



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

DANIEL PONTES DE OLIVEIRA

GÊNESE DE CAMBISSOLOS DESENVOLVIDOS DE ROCHA CALCÁRIA NA
CHAPADA DO APODI-CE

FORTALEZA

2012

DANIEL PONTES DE OLIVEIRA

GÊNESE DE CAMBISSOLOS DESENVOLVIDOS DE ROCHA CALCÁRIA NA
CHAPADA DO APODI-CE

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia-Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Osório Ferreira

FORTALEZA

2011

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

-
- O46g Oliveira, Daniel Pontes de.
Gênese de cambissolos desenvolvidos de rocha calcária na Chapada do Apodi - CE / Daniel Pontes de Oliveira. – 2012.
103 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – 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, 2012.
Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.
Orientação: Prof. Dr. Tiago Osório Ferreira.
1. Calcário. 2. Estrutura do solo. 3. Mineralogia do solo. 4. Solos – Análise. I. Título.

DANIEL PONTES DE OLIVEIRA

GÊNESE DE CAMBISSOLOS DESENVOLVIDOS DE ROCHA CALCÁRIA NA
CHAPADA DO APODI-CE

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia-Solos e Nutrição Plantas da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Aprovada em: 27/ 04 /2012

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Tiago Osório Ferreira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

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

Prof. Dr. Valdomiro Severino de Souza Júnior
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por tudo.

Aos meus pais, Francisco Antônio e Francisca Antônia, por todo o apoio, amor e carinho concedido durante os momentos felizes e difíceis da minha trajetória.

À minha namorada, Girlaine Martins, pelo carinho, amizade, incentivo, compreensão e paciência desde o ano de 2009.

Ao meu irmão (Davi) e sua esposa (Jéssica), pela amizade e incentivo.

Aproveito a oportunidade para agradecer o carinho e atenção que a família Martins, tem concedido a minha pessoa desde o ano de 2009, nos momentos felizes e difíceis.

Ao professor Tiago Osório Ferreira, pela excelente orientação durante o período de graduação e pós-graduação, e também pela paciência, respeito, amizade e confiança.

Sou muito grato também aos professores Ricardo Espíndola (UFC), Valdomiro Severino (UFRPE), primeiramente por terem participado deste projeto desde o princípio, tanto na parte de campo como em laboratório. E também por participarem da minha defesa de dissertação como membros da banca, dando valiosas colaborações e sugestões.

Aos professores Miguel Cooper (USP) e Marcelo Metri (UFRPE-UAG), pela amizade, suporte e sugestões no campo da micromorfologia e mineralogia respectivamente.

Aos amigos do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Solos e nutrição de Plantas da UFC, pela amizade e troca de informações durante o período do curso de mestrado. Dentre estes, algumas pessoas foram fundamentais, são eles: Gabriel Nuto, Priscilla Alves, Gislaine Marques, Isabel Cristina, Leo Jakson, Carol Araújo, Dimitri, Rafinha e Thales Pantaleão.

Aos amigos da FUNCEME, e funcionários do Departamento pelo auxílio em algumas análises de laboratório.

À Raimundo Mariano, professor do Departamento de Geologia (UFC) e Aílton Amorin, aluno de pós-graduação em Geologia, pela parceria com as sondagens geofísicas (GPR).

Aos professores Alejandro Ayala do Departamento de Física (UFC), Igor Vasconcelos do Departamento de Engenharia e Metalúrgica e de Materiais, pelo apoio com as análises térmicas e espectroscopia Mössbauer, respectivamente.

Ao Prof. Jaedson Mota (UFC), pela grande ajuda concedida nas análises de permeabilidade ao ar, que infelizmente não foram inseridas no presente trabalho.

À empresa Agrícola Famosa, na pessoa do Eng^o. Agrônomo Stélvio, pela conceção da área de pesquisa no município de Limoeiro do Norte, e pelo auxílio em algumas atividades de Campo.

Ao Programa Capes-Reuni, pela concessão da bolsa de mestrado no período de 24 meses.

Aos projetos Casadinho (CNPQ) e Procad (CAPES), pelos incentivos ao desenvolvimento científico no Brasil, através de intercâmbio de alunos e professores entre as instituições de ensino e pesquisa e pelo apoio financeiro, viabilizando desta forma a formação de recursos humanos.

Ao Banco do Nordeste do Brasil por ter concedido apoio financeiro para realização de parte do presente estudo.

A Universidade Federal do Ceará e ao Departamento de Ciências do Solo da referida instituição, pelo curso de mestrado e laboratórios para realização de análises químicas, físicas e mineralógicas.

Aos amigos que conheci ao longo do mestrado: Augusto Sacramento, Aílton Mascarenhas, José Filho, Ana Leônia, Rodrigo Girão, Juliana Matos e Emanuel Dias.

RESUMO

A Chapada do Apodi, localizada na região semiárida do Brasil, destaca-se por apresentar solos calcários eutróficos, relevo plano e de grandes empreendimentos agrícolas na região. No entanto, estudos que contemplem com maior riqueza de detalhes a gênese destes solos, são necessários, em função da variação de classes de solo encontradas na região. Aventa-se a hipótese que o microrelevo de superfície associado ao relevo de subsuperfície, condicionem o movimento diferenciado de soluções no solo, resultando em distintos ambientes de pedogênese. O objetivo do presente estudo foi avaliar a influência do microrrelevo de superfície e de subsuperfície na gênese dos solos da Chapada do Apodi. Em uma área de 102 ha amostras de solo foram coletadas e analisadas em relação as diferentes feições do microrrelevo (côncavo, convexo e retilíneo). Em todas as amostras de solo foram realizadas análises químicas, granulométricas e mineralógicas. Amostras de solo indeformadas foram coletadas nos horizontes diagnósticos para análises micromorfológicas. Com base nos dados da caracterização química, observa-se que os solos apresentam elevada saturação por bases, sendo caracterizados como eutróficos e com classe de reação de neutra a alcalina. As descrições morfológicas e os radargramas indicam que os solos situados na superfície côncava apresentam-se mais espessos, como resultado de uma intensa ação da água na formação do solo. Os óxidos do solo e a relação Ki indicam a presença de solos mais intemperizados na superfície côncava. As informações das descrições micromorfológicas indicam solos com menor pedalidade na superfície convexa, distinguindo-se dos solos da superfície côncava. Feições de carbonato de cálcio não foram identificadas na superfície côncava, no entanto, precipitações de calcita foram identificadas em solos situados na superfície retilínea, indicando desta forma ambientes distintos de pedogênese. A relação g/f indica um menor conteúdo de partículas grosseiras nos perfis 4 e 5. Os DRX evidenciam a presença de argilominerais expansíveis nas superfícies convexa e retilínea, e a dominância de caulinitas na superfície côncava. Quanto aos óxidos de ferro, observa-se que o ambiente favorece a presença de goethita nos solos, no entanto, ela coexiste com a hematita.

Palavras-chaves: Micromorfologia, Argilominerais, Solo

ABSTRACT

The Apodi Plateau, located in the semi arid region of Brazil, is characterized by, eutrophic soils calcareous and flat terrain large agricultural enterprises in the region. However, studies that address the genesis of these soils are required, in order to explain the variation of soil types found in the region. It is hypothesized that the surface microrelief associated with subsurface relief, determine the movement of water in the soil, resulting in different environments pedogenic. The aim of this study was to evaluate the influence of the microrelief surface and subsurface on the genesis from soils in the Apodi Plateau. An area of 102 ha was studied soil profile were collected and analysed microrelief features (concave, convex and plain). All soil samples were analysed chemical analysis, particle size and mineralogy. Undisturbed soil samples were collected from the diagnostic horizons for micromorphological analysis. Based on chemical data, soils were characterized by high base saturation, (eutrophic) and near neutral to alkaline reaction. The morphological description and radargrams indicate that the soil located on the concave surface are thicker, probably as a result of a high intensity of water soil formation. The soil oxides, the Ki ratio indicates the presence of soil more weathered on the concave surface. Micromorphological descriptions indicate soils with lower pedalidade in the convex surface Features of calcium carbonate precipitations were not identified in the concave surface, however, precipitation of calcite was identified in soil plain,surface, thus indicating a different environments pedogenesis. The ratio G / F indicates a lower contents of coarse particles in profiles 4 and 5. The XRD showed the presence of expandable clayminerals's in convex and plain terrain, and the dominance of kaolinite in the concave surface. As to iron oxides, it is noted that the environment favors goethite in however with a co-dominance hematite.

