coletado em trincheira, área côncava, plantação de cajá.

ALTITUDE – 89 m

LITOLOGIA - Sedimentos areno-argilosos

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Barreiras

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa

ROCHOSIDADE – Não rochosa

RELEVO LOCAL – Área côncava

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado

EROSÃO – Não aparente

DRENAGEM – Calha de drenagem do relevo local, moderadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Vegetação de Tabuleiros Costeiros

USO ATUAL – Área com plantio de cajá

CLIMA - BSw'h'

DESCRITO E COLETADO POR – Ana Leônia de Araújo e Rodrigo de Oliveira Girão

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1** 0-30 cm, bruno-acinzentado muito escuro 10YR 3/2 (seco) e preto 10YR 2/1 (úmido); aspecto maciço com tendência a formação de blocos que se desfaz em granular, pequena, moderada; ligeiramente dura, friável, ligeiramente pegajoso, plástico; plana e clara.
- A2** 30-58 cm, cinzento muito escuro 10YR 3/1 (seco) e preto 10YR 2/1 (úmido), aspecto maciço, aparência adensada que se desfaz em granular, pequena, moderada; macia, muito friável, ligeiramente pegajoso, ligeiramente plástico; plana e abrupta.
- A3** 58-82 cm, cinzento muito escuro 10YR 3/1 (seco) e preto 10YR 2/1 (úmido); prismática, pequena, fraca que se desfaz em granular, média, moderada; dura, friável, ligeiramente pegajoso, plástico; plana e abrupta.
- AC1** 82-104 cm, bruno-acinzentado escuro 10YR 4/2 (seco) e bruno-acinzentado muito escuro 10YR 3/2 (úmido); granular, média, fraca; ligeiramente dura, friável, ligeiramente pegajoso, ligeiramente plástico; plana e abrupta.
- AC2** 104-135 cm, cinzento muito escuro 10YR 3/1 (seco) e preto 10YR 2/1 (úmido); blocos angulares, médio, moderado com tendência a formar granular; dura, friável, ligeiramente pegajosa, plástica; plana e abrupta.
- C1** 135-151 cm, cinzento-claro 10YR 7/2 (seco) e cinzento-brunado-claro 10YR 6/2 (úmido); granular, médio, fraco; ligeiramente dura, friável, não pegajosa, não plástica; plana e clara.

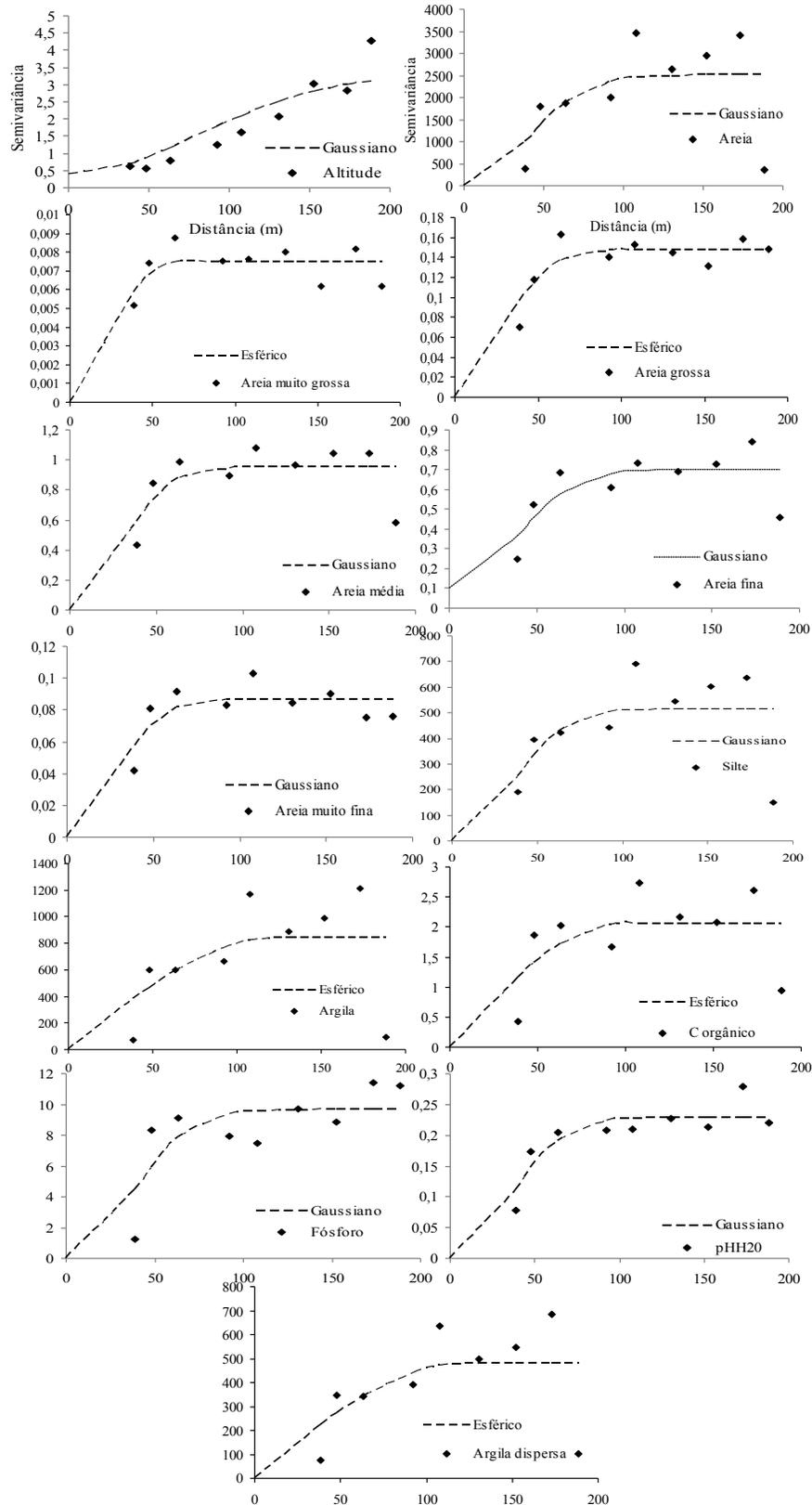
- C2** 151-170 cm, cinzento-claro 10YR 7/2 (seco) cinzento-brunado-claro 10YR 6/2 (úmido); granular, médio, fraco; macia, muito friável, não pegajosa, não plástica; plana e abrupta.
- C3** 170-200+ cm, cinzento-claro 10YR 7/2 (seco) e cinzento-brunado-claro 10YR 6/2 (úmido); blocos subangulares, médio, fraco; solta, solta, não pegajosa, não plástica.