Key words: Micromorphology, Clay minerals, Soil

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Principais atributos morfológicos dos perfis 1 e 2, alocados na superfície convexa na Fazenda Agrícola Famosa Chapada do Apodi-CE.....	44
Tabela 2 -	Principais atributos morfológicos dos perfis 3 e 4, alocados na superfície retilínea na Fazenda Agrícola Famosa Chapada do Apodi-CE.....	45
Tabela 3 -	Principais atributos morfológicos dos perfis 5 e 6, alocados na superfície côncava na Fazenda Agrícola Famosa Chapada do Apodi-CE.....	46
Tabela 4 -	Caracterização química dos perfis 1, 2 e 3.....	48
Tabela 5 -	Caracterização química dos perfis 4,5 e 6.....	49
Tabela 6 -	Argila, silte, areia, dados de ataque sulfúrico e índice Ki.....	51
Tabela 7 -	Teores de ferro cristalino (Fed) e amorfo (Feo) determinados por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e oxalato, dos perfis 1, 2 e 3.....	53
Tabela 8 -	Teores de ferro cristalino (Fed) e amorfo (Feo) determinados por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e oxalato, dos perfis 4, 5 e 6.....	54
Tabela 9 -	Principais características micromorfológicas dos solos estudados.....	57
Tabela 10 -	Composição química de amostras de rocha calcária da Chapada do Apodi-CE.....	69
Tabela 11 -	Atributos morfológicos dos perfis de solos estudados na Chapada do Apodi-CE.....	88
Tabela 12 -	Conteúdo relativo de óxidos extraídos, índice Ki e conteúdo de caulinita de Cambissolos da Chapada do Apodi-CE.....	90
Tabela 13 -	Conteúdo de argila e teores de ferro cristalino (Fed), ferro de baixa cristalinidade (Feo) e sua relação Feo/Fed em Cambissolos da Chapada do Apodi-CE.....	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização da área de estudo e modelo de elevação digital com as coord indicando as diferentes superfícies do relevo de superfície.....	39
Figura 2 -	Estrutura para coleta de dados com GPR.....	40
Figura 3 -	Área preparada para coleta de dados com GPR.....	41
Figura 4 -	Aquisição de dados em campo com GPR.....	41
Figura 5 -	Atividade da fração argila ao longo da topossequência.....	52
Figura 6 -	Ferro livre versus teores de carbonato de cálcio.....	55
Figura 7 -	Fotomicrografias evidenciando a distribuição relativa e a microestrutura de horizontes Bi de Cambissolos derivados de calcário na Chapada do Apodi-CE. Fotomicrografias do lado esquerdo foram obtidas em luz plana; Fotomicrografias do lado direito obtidas em nicóis cruzados. Fotomicrografias A e B, referentes ao horizonte Bi1 do perfil 1 (superfície convexa); Micrografias C e D, referentes ao horizonte Bic1 do perfil 2 (superfície convexa); Fotomicrografias E e F, referentes ao horizontes Bic2 do perfil 3 (superfície retilínea).	59
Figura 8 -	Fotomicrografias evidenciando a distribuição relativa e a microestrutura de horizontes e poros de dissolução mineral em Bi de Cambissolos derivados de calcário na Chapada do Apodi-CE. Fotomicrocografias A e B referentes aos perfis 4 (superfície retilínea) e 5 (superfície côncava); Fotomicrografia C, evidenciando um poro de dissolução mineral.	60
Figura 9 -	Fotomicrografias evidenciando pedofeições amorfas de uma topossequência de solos da Chapada do Apodi-CE. Fotomicrografias A e B referente aos perfis 1 e 2 (superfície convexa); Fotomicrografia C e D referente ao perfil 3 (superfície retilínea); Fotomicrografias E e F (seta branca indicando recapeamento do nódulo) referente aos perfis 4 e 5 (superfície retilínea e côncava).....	62
Figura 10 -	Imagens de MEV, o núcleo do nódulo (A), feições de deposição de camadas (B), nódulo sem organização da matriz (C) e superfície externa do nódulo(D).....	63
Figura 11 -	Imagem de MEV-EDX de um nódulo ferruginoso, evidenciando sua composição química.....	64

Figura 12 - Imagem de MEV-EDX de um nódulo ferro-manganeso, evidenciando sua composição química.....	65
Figura 13 - Fotomicrografias evidenciando pedofeições carbonáticas, dissolução de CaCO ₃ , preenchimento solto contínuo, dissolução nódulos manganosos, precipitação de calcita. Fotomicrografias A e B, referentes ao perfil 1 (superfície convexa); Fotomicrografias C e D, referentes ao perfil 2 (superfície convexa); Fotomicrografias D, E e F (10x) referentes ao perfil 3 (superfície retilínea).....	67
Figura 14 - Fotomicrografias evidenciando pedofeições carbonáticas, preenchimento solto descontínuo e fábrica birrefringente. Fotomicrografias A e B, referentes ao perfil 3 (superfície retilínea) evidenciando nódulos carbonáticos; Fotomicrografias C, referentes ao perfil 3 (superfície retilínea) evidenciando preenchimento solto descontínuo; Fotomicrografias D (10x), referentes ao perfil 5 (superfície côncava) evidenciando fábrica birrefringente.....	68
Figura 15 - MED indicando o provável fluxo hídrico superficial (setas brancas) e a localização das seções GPR.....	65
Figura 16 - Radargrama da superfície convexa, evidenciando o perfil de solo e o contato com o saprólito.....	70
Figura 17 - Radargrama da superfície côncava, evidenciando o perfil de solo e o contato com o saprólito.....	71
Figura 18- Modelo de elevação digital com as coordenadas UTM, indicando o local da área de estudo e as diferentes superfícies de relevo.....	84
Figura 19 - DRX da fração argila desferrificada do perfil (Bick2) CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático Saprolítico gleissólico (Superfície retilínea.....	92
Figura 20 - DRX da fração argila desferrificada do perfil 2 (Bick3) CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático saprolítico (Superfície convexa).....	93
Figura 21 - DRX da fração argila desferrificada do perfil 3 (Bick2) de um CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático típico (Superfície retilínea).....	93
Figura 22 - DRX da fração argila desferrificada do perfil 4 (Bic2) de um CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático típico (Superfície retilínea).....	94
Figura 23 - DRX da fração argila desferrificada do perfil 5 (Bic2), de um CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico (Superfície côncava).....	95

Figura 24 - DRX da fração argila desferrificada do perfil 6 (Bic1), de um CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico (Superfície côncava).....	95
Figura 25 - DRX da fração argila de horizontes diagnósticos de Cambissolos na Chapada do Apodi-CE. Amostras tratadas com NaOH 5 mol L ⁻¹ fervente.....	99

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	Relevo como condicionante de fluxos hídricos e pedogênese	16
2.2	Geomorfologia e geologia da Chapada do Apodi	18
2.3	Gênese de solos calcários	20
2.3.1	<i>Solos calcários encontrados na Chapada do Apodi-CE</i>	21
2.4	Mineralogia de solos calcários	22
2.4.1	<i>Filossilicatos</i>	22
2.4.2	<i>Óxidos de Ferro</i>	23
2.5	Micromorfologia de solos calcários	24
	REFERÊNCIAS	27
3	GÊNESE DE SOLOS CALCÁRIOS SOB DIFERENTES SUPERFÍCIES DE RELEVO NA CHAPADA DO APODI-CE	34
3.1	Introdução	36
3.2	Material e Métodos	38
3.2.1	<i>Carcaterização da área</i>	38
3.2.2	<i>Etapas de campo</i>	39
3.2.2.1	Descrição de perfis de solos e coleta de amostras.....	39
3.2.2.2	GPR (Radar de Penetração).....	40
3.2.3	<i>Etapas de Laboratório</i>	42
3.2.3.1	Análises físicas e químicas do solo.....	42
3.2.3.2	Impregnação de amostras, preparo de lâminas delgadas e análises.....	43
3.2.3.3	Análise química do material calcário.....	43
3.3	Resultados e discussão	44
3.3.1	<i>Atributos morfológicos e químicos</i>	44
3.3.2	<i>Micromorfologia de solos calcários da Chapada do Apodi-CE</i>	55
3.3.3	<i>Material de origem e relevo de superfície e subsuperfície</i>	68
3.4	Conclusões	73
	REFERÊNCIAS	74
4	MINERALOGIA DE SOLOS DERIVADOS DE CALCÁRIO NA CHAPADA DO APODI-CE	79
4.1	Introdução	81
4.2	Material e métodos	83

4.2.1	<i>Caracterização da área de estudo</i>	83
4.2.2	<i>Etapas de Campo</i>	83
4.2.2.1	Descrição de perfis e coleta de amostras.....	83
4.2.2.2	Análises de laboratório.....	85
4.2.2.2.1	Análises mineralógicas qualitativas e semi-quantitativas.....	85
4.3	Resultados e discussão	87
4.3.1	<i>Pedoformas, atributos morfológicos e óxidos do solo</i>	87
4.3.2	<i>Mineralogia de fração argila desferrificada</i>	91
4.3.3	<i>Óxidos de ferro</i>	97
4.4	Conclusões	101
	REFERÊNCIAS	102

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, em função da sua extensão territorial, apresenta uma ampla diversidade climática, condições de relevo e de biodiversidade que, em conjunto com os outros fatores de formação do solo (material de origem e tempo), resultam em vários ambientes de pedogênese.

A região Nordeste do Brasil, caracterizada socioeconomicamente como uma das menos favorecidas do país, apresenta um dos mais baixos índices de desenvolvimento social e econômico. Além disto, a região apresenta, em sua maior extensão, condições de clima e solo que desfavorecem o desenvolvimento da agricultura, principalmente o das culturas perenes, como a presença de solos rasos com incipiente desenvolvimento.

A Chapada do Apodi, localizada na divisa entre os estados do Ceará e Rio Grande do Norte e inserida no polígono das secas, apresenta-se como um ambiente distinto, do ponto de vista topográfico e pedogenético. O relevo regional caracteriza-se como plano, favorecendo a instalação de perímetros irrigados e mecanização das áreas. Os solos, por serem derivados de rochas calcárias, caracterizam-se como eutróficos encontrando-se aí principalmente Cambissolos e Latossolos. Em função destas características, há mais de uma década a região vem despertando o interesse de investidores nacionais e internacionais, especialmente aqueles associados à agricultura.

Sendo assim, é de fundamental importância o desenvolvimento de pesquisas em todas vertentes que objetivem dar suporte aos empreendimentos agrícolas daquela região. Portanto, estudos detalhados que vislumbrem a gênese dos solos da Chapada são de grande importância, não só para os empreendedores do agronegócio, como também para os estudiosos do solo.

Tais estudos são necessários porque na Chapada ocorrem solos de mesma classe taxonômica, no entanto, com características físicas, químicas e mineralógicas diferenciadas em condições de relevo plano. Provavelmente esta alta variabilidade esteja associada a pequenas oscilações do microrelevo e, de fato, alguns estudos têm demonstrado que pequenas variações altimétricas contribuem substancialmente nas características dos solos (SOUZA *et al.*, 2004; SANCHEZ *et al.*, 2005). Assim como, a existência de fraturas no material de origem, proporcionando melhores condições de drenagem e intemperismo.(ALENCAR, 2002)

Sendo assim, aventa-se a hipótese que o microrrelevo de superfície associado ao relevo de subsuperfície, condicionem de forma diferenciada o movimento de soluções, desta forma originando solos com características físicas, químicas e mineralógicas distintas e marcados por processos pedogenéticos com diferentes graus de intensidade.

O presente trabalho objetiva avaliar a influência do microrrelevo e relevo de subsuperfície nos processos pedogenéticos através de atributos químicos, macro e micromorfológicos e mineralógicos em Cambissolos derivados de calcário na Chapada do Apodi-CE.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Relevo como condicionante de fluxos hídricos e pedogênese

As formas de relevo são expressões topográficas variadas de feições de terreno em visão tridimensional. Sendo assim, o relevo representa as diferenças altimétricas entre um ponto e outro da superfície terrestre. Do ponto de vista geomorfológico, o relevo destaca-se como um termo descritivo sujeito a explicação e interpretação. Em termos edafológicos as formas de relevo caracterizam os atributos de forma, tanto do exterior, como da superfície do corpo do solo (RANZANI; FRANÇA, 1968).

De acordo com Brady e Weil (2008), o relevo relaciona a configuração da superfície da terra e a descreve em termos de diferenças na elevação, declive e posição na paisagem.

As distintas formas da superfície terrestre, expressas pelo relevo em várias escalas, são capazes de provocar variações nos atributos do solo em magnitudes diferenciadas, dependentes principalmente de um local específico da paisagem (SCHOORL *et al.*, 2000).

Neste sentido, Vidal-Torrado e Lepsch (1993), estudando os compartimentos do relevo, sugerem um modelo em que o movimento de soluções no topo das vertentes se dá preferencialmente na vertical, mas, a partir da meia enconsta este movimento passa a ser misto, ou seja, tanto vertical como lateral. Este tipo de movimento seria segundo estes autores, o responsável pela formação de horizontes Bt a partir de Bw: com o fluxo hídrico lateral nos horizontes superficiais as ligações ferro-argila se romperiam, resultando na dispersão e migração vertical de colóides favorecendo uma nova agregação do horizontes Bw, passando de granular muito pequena para blocos subangulares média a grande, típica do Bt. Sendo assim, o relevo condicionaria a presença de classes de solos distintas ao longo da vertente.

De acordo com Troeh (1965), que procurou estudar os compartimentos do relevo numa visão mais restrita, as pedoformas podem variar desde as lineares até as côncavas, passando pelas convexas. Este autor associa a inclinação do terreno e sua curvatura com o grau de intemperismo e evolução dos solos. Sendo assim, estas feições influenciariam os movimentos de soluções, favorecendo ora fluxos convergentes e ora divergentes e que conseqüentemente resultariam em variações nas características dos solos.

Souza *et al.* (2004) estudando os atributos físicos de um Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar, no município de Guariba (SP), observaram que a identificação de compartimentos da paisagem na área de estudo mostrou-se muito eficiente na compreensão das causas da variabilidade espacial dos atributos estudados e que pequenas variações nas formas de relevo condicionaram variabilidade diferenciada dos atributos físicos do solo.

Segundo Camargo *et al.* (2008), a mineralogia dos solos é resultante da ação combinada dos processos e dos fatores de formação, sendo o relevo um dos fatores condicionador de teores e cristalinidade dos minerais da fração argila. Os autores observaram que os atributos cristalográficos dos minerais da fração argila, em solos sob diferentes formas de relevo, apresentam dependência espacial, sendo influenciados pela curvatura da superfície do terreno.

Leão (2004) verificou que o padrão de variação do relevo influenciou os atributos do solo e afetou também a variabilidade espacial da qualidade de frutas em áreas cultivadas com citros. Oliveira Júnior *et al.* (2010), estudando formas de relevo, observaram que em certos compartimentos do relevo havia a formação de microrrelevos e que estes se apresentavam através de formas côncavas e convexas com drenagem diferenciadas. Nas porções côncavas foi observado um maior acúmulo de carbono orgânico, segundo os autores, tal fato está associado a uma maior umidade nesta porção do terreno.

A configuração superficial do relevo como se tem observado influência bastante as características físicas, químicas e mineralógicas do solo (TROEH, 1965, SOUZA *et al.*, 2004, LEÃO, 2004, CAMARGO *et al.*, 2008, OLIVEIRA JUNIOR, *et al.*, 2010), porém, observar o comportamento do relevo de subsuperfície é também importante, desta forma Dantas *et al.* (1998), caracterizando solos na região do Sub-Médio São Francisco, em áreas irrigadas e não irrigadas, observaram que os solos situados na subárea irrigada apresentavam horizontes cimentados, enquanto os situados na outra porção do terreno não apresentavam esta característica. Segundo os autores, tais diferenças morfológicas são resultado da ação conjugada dos fluxos hídricos em superfície e subsuperfície.

A influência do relevo de subsuperfície também foi observada por Fioerete *et al.* (1988, apud Bellanca *et al.* 1996), ao constatarem que a presença de solos com textura argilosa, estavam associados à regiões onde o material de origem (rocha calcária) apresentava-se fraturado.

Segundo Alencar (2002), a homogeneidade fisiográfica do topo da Chapada do Apodi e as diferenças no grau de evolução dos solos da área e dos perfis estudados, parecem ser ditadas pela composição mineralógica da rocha, presença de fraturas nesta e profundidade

da mesma em relação à superfície do solo, condicionando diferenças de drenagem e, conseqüentemente, perdas desiguais de bases e sílica do sistema.

Estudos recentes realizados por Oliveira (2009) em solos da Chapada do Apodi mostraram que o padrão de desenvolvimento superficial do relevo acompanhou o padrão de desenvolvimento do relevo de subsuperfície, resultando em solos de mesma classe, no entanto, com características diferenciadas quanto a profundidade, textura, espessura do horizonte Bi e presença de carbonato de cálcio. O autor concluiu que o microrrelevo de superfície, associado ao relevo de subsuperfície, influenciaram a dinâmica hídrica local, contribuindo para o desenvolvimento dos solos da área de estudo.

2.2 Geomorfologia e geologia da Chapada do Apodi

Reconhecem-se na arquitetura dos continentes quatro grandes tipos de massas rochosas: os terrenos de consolidação antigos; as bacias sedimentares deformadas por dobramentos; as áreas de sedimentação modernas e as bacias sedimentares pouco deformadas (AB'SABER, 1975).

As bacias sedimentares pouco deformadas são chamadas intracratônicas pelo fato de estarem situadas nos escudos, constituindo áreas preferenciais para a formação dos planaltos típicos. Ao sofrerem soerguimento por movimentação de origem interna, tais bacias tomaram forma de planaltos, que podem ser tabuliformes no centro das antigas áreas de sedimentação e cuestiformes nos bordos da bacia (AB'SABER, 1975).

Neste contexto, a bacia Potiguar, que caracteriza-se por ser uma bacia sedimentar, distribui-se em sua maior parte no Estado do Rio Grande do Norte e parcialmente no Estado do Ceará. Geologicamente, é limitada a sul, leste e oeste pelo embasamento cristalino, estendendo-se a bacia marinha para norte até a isóbata de 2.000 m. O alto de Fortaleza define seu limite oeste com a Bacia do Ceará, enquanto que o Alto de Touros define seu limite leste (PESSOA NETO *et al.*, 2007).. A bacia abrange uma área de aproximadamente 48.000 km² sendo que 21.500 km² (45%) encontram-se emersos e 26.500 km² (55%) submersos (PESSOA NETO *et al.*, 2007).

A formação desta bacia está vinculada à gênese do rifte cretáceo potiguar. Este por sua vez, foi formado em conseqüência do regime divergente que iniciou a ruptura entre os continentes Africano e o Sulamericano (MAIA *et al.*, 2006).