**Observações:**

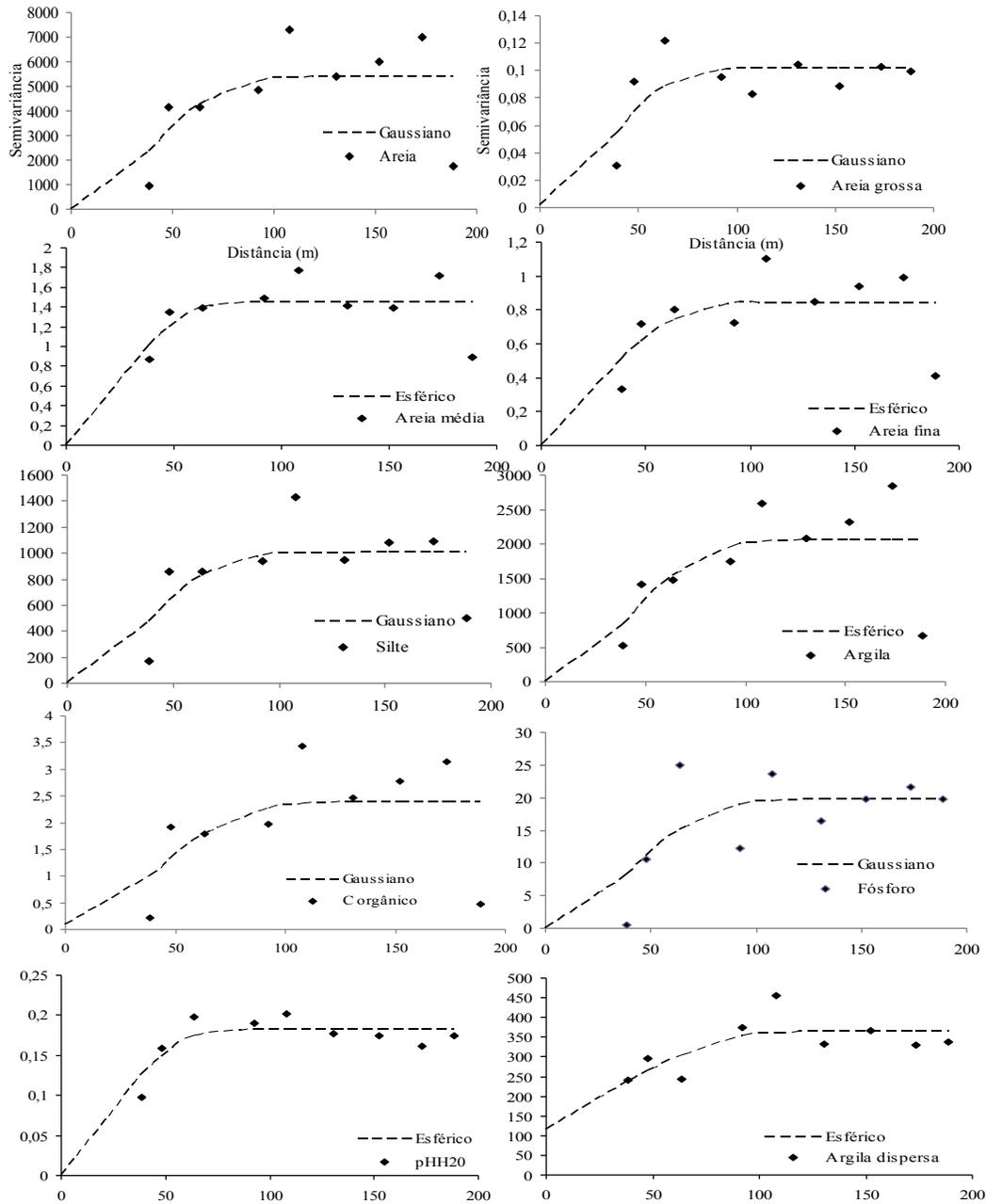
1. Raízes: A: muitas finas e médias; Bh1: poucas finas e raras médias; Bh2: muitas finas e raras médias; Bh3: poucas finas; Bh4: poucas finas; C1: raras finas; C2: raras finas; C3: raras finas.
2. Perfil úmido do horizonte Ap1 ao AB.
3. Horizonte A apresenta-se misturado dadas as interferências agrícolas na área.
4. Mergulho da profundidade 115 a 165 cm (material escuro)