Dentre as formas de relevo existentes na bacia supracitada, destaca-se a Chapada do Apodi que é caracterizada pelo seu relevo plano que contrasta com o encontrado

normalmente na depressão sertaneja, na qual se apresenta de ondulado a forte ondulado. A Chapada é uma forma de relevo com altitude intermediárias, variando de 80 à 150 m (PEULVAST; SALES, 2004). Na face voltada para o estado do Ceará localiza-se uma cuesta, enquanto na direção do estado do Rio Grande do Norte esta desce com uma inclinação suave (SALES; PEULVAST, 2007). Geomorfologicamente, a Chapada do Apodi se enquadra na unidade de “Cuestas e Chapadas”. (Souza et al. 1979).

Sua extensa superfície, com uma área total de 2.146,00 km², no que se refere à porção de terras sob os domínios do estado do Ceará, totalizando 1,45 % do estado (SOUZA, et al. 1979), apresenta-se escarpada na porção ocidental, e suavemente inclinada na direção norte e noroeste. Caracteriza-se por uma superfície plana e sem qualquer indício dos processos de dissecação do relevo, o que se deve à permeabilidade apresentada pelos terrenos calcários e areníticos, (BEURLIN, 1967; SOUZA *et al.*, 1979; ERNESTO SOBRINHO, 1980; GATO, 1999).

A Chapada é dominada na parte superior por calcários da Formação Jandaíra e caracteriza-se em alguns pontos por apresentar superfície de carstificação (CASSAB, 2003) Segundo Drew (1985 apud Oliveira 2001), o termo carste é utilizado para designar paisagens criadas a partir dos processos de dissolução de rochas calcárias. A palavra “karst” é uma versão germanizada da palavra indo-européia “Kar”, que significa “rochosa” ou solo pedregoso. As características diagnósticas de um processo de carstificação são as seguintes: falta de uma rede de drenagem superficial; desorganização, fragmentação da drenagem; feições em pequena e grande escala originadas pela dissolução; processos morfológicos e hidrogeológicos subterrâneos, presença de uma rocha pura altamente solúvel e pluviosidade suficiente para permitir que o processo de dissolução predomine.

Segundo Christofolletti (1974) o relevo cárstico é um tipo de modelado usado para designar as áreas calcárias ou dolomíticas que possuem topografia característica, oriunda da dissolução de tais rochas. Tem como principal aspecto a presença de drenagem de sentido predominantemente vertical e subterrânea, resultando em completa ausência de cursos de águas superficiais.

A formação Jandaíra é uma seqüência de sedimentação carbonática, de idade eoturoniana-eocampaniana, que se caracteriza pela predominância de carbonatos marinhos, de águas rasas e agitadas (TIBANA; TERRA, 1981), a porção central da bacia, é composta por litofácies dolomíticas, para oeste desta região, a formação Jandaíra é composta por calcários creme-claros a esbranquiçados, sendo este em parte margoso.(SAMPAIO; SCHALLER, 1968). Segundo Cassab (2003) esta formação é composta por calcarenitos e calcilutitos

bioclásticos, cujas cores variam do cinza claro ao amarelado com um nível evaporítico na base.

A formação acima citada apresenta espessura média de 250 à 300 m, podendo chegar à 500 m em alguns pontos, a base desta unidade esta sobreposta em contato gradacional com os sedimentos da formação Açú (SAMPAIO; SCHALLER, 1968).

A formação Açú é composta por camadas espessas de arenitos finos a grossos, esbranquiçados, intercalados com folhelhos, argilitos e siltitos, especialmente em direção ao topo. A entrada no mar da bacia é marcada pela presença de um arenito calcífero, sendo considerado estratigraficamente como a parte superior da formação Açú (CASSAB, 2003). Sua espessura na porção cearense oscila em torno de 70 m, aumentando gradativamente em direção à costa (GATTO, 1999). Em sondagens realizadas em alguns poços no Rio Grande do Norte foram detectadas espessuras superiores à 500 m de profundidade (SAMPAIO; SCHALLER, 1968).

2.3 Gênese de solos calcários

Solos calcários são pedoambientes que geralmente apresentam cor avermelhada (variando de vermelho a vermelho-amarelado, 2,5YR a 5YR) com textura variando de argilosa a silto-argilosa. A cor vermelha intensa é o resultado da intensa rubificação e formação de óxidos de ferro. São amplamente distribuídos em regiões que apresentam clima mediterrâneo, apresentando como substrato rochoso calcário calcítico e dolomítico. São solos que sempre ocorrem em locais bem drenados (MERINO; BANERJEE, 2008; MIKO *et al.*, 1999; YASSOGLOU *et al.*, 1997), podendo ser autóctones ou alóctones (COLOMBO; TORRENT, 1991)

O léxico de terminologias cársticas (US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2002), oferece duas definições para o termo Terra Rossa (TR): Solo apresentando cor marrom-avermelhada, sobre manto rochoso de calcário que pode ser residual ; Resíduo insolúvel de cor marrom-avermelhado, resultante do intemperismo de rochas carbonáticas em condições de clima mediterrâneo.

Para Merino e Banerjee (2008), as TR são o produto de interações entre a rocha matriz e aerotranportados de Si, Al e Fe. Sendo assim, a formação da TR é um ativo processo de formação em uma superfície cárstica.

Os solos TR são usualmente pouco profundos e frequentemente descontínuos sobre rochas carbonáticas (BOERO; SCHWERTMANN, 1989) que têm como característica marcante a cor vermelha intensa, devido à hematita, cuja formação reflete um pedoambiente com baixa atividade de água, altas temperaturas, boa aeração e alta ciclagem de matéria orgânica (SCHWERTMANN *et al.*, 1988b).

Segundo Bellanca *et al.*, (1996), a gênese destes solos ainda é uma questão controversa, e existem algumas possíveis hipóteses para sua formação. Segundo os autores estes solos podem ser o resultado de uma intensa intemperização de rochas carbonáticas em climas tropical e subtropical ou ainda um importante produto de contribuições eólicas. A primeira teoria é fortemente aceita por uma gama de autores, apesar de haver outra vertente que discorde (DURN *et al.*, 1999).

Estudos recentes indicam ainda que variações microtopográficas na superfície do terreno têm contribuído substancialmente para alterações nas propriedades químicas físicas e mineralógicas dos solos, refletindo em uma pedogênese condicionada as diferentes formas de relevo (CAMARGO *et al.*, 2008; LEÃO, 2004; OLIVEIRA *et al.*, 2009).

2.3.1 Solos calcários encontrados na Chapada do Apodi-CE

A Chapada do Apodi apresenta predominância de solos com caráter eutrófico sendo as classes dos Cambissolos e Latossolos as mais representativas (BRASIL, 1973).

Os solos, todos eutróficos e argilosos ou franco argilosos, se dispõem na paisagem segundo o que parece ser, à primeira vista, uma hidrossequência muito sutilmente controlada pelo relevo.(LEMOS *et al.*, 1997). A cor dos solos e os afloramentos de rocha, mais do que marcos topográficos, ajudam a identificar os solos no campo. Cambissolos, Rendzinas e Vertissolos e seus intermediários ocupam, nesta ordem de ocorrência, a paisagem geral. Os solos intermediários para Latossolos podem ocorrer em pequenas áreas, onde supostamente o lençol freático favoreceu melhores condições de drenagem (ERNESTO SOBRINHO, 1980).

Em estudos realizados no município de Limoeiro do Norte, especificamente na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) do CENTEC (Centro de Ensino Tecnológico), foram identificadas as seguintes classes de solo: Cambissolo Háptico Tb Eutrófico latossóico, Latossolo Vermelho Eutrófico câmbico e Argissolo Vermelho Eutrófico latossólico (ALENCAR, 2002).

Mota *et al.* (2007) estudando solos desenvolvidos do mesmo material de origem, porém, no pólo agrícola de Mossoró encontraram classes de solo semelhantes às classes

citadas anteriormente, sendo elas: Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico, Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico argissólico, Argissolo Vermelho distrófico arênico.

2.4 Mineralogia de solos calcários

2.4.1 *Filossilicatos*

Há muito tempo é reconhecido que os argilominerais influenciam fortemente as propriedades físicas e químicas dos solos e, conseqüentemente, questões relacionadas à origem, distribuição e formação destes minerais têm assumido relevância em pesquisas de solos (WILSON, 1999).

Em regiões áridas e semiáridas, os argilominerais que dominam a assembléia mineralógica são os seguintes: paligorsquita, esmectita, clorita, illita, caulinita e vermiculita (KHORMALI; ABTAHI, 2003). De fato, estudos realizados por Owliaie et al. (2006) em condições de clima árido no sudoeste do Iran em locais que apresentavam material de origem composto por calcário e gipsita, constataram na fração argila os minerais, paligorsquita, clorita, illita, esmectita, quartzo e minerais interestratificados como constiuintes dominantes das amostras de solo.

Yassoglou *et al.* (1997) estudando os solos vermelhos derivados do calcário na Grécia, identificaram através de DRX a presença dominante de caulinita e minerais expansíveis. No entanto os mesmos enfatizam que em muitos outros casos esse minerais não são dominantes.