## APÊNDICE B – SEMIVARIOGRAMAS DAS VARIÁVEIS ANALISADAS

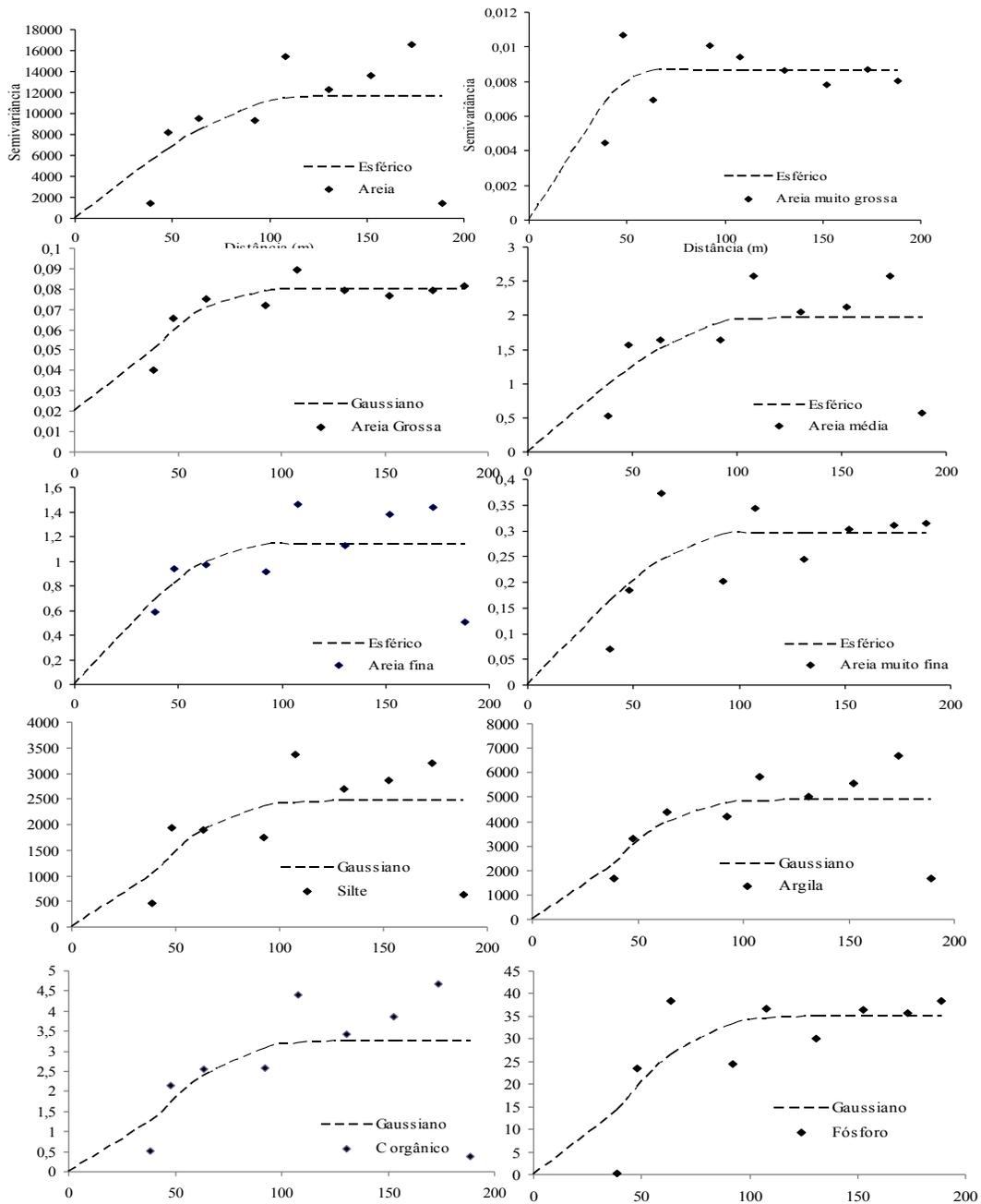
- Semivariogramas das variáveis analisadas na profundidade de 0-20 cm