Em estudos realizados em solos no norte de Minas Gerais, região que apresenta inverno seco e verão chuvoso com uma precipitação média de 800 mm ano⁻¹ e substrato rochoso composto por calcário do grupo Bambuí, verificou-se através da DRX que os solos apresentaram assembléia mineralógica composta por caulinita e argilominerais 2:1, mesmo naqueles solos com morfologia latossólica (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

Lemos *et al.* (1997), analisando uma topossequência de Cambissolos (eutróficos e vérticos) derivados do calcário Jandaíra no estado do Rio Grande do Norte, observou na fração argila a presença de mica, caulinita, óxidos de ferro e anatásio em ambos os solos. No Cambissolo Eutrófico foram identificadas a mica-vermiculita interestratificada e óxidos de ferro, enquanto a esmectita mostrou-se presente no Cambissolo vértico.

Estudos recentes, desenvolvidos em três distintas classes de solo (Cambissolo, Latossolo e Argissolo) na região da Chapada do Apodi nos estados do Rio Grande do Norte e

Ceará, observou-se que a assembléia mineralógica da fração argila destes solos era essencialmente constituída por caulinita, contrastando com as condições climáticas atuais (MOTA *et al.*, 2007; ALENCAR, 2002).

2.4.2 Óxidos de Ferro

Os óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos de ferro, ou simplesmente óxidos de Fe compreendem um grupo de minerais que tem recebido atenção crescente da comunidade científica nacional e internacional nos últimos 50 anos. O estudo dos óxidos de ferro é de caráter multidisciplinar, visto que em diferentes áreas do conhecimento aparecem estes minerais (COSTA; BIGHAM, 2009).

Os estudos de óxidos de ferro na pedosfera relacionam-se intimamente com a fertilidade, poluição ambiental e taxonomia dos solos. Quanto à fertilidade dos solos, quando encontrado em proporções consideráveis a fixação de alguns nutrientes, como a do íon fosfato, é notadamente maior sendo assim, este íon tende a ocorrer em formas menos lábeis, comparativamente com solos cauliníticos e gibisíticos (FERREIRA *et al.*, 2003).

Quanto à questão ambiental, estudos afirmam que não só os óxidos de ferro como também os óxidos de manganês apresentam uma alta sorção de metais pesados (SUAREZ; LANGMUIR, 1976). Do ponto de vista taxonômico, a antiga classificação de solos brasileiros (CAMARGO *et al.*, 1987), utilizava os teores de óxidos de ferro, no extrato sulfúrico, para distinguir classes de solos, como exemplo um Latossolo Roxo (180 a 400 g kg⁻¹ de Fe₂O₃) de um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso (até 180 g kg⁻¹ de Fe₂O₃).

No atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2006), o teor de óxidos de ferro determinado no extrato sulfúrico é utilizado para a diferenciação de classes de solo da seguinte forma: hipoférrico (Fe₂O₃ < 80 g kg⁻¹), mesoférrico (80 ≤ Fe₂O₃ < 180 g kg⁻¹), férrico (180 ≤ Fe₂O₃ < 360 g kg⁻¹) e perférrico (Fe₂O₃ ≥ 360 g kg⁻¹).

Segundo In da Junior e Kämpf (2003), os óxidos de ferro podem ser cristalinos (hematita e maghemita), de baixa cristalinidade (goethita) e não cristalinos, como por exemplo, a ferridrita.

Os óxidos de ferro são minerais que apresentam um importante papel na agregação dos solos (SCHWERTMANN, 1988a). Segundo Boeiro *et al.* (1992) a presença de hematita em regiões de Terra Rossa é devida a uma intensa intemperização do material mineral sob clima tropical e subtropical. Sendo este mineral, juntamente com a goethita os

óxidos de ferro cristalino mais encontrado em solos derivados de calcário no sudoeste da Itália (COLOMBO; TORRENT, 1991).

Para que haja formação da hematita, mineral característico de solos Terra Rossa, algumas condições tornam-se necessárias, como pedoambientes que sejam caracterizados por alta permeabilidade e o mesmo deve apresentar uma reação próximo da neutralidade, condições encontradas principalmente em solos derivados de calcário (BOERO; SCHWERTMANN, 1989). Além de outras características como baixa atividade de água, alta temperatura, boa aeração e uma alta decomposição da matéria orgânica (SCHWERTMANN, 1988b), típicas de clima semiárido.

Oliveira *et al.* (1998), estudando solos calcários no norte de Minas Gerais encontraram em Latossolos situados em locais de relevo plano a suaveondulado, o predomínio de hematita. Os autores associaram tal resultado às condições de pH elevado e também ao ambiente bem drenado, que favorece a síntese deste mineral, como já observado em estudos pretéritos (SCHWERTMANN, 1988b; BOERO; SCHWERTMANN, 1989). Os autores também encontraram solos com predomínio de goethita em detrimento da hematita na mesma paisagem. Neste caso, a presença deste óxido estaria associada a problemas de drenagem no perfil e à presença do material de origem a menores profundidades.

Na Chapada do Apodi foram observadas altas concentrações de goethita no material rochoso amarelado (horizonte C/R). Os altos teores de deste óxido nos solos bem drenados e no material de origem, descartam a hipótese de enriquecimento de Fe_2O_3 por outras formações (ERNESTO SOBRINHO, 1979).

Segundo Kämpf & Curi (2000), os óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio, são importantes indicadores pedogenéticos por terem sua formação influenciada pelas condições do ambiente e por persistirem por longos períodos no solo. Neste sentido Montanari *et al.* (2010) em Jaboticabal –SP, realizando estudos em diferentes compartimentos do relevo, observaram que na pedoforma convexa encontraram os solos apresentavam matiz 5YR, enquanto nos demais perfis o matiz apresentado foi de 2,5 YR característico de forte influência da hematita, indicando a influência da pedoforma na dinâmica de água.

2.5 Micromorfologia de solos calcários

A micromorfologia é uma técnica que estuda a microfábrica dos solos, em seu arranjo natural. A fábrica dos solos pode ser definida como a constituição física do

material do solo expressa pela organização espacial das partículas sólidas e dos poros associados (WILDING; FLACH, 1985 apud VEPRASKAS; WILSON, 2008)

Conforme Souza *et al.* (2006), a micromorfologia é uma técnica de grande importância para os estudos de gênese de solo e também para avaliação do impacto das diversas práticas agrícolas. Segundo Castro *et al.* (2003), através do uso desta técnica, associada ao processamento digital de análise de imagens, é possível a obtenção de informações de porosidade e permeabilidade, além da visualização das alterações estruturais causadas pela compactação e adensamento.

A análise micromorfológica complementa as descrições dos perfis realizadas no campo, gerando informações relativas ao grau de evolução dos solos, de compactação do solo como resultado da desagregação das partículas (OLIVEIRA *et al.*, 2000) e, principalmente gênese.

Em se tratando do estudo de solos mediterrâneos, segundo Fedoroff (1997), a micromorfologia de solos é indubitavelmente a ferramenta mais apropriada para a identificação de revestimentos de argilas, como também a morfologia e a composição destas feições que podem ser investigadas somente com o auxílio do microscópio.

Khormali *et al.* (2006) estudando solos derivados de calcário no sudeste do Irã, observaram que no geral a microestrutura dos solos estudados é composta por blocos subangulares, enquanto o material grosseiro consiste principalmente de grãos de quartzo, feldspato e fragmentos de calcário. Ainda segundo os mesmos autores, as feições de calcita são as mais importantes pedofeições estudadas em todos os solos, especialmente os nódulos de calcita microcristalina que são amplamente distribuídas.

Oliveira *et al.* (2000), estudando Cambissolos Ta desenvolvidos de calcário, observaram que uma das características marcantes destes solos é a presença de grande quantidade de concreções e nódulos ferromanganosos, com diâmetros variando de 0,1 a 5 mm, argilãs de deposição, forte birrefringência, no horizonte diagnóstico e nódulos carbonáticos com diâmetros variando de 0,05 e 10 mm, no horizonte com características vérticas.

Pesquisas recentes (PRESLEY *et al.* 2004) realizadas no semiárido do Kansas, em áreas com relevo de topografia plana contrastando solos irrigados e não irrigados (com presença de carcarbonato de cálcio secundário em subsuperfície), constatam, altas proporções de argila orientada e fábrica birrefringente e aumento no conteúdo de argila nos solos submetidos a irrigação. Segundo os autores, a presença de fábrica birrefringente e argila orientada, não necessariamente são indicativos de processos de iluviação nos perfis irrigados.

No entanto, a relação argila fina/argila total é um indicativo de iluviação dentro do perfil, o que foi observado nos perfis estudados. Outra explicação para o maior conteúdo de argila em subsuperfície, seria a intemperização de minerais como a biotita formando filossilicatos.

Em estudos realizados por Pal *et al.* (2003) em solos desenvolvidos de calcário, localizados na Índia, especificamente na planície Indo-Gangetic, observou-se que mesmo na presença de carbonato de cálcio (CaCO_3), que poderia inibir a presença da iluviação em função da ação flocculante do cálcio, ocorreu o processo de iluviação resultando em pedofeições de argila impura, em função da orientação prejudicada das plaquetas.