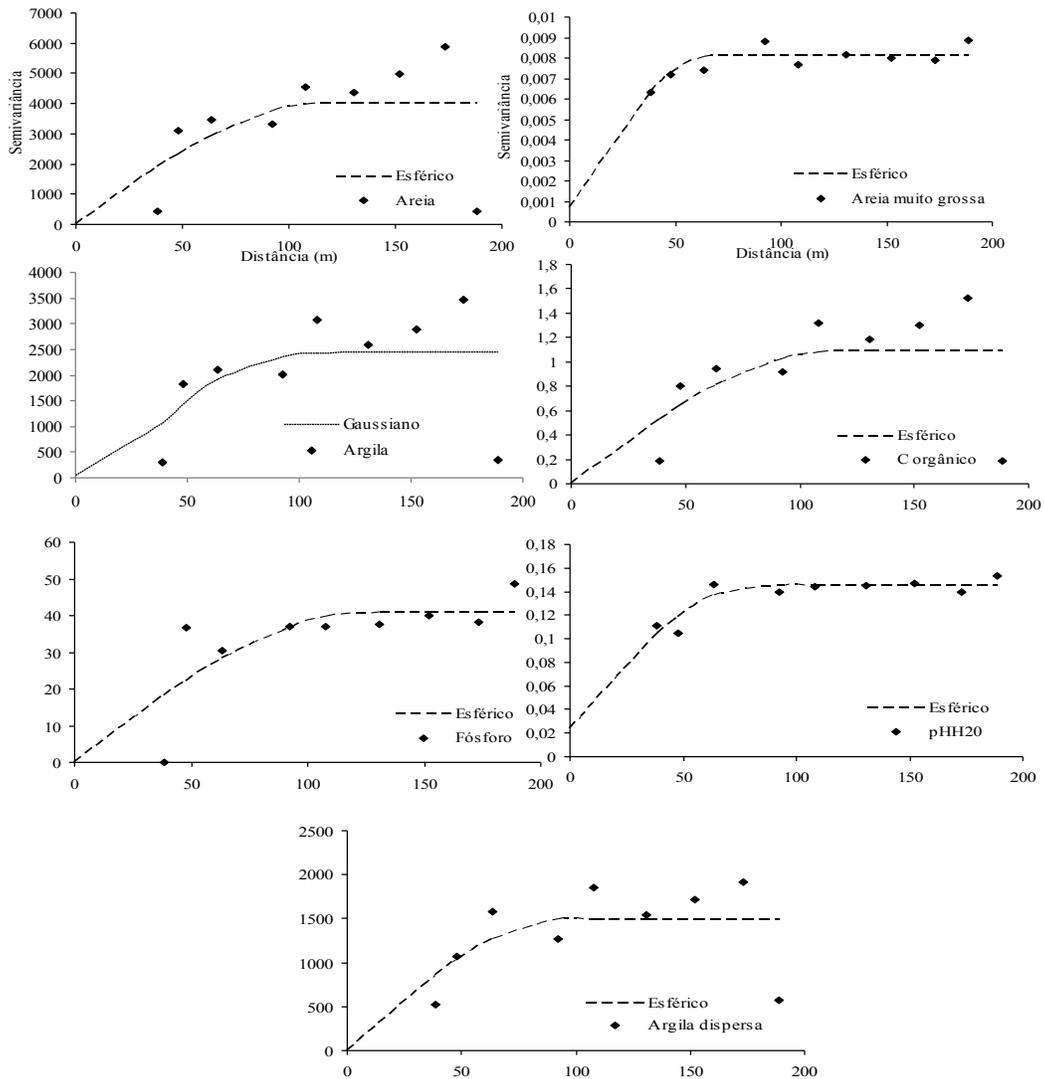
• Semivariogramas das variáveis analisadas na profundidade de 20-40 cm