REFERÊNCIAS

- AB ‘ SABER, A. N. **Formas de relevo**. Texto básico. São Paulo. EDART. 1975.
- ALENCAR, E. L. L. **Química e mineralogia de três pedons originários de calcário da Chapada do Apodi – CE**. 2002. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.
- BELLANCA, A.; HAUSER, S.; NERI, R.; PALUMBO, B. Mineralogy and geochemistry of Terra Rossa soils, western Sicily: insights into heavy metal fractionation and mobility. **The Science of the Total Environment**, n.193, p. 56 – 57, 1996.
- BEURLIN, K. **Geologia da região de Mossoró**. Rio de Janeiro: Nobel, 1967. 173p.
- BOERO, V.; SCHWERTMANN, U. Iron oxide mineralogy of Terra Rossa and its genetics. **Geoderma**, v.44,p. 319-327, 1989.
- BRADY, N. C & WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14. th. Virgínia: Prentice Hall, 2088, 969 p.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. LEVANTAMENTO EXPLORATÓRIO RECONHECIMENTO DE SOLOS DO ESTADO DO CEARÁ**. Vol. 1. RECIFE. 297p, 1973.
- BULLOCK, P.; FEDEROFF, N.; JONGERIUS, A., STOOPS, G.; TURSINA, T.; BABEL, U. **Handbook for Soil Thin Section Description**. Waine research Publications, Wolverhampton, UK. 1985.
- CAMARGO, L. A. *et al.* Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um Latossolo sob diferentes formas do relevo. **Rev. Bras. de Ci. Solo**, v. 32, p. 2269-2277, 2008.
- CASSAB, R. C. T. **Paleontologia da formação Jandaíra, cretáceo superior da bacia Potiguar, com ênfase na paleobiologia dos gastrópodos**.2003, 184f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- CASTRO, S. S. de.; COOPER, M.; SANTOS, M. C.; VIDAL-TORRADO, P. Micromorfologia do solo: bases e aplicações. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M. de.; LOPES, A. S.; ALVAREZ VENEGAS, V.H. (Ed). **Tópicos em Ciências do Solo**.v.3, p.107 – 164, 430p, 2003.
- CEARÁ**. Comissão de Planejamento Agrícola. Projeto de desenvolvimento rural integrado do Ceará -Situação Geográfica, Recursos Humanos e Recursos Naturais. Fortaleza: CEPA, v.1, n.32, 272 p, 1980.
- COLOMBO, C. P.; TORRENT, J. C. Relationships Between aggregation and iron oxides in Terra Rossa soils from southern Italy. *Catena*, v.18, p. 51-59, 1991.
- CRISTOPHOLETTI, A. **Geomorfologia**. Editora Edgard Blucher Ltda. . EDUSP. São Paulo.

149 p. 1974.

CURI, N.; MOTTA, P. E. F. da.; FABRIS, J. D.; OLIVEIRA, L. C. A. de. Espectroscopia Mössbauer na caracterização de compostos ferrosos em solo e sua relação com retenção de fósforo. **Quim. Nova**, v.31, n.6, p. 1467-1471, 2008

COSTA, A. C.; BIGHAM, J. M. Óxidos de Ferro. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds). **Química e Mineralogia do Solo. Parte I-Conceitos Básicos**. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo-SBCS.695p, 2009

CPMR. Serviço Geológico do Brasil. Atlas dos recursos hídricos subterrâneos do Ceará. Fortaleza, Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará, 1999. **CD-ROM**.

DA ROCHA, A. B.; BACCARO, C. A. D.; DA SILVA, P. C. M.; CAMACHO, R. G. V. Mapeamento geomorfológico da bacia do Apodi-Mossoró-RN-NE do Brasil. **Mercator**, n.16, p. 201-216, 2009

DANTAS, J. A.; SANTOS, M. C.; HECK, R. J. Caracterização de Podzólicos Amarelos irrigados e não irrigados do submédio São Francisco. **Rev. Bras. de Ci. Solo**, v.22, p. 761-771, 1998.

DURN, G.; OTTNER, F.; SLOVENEK, D. Mineralogical and geochemical indicators of the polygenetic nature of terra rossa in Istria, Croatia. **Geoderma**, v. 91, p. 125-150, 1999.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo**.2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação do Solo**. Rio de Janeiro 2 ed, 306p. 2006.

ERNESTO SOBRINHO, F. **Caracterização, gênese e interpretação para uso de solos derivados de calcário da região da Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte**.1979, 113f. Tese (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa 1979.

FEDOROFF, N. Clay illuviation in Red Mediterranean soils. **Catena**, v.28, p.171-189, 199.

FEITOSA, E. C. **A exploração do aquífero Açú na região de Mossoró – RN: Caracterização da situação atual e perspectiva de atendimento da demanda futura (Programa de água subterrânea para a região nordeste – Série Hidrogeologia: Pesquisa e Desenvolvimento, 1)**. Brasília: CPRM, 1996. 44p, 1996

FERREIRA, B. A.; FABRIS, J. D.; SANTANA, D. P.; CURI, N. Óxidos de ferro das frações areia e silte de um Nitossolo desenvolvido de basalto. **Rev. Bras. de Ci. Solo**, v. 27, p. 405-413, 2003.

FIGUEIREDO, M. A.; FABRIS, J. D.; VARAJÃO, A. F. D. C.; COUCEIRO, P. R. da C.; LOUTFI, I. S.; AZEVEDO, I. de S.; GARG, V. K. Óxidos de ferro de solos formados sobre gnaisse do Complexo Bação, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.41, n.2, p.313-321, 2006.

GATTO, L.C.S. Diagnóstico ambiental da bacia do rio Jaguaribe: diretrizes gerais para a ordenação territorial. Salvador: IBGE, 1999. 77p. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/diagnosticos_levantamentos/jaguaripe/jagua.pdf>. Acesso em: Maio 2010.

INDA JUNIOR, A.V.; KÄMPF, N. Avaliação de procedimentos de extração dos óxidos de ferro pedogênicos com ditionitocitrato- bicarbonato de sódio. **Rev. Bras. de Ci. Solo**, v.27, p.1139-1147, 2003.

KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. The 5 M NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. **Clays and clay Minerals**, v.30, p. 401-408, 1982.

KÄMPF, N.; CURI, N. Óxidos de ferro: indicadores de atributos de ambientes pedogenéticos e geoquímicos. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; SCHAEFER, C. E. R. (Ed.) **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.107-138. v. 1.

KARATHANASIS, A. D. Thermal analysis of soil minerals. In: ULERY, A. L & DRESS, L. R. (Ed). *Methods of soil analysis, Part 5 – Mineralogical Methods*. Madison. Soil Science Society of America, p. 117 – 160, 2008.

KHORMALI, F.; ABTAHI, A. Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semi-arid soils of Fars Province. **Clay Miner.**, v.38, 511– 527, 2003.

KHORMALI, F.; ABTAHI, A.; STOOPS, G. Micromorphology of calcitic features in highly calcareous soils of Fars Province, Southern Iran. **Geoderma**, v.132, p.31-46, 2006

LEÃO, M.G.A. **Relação entre atributos de uma vertente com Latossolos e qualidade de frutos cítricos**. 2004, 119f. Mestrado (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Paulista. Jaboticabal, 2004.

LEMO, M. S. S. ; CURI, N. ; MARQUES, J. J. G de S ; SOBRINHO, F. E. Evaluation of characteristics of Cambisols derived from limestone in low tablelands in northeastern Brazil: implications for management. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 8, p. 825-834, 1997.

MAIA, R. P. ; SALES, V. C.; PEULVAST, J. P. Evolução Morfoestrutural dos compartimentos do relevo do Baixo Jaguaribe-Ceará. **Anais.VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/ Regional Conference on Geomorphology**, Goiânia, Brasil, 6 – 10 setembro 2006, IAG, p. 1 – 9.

MARQUES, A. G. B. **Caracterização e gênese de solos de mangue, apicum e tabuleiro da Região costeira de Acaraú-CE**. Fortaleza.2010, 123 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

MERINO, E.; BANERJEE, A. Terra rossa genesis, implications for karst, and eolian dust: a geodynamic thread. **Journal of Geology**, v.116, p. 62–75, 2008.

MIKO, S.; DURN, G.; PHORIC'. Evaluation of Terra Rossa geochemical baselines from Croatian karst regions. **Journal of Geochemical exploration**. v. 66, p. 173-182, 1999.

MONTANARI, R. *et al.* Caracterização mineralógica de Latossolos em diferentes feições do relevo na região de Jaboticabal, SP. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.2, p. 191-199, 2010.

MOTA, J. C. A.; ASSIS JUNIOR, R. N.; AMARO FILHO, J.; ROMERO, R. E.; MOTA, O. B.; LIBARDI, P. L. Atributos mineralógicos de três solos explorados com a cultura do melão na Chapada do Apodi – RN. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.31, p. 445-454, 2007.

MURPHY, C.P. **Thin section preparation of soils and sediments**. Berkhamsted, Herts, UK: AB Academic Pub., 160p, 1986.

NOGUEIRA, F. C. C.; BEZERRA, F. H. R.; CASTRO, D. L.; BRANCO, R. M. G. C. Radar de penetração no solo (GPR) aplicado ao estudo de estruturas tectônicas neógenas na Bacia Potiguar-NE do Brasil. **Revista de Geologia**, v.19, n.1, p. 23 – 33. 2006.

NORRISH, K. & TAYLOR, R.M. The isomorphous replacement of iron by aluminum in soil goethite. **Journal Soil Science**, v.12, p. 294-307, 1961.

OLIVEIRA, C. V.; KER, J. C.; FONTES, L. E. F.; CURTI, N.; PINHEIRO, J.C. Química e mineralogia de solos derivados de rochas do gupo Bambuí no norte de Minas Gerais. **Rev. Bras. de Ci. Solo**, v.22, p. 583 -593, 1998.

OLIVEIRA, C. V.; KER, J. C.; DUARTE, M. N.; CURTI, N.; FONTES, . L. E. F. Atributos micromorfológicos de solos do projeto jaíba, norte de Minas Gerais. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.24, p. 117-128, 2000.

OLIVEIRA, D. P. **Caracterização gênese e mineralogia de solos da Chapada do Apodi-CE: o papel do microrrelevo**.2009. 79f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

OLIVEIRA, D.P.; FERREIRA, T.O.; SILVA, M.V.C.; BEZERRA, C.E.E.; ROMERO, R.E. Geoestatística e modelo numérico de terreno em ciências do solo: estudo de caso na Chapada do Apodi - Ceará. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 4141-4147.

OLIVEIRA, F.A.R. **Deteção de depressões cársticas a partir de classificação espectral emorfológica de imagens de sensoriamento remoto na região do Altorio Paracatu (MG)**.- Belo Horizonte. UFMG/IGC - Departamento de Cartografia. 55p. 2001.

OLIVEIRA JUNIOR, J. C. de.; SOUZA, L. C. P.; MELO, V. F. Variabilidade de atributos físicos e químicos de solos da Formação Guabirtuba em diferentes unidades de amostragem. **R. Rev. Bras. de Ci. Solo**, v.34,p. 1491- 1502. 2010.

OWLIAIE, H.R.; ABTAHI, A.; HECK, R. J. Pedogenesis and clay mineralogical investigation of soils formed on gypsiferous and calcareous materials, on a transect, southwestern Iran. **Geoderma**, v. 134, p. 62-81, 2006.

PAL, D. K. S.; SRIVASTAVA, P.; BHATTACHARYYA, T. Clay illuviation in calcareous soil fo the semiarid part of the Indo-Gangetic Plains, India. **Geoderma**, v.115, p. 117-192, 2003.

PESSOA NETO, O. C.; SOARES, U. M.; SILVA, J. G. F. da.; ROESNER, E. H.; FLORENCIO, C. P.; SOUZA, C. A. V. Bacia Potiguar. **B. Geoci.** Petrobrás, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p. 357-369, 2007.

PEULVAST, J.P.; SALES, V. C. Stepped surfaces and palaeolandforms in the northern Brazilian <<Nordeste>>: constraints on models of morphotectonic evolution. **GEOMORPHOLOGY**. v. 62, n. 1-2, p. 89-122, 2004.

PLANTE, A. F.; FERNANDEZ, J. M.; LEIFELD, J. Application of thermal analysis techniques in soil science. **Geoderma**, v.153, p. 1-10, 2009.

PRESLEY, D. R.; RANSOM, M. D.; KLUITENBERG, G. J.; FINNELL, P. R. Effects of thirty years of irrigation on the genesis and morphology of two semiarid soils in Kansas. **Soil Science Society of America**, v.68, p. 1916-1926, 2004.

RANZANI.; FRANÇA, G. V. Agrotecnia, Levantamento de solos, Fotointerpretação Aplicada a solos. In: **Apontamentos de Agrotecnia**. Centro de estudos de solos. Piracicaba, ESALQ-USP, 1968.

REIS, V. E. dos.; JÚNIOR, M. M. S. Investigação de cavidade em subsuperfície em obras rodoviárias. **Anais**, VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/ Regional Conference on Geomorphology, Goiânia, Brasil, 6 – 10 setembro 2006, IAG, p. 1 – 11.

SALES, V. C., PEULVAST, J. P. Evolução morfoestrutural do relevo da margem continental do estado do Ceará, Nordeste do Brasil. **Cam. da Geografia**. v.7, p.7-21, 2007.

SAMPAIO, A. V.; SCHALLER, H. Introdução à estratigrafia cretácea da bacia potiguar. **Boletim técnico**. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, v.11, n.1, p. 19 – 44, jan-mar, 1968.

SANCHEZ, *et al.* Variabilidade espacial de propriedades de Latossolo e da produção de café em diferentes superfícies geomórficas. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.9, n.4 , p.489-495, 2005.

SANTOS *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5ª Ed., Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, 100p, 2005.

SCHOORL, J. M.; SONNEVELD, M. P. W.; VALDEKAMP, A. Three dimensional landscape process modeling: The effect of DEM resolution. **Earth Surface Proc. Landforms**, v.25, p. 1025-1034. 2000.

SCHWERTMANN, U. Some properties of soil and synthetic iron oxides. In: Stuck, J. W.; GOODMAN, B. A. & SCHWERTMANN, U. (Eds) **Iron in Soils and Clay Minerals**, NATO Advanced Study Institute, Reidel, Dordrecht.p. 203-250, 1988a.

SCHWERTMANN, U,. Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironments. In Stuck, J. W.; GOODMAN, B. A. & SCHWERTMANN, U. (Eds.),

Iron in Soils and Clay Minerals, NATO Advanced Study Institute, Reidel, Dordrecht, p.267-308, 1988b.

SOARES, J. L. N.; ESPINDOLA, C. R.; FOLONI, L. L. Alteração física e morfológica em solos cultivados com citros e cana-de-açúcar, sob sistema tradicional de manejo. **Ciência Rural**, v.35, n. 2, p. 353-359, 2005.

SOUZA, M. J. N.; LIMA, F. A. M.; PAIVA, J. B. Compartimentação topográfica do estado do Ceará. **Rev. Ciên. Agron**, v.9, n.1-2, p. 77-86. 1979.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; COOPER, M.; PEREIRA, G. T. Micromorfologia do solo e sua relação com atributos físicos e hídricos. **Pesq. Agropec. Bras.** v.41, n.3, p. 487-492, 2006.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR. J.; PEREIRA, G. T.; BENTO, M. J. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **R. Bras. de Eng. Agríc. e Ambiental**.v 8, n.1, p 51-58, 2004.

SUAREZ, D.L.; LANGMUIR, D. Heavy metal relationships in a Pennsylvania soil. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v.40, p. 589-598, 1976.

TIBANA, P & TERRA, G. J. S. Sequências carbonáticas do cretáceo na bacia Potiguar. **Boletim Técnico** da Petrobrás, n.24, p. 174-183, 1981.

TROEH, F. R. Landform equations fitted to contour maps. **Solis Science Society American Journal**. New York, v.263, p. 616-627, 1965.

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

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2002. **A Lexicon of Cave and Karst Terminology**. Field, M.S. (Ed.). Disponível em:<<http://www.karstwaters.org/files/glossary.pdf>>. Acessado em : 25/02/2011.

VEPRASKAS, M. J.; WILSON, M. A. Soil Micromorphology: Concepts, Techniques and Applications. In: ULERY, A. L.; DRESS, L. R. (Eds). **Methods of soil analysis Part 5 – Mineralogical Methods**. Soil Science Society of America. Madison. 521 p. 2008.

VIDAL-TORRADO, P; LEPSCH, I.F. Morfogênese dos solos de uma topossequência com transição B Latossólicos/B Textural sobre Migmatitos em Mococa (SP). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.17, n.1, p 109-119. 1993.

WILSON, M.J. The origin and formation of clay minerals in soils: past, present and future perspectives. **Clay Miner.** v.34, p. 7– 24, 1999.

YASSOGLOU, N.; KOSMAS, C.; MOUSTAKAS, N. The red soils, the origin, propertiesm use and management in Greece. **Catena**, v. 28, p. 267 – 278, 1997.

ZANARDO, A.; MARQUES JÚNIOR, J. Conceitos básicos em mineralogia. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds). **Química e Mineralogia do Solo. Parte I-Conceitos Básicos.** Sociedade Brasileira de Ciências do Solo-SBCS.695p, 2009

3 GÊNESE DE SOLOS CALCÁRIOS SOB DIFERENTES SUPERFÍCIES DE RELEVO NA CHAPADA DO APODI-CE

RESUMO

A presença de diferentes classes de solo na Chapada do Apodi, embora associado à condições de clima semiárido e presença de relevo plano, sugere que estes pedoambientes estejam submetidos à distintas condições de formação. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do relevo de superfície, subsuperfície e do material de origem na gênese dos solos da Chapada do Apodi. Em campo foi realizado um levantamento planialtimétrico da área, e posteriormente, foi gerado um modelo de elevação digital para caracterização do relevo de superfície. Tendo por base a composição morfométrica da área, foram delimitadas três superfícies (convexa, retilínea e côncava). Com base em estudos já realizados, foram alocadas cinco trincheiras, sendo duas na superfície convexa, duas na retilínea e uma na côncava. As trincheiras foram descritas e caracterizada morfologicamente em campo, na ocasião foram coletadas amostras para caracterização química e física (granulometria). O relevo de subsuperfície foi caracterizado utilizando GPR (radar de penetração no solo) em dois pontos distintos na área. Duas amostras de rocha calcária foram coletadas em pontos distintos para a devida caracterização química. Os resultados químicos e morfológicos indicam que os solos mais desenvolvidos encontram-se na superfície côncava, sendo isto evidenciado pelo índice K_i como também pelo teor de CaCO_3 no solo. As imagens dos radargramas gerados pelo GPR destacam a presença de um relevo de subsuperfície irregular, denotando um princípio de carstificação. A presença de um relevo deprimido em subsuperfície (superfície côncava) pode indicar a presença de uma paleodolina. Logo, um maior direcionamento dos fluxos hídricos para superfície côncava, presença de calcário mais susceptível a intemperização e com quantidade maior de resíduos insolúveis, condicionam a presença de solos mais espessos na superfície côncava.