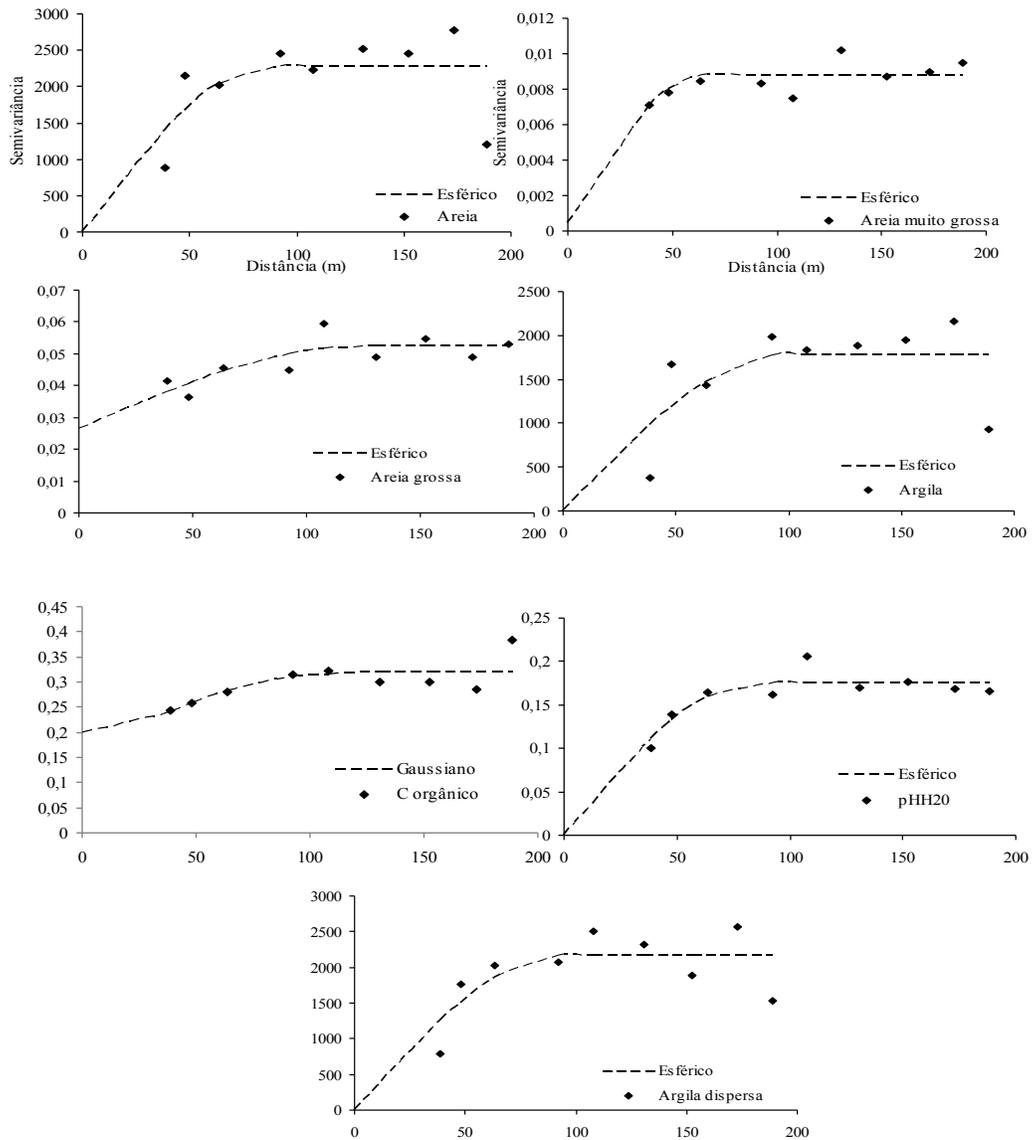
• Semivariogramas das variáveis analisadas na profundidade de 40-60 cm



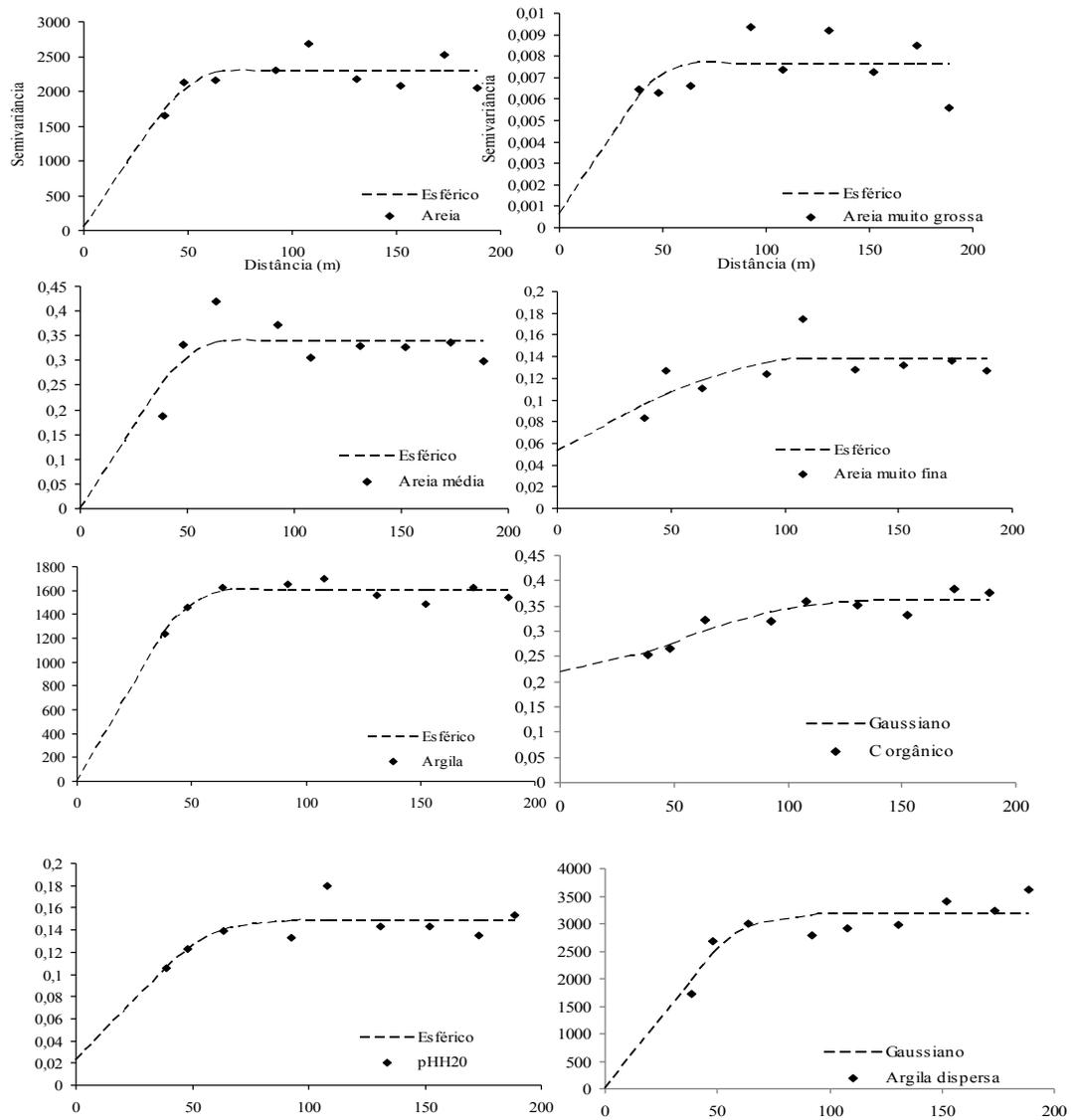
• Semivariogramas das variáveis analisadas na profundidade de 60-80 cm



• Semivariogramas das variáveis analisadas na profundidade de 80-100 cm



• Semivariogramas das variáveis analisadas na profundidade de 100-120 cm



• Semivariogramas das variáveis analisadas na profundidade de 120-140 cm