Palavras-chaves: Pedogênese, GPR, MEV-EDS

3 GENESIS OF SOILS DERIVED OF LIMESTONE UNDER DIFERENT SURFACE OF RELIEF IN APODI PLATEU-CE

ABSTRACT

The different soil classes in the Apodi Plateau, although associated with the presence of semi-arid climate and flat terrain, suggests that these pedoenvironments are subjected to different formation conditions. This study aim to evaluate the influence of the surface and subsurface relief and the parent material on the Apodi Plateau soils genesis. The digital elevation model was generated, according to a topographic survey, to characterize the surface relief which was classified in three surface classes (convex, concave and plain). Five soil profiles were described in at the different surfaces classes: two at the convex surface, two at the plain and one at the concave. During the soil profiles description, samples were collected for chemical and grain size characterization. The subsurface topography was characterized using ground penetrating radar (GPR) at two different sites in the area. Furthermore, two limestone samples were collected at different points for chemical characterization. The chemical and morphological results indicates that the soils at the concave surface are more developed, evidenced by the Ki index and also by the CaCO₃ content. The radargram pictures generated by the GPR highlights the presence of an irregular subsurface topography, denoting a principle of karst. The presence of a sub superficial depressed relief (concave surface) may indicate the presence of a paleodoline. Therefore, the higher direction of water flow to the concave surface, the presence of more susceptible to weathering limestone and higher amount of insoluble residues IR conditions the presence of thicker soils at the concave surface.

Keywords: Pedogenesis, GPR, *SEM/EDS*

3.1 INTRODUÇÃO

A região da Chapada do Apodi encontra-se situada na divisa entre os estados do Ceará e Rio Grande do Norte e inserida no polígono das secas (LEMOS et al. 1997). Em função da sua posição geográfica, a Chapada apresenta elevado déficit hídrico, sendo isto o resultado de altas taxas de evapotranspiração e baixos índices pluviométricos (ERNESTO SOBRINHO, 1979). Além do clima semiárido, outra característica marcante da região é a presença de relevo plano em toda sua extensão (BRASIL, 1973) e o predomínio do calcário como material de origem.

Apesar da relativa homogeneidade de fatores a região é capeada, predominantemente, por solos de desenvolvimento incipiente, porém, estudos recentes têm evidenciado a presença de uma grande variedade de solos (MOREIRA, 2009; MOTA et al, 2007; ALENCAR, 2002) com características contrastantes.

Esta variedade de solos identificados na Chapada do Apodi sugere uma pedogênese complexa para os solos da região. De fato estudos realizados em solos calcários de ambiente mediterrâneo (as Terra Rossa) evidenciam uma gênese complexa e muitas vezes controversa destes solos. Especificamente para as Terra Rossa, existem duas teorias centrais de pedogênese destes solos:, uma que defende que a origem destes solos é o resultado de intensos processo de dissolução do calcário (origem residual), e a outra que defende a hipótese de que estes solos são também fortemente influenciados por contribuições eólicas (MERINO; BANERJEE, 2008; MIKO; DURN; PROHIC, 1999; YASSOGLOU; KOSMAS; MOUSTAKAS, 1997).

No caso da Chapada do Apodi, estudos prévios têm buscado relacionar a grande variabilidade de solos e da pedogênese local à existência de discontinuidade litológica (GIRÃO, 2011), e à oscilações do microrrelevo de superfície (OLIVEIRA, 2009; COSTA *et al.*, 2011) e de subsuperfície.

De fato muitos estudos têm evidenciado o papel do microrelevo na distribuição espacial de atributos físicos, químicos, morfológicos e mineralógicos dos solos (TROEH, 1965; SOUZA et al., 2004; LEÃO, 2004; CAMARGO et al., 2008; OLIVEIRA JUNIOR, et al., 2010). Estudos recentes (OLIVEIRA et al., 2009; COSTA et al., 2011) sugerem que a variabilidade espacial de atributos químicos e físicos dos solos da Chapada do Apodi pode ocorrer em resposta a pequenas oscilações nas formas do relevo as quais podem alterar a dinâmica hídrica nos solos de uma área, condicionando a uma distribuição diferenciada de seus atributos (SOUZA et al. , 2006). Segundo Alencar (2002), as diferenças no grau de

evolução dos solos da área podem ser ditadas tanto pela composição mineralógica da rocha, como pela presença de fraturas na mesma, as quais condicionariam diferenças na drenagem e, conseqüentemente, na intensidade de alteração.

Diante deste contexto, levanta-se a hipótese de que o microrrelevo, oscilações de relevo inseridas no intervalo do plano ao suave ondulado (SANTOS et al. 2005) , em associação ao relevo de subsuperfície, favorecem a existência de solos com morfologias contrastantes e marcados por processos pedogenéticos distintos

O presente trabalho objetiva avaliar a influência do microrrelevo de superfície e de subsuperfície na ação dos processos pedogenéticos através de atributos químicos, macro e micromorfológicos em Cambissolos derivados de calcário na Chapada do Apodi-CE.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Caracterização da área

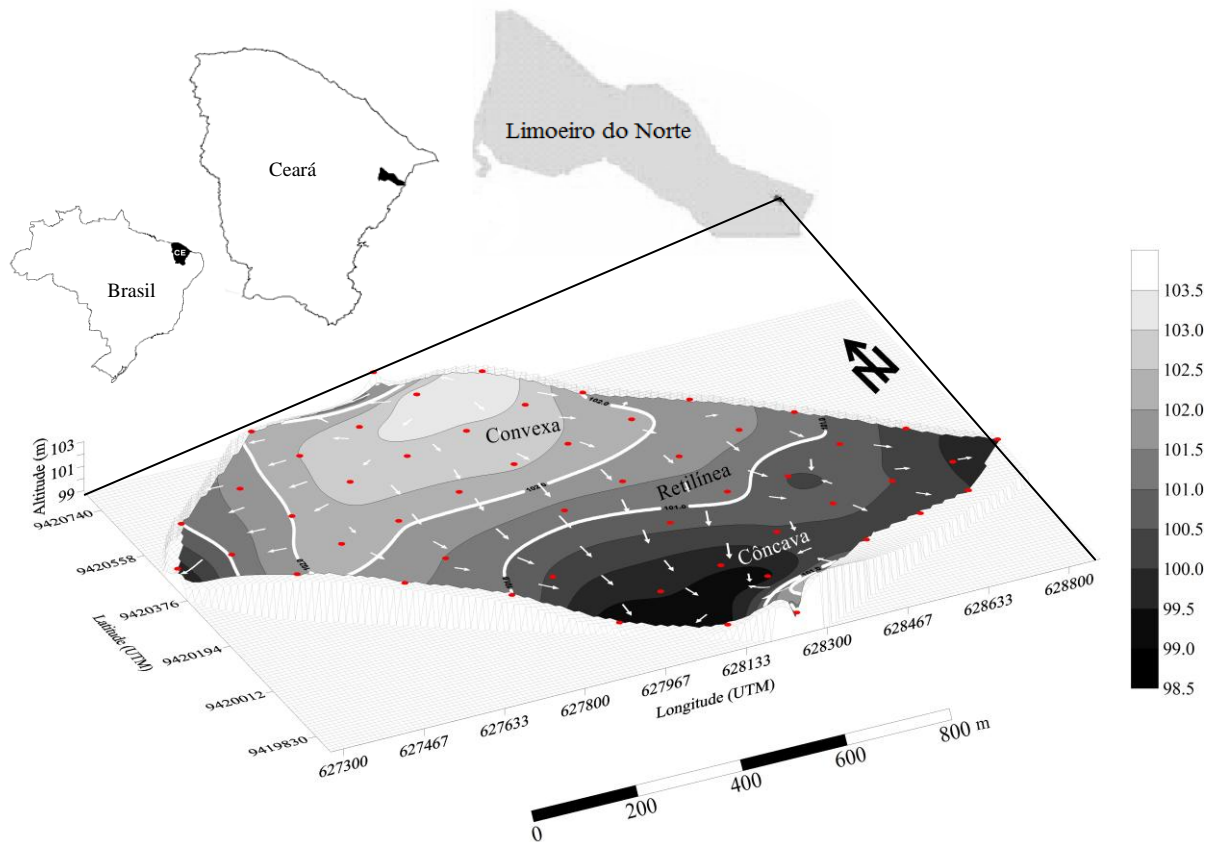
A Chapada do Apodi faz parte da bacia Potiguar, onde as unidades estratigráficas estão representadas predominantemente pela formação do calcário Jandaíra com espessura média de 250 a 300 m no topo e pelo arenito Açú, na base (FEITOSA, 1996). Por serem derivados do calcário, os solos são todos eutróficos, podendo apresentar textura argilosa ou franco argilosa (ERNESTO SOBRINHO, 1979).

O local de estudo compreende uma área de 102 ha, localizada na Chapada do Apodi no município de Limoeiro do Norte, especificamente na Fazenda Agrícola Famosa distante de Fortaleza 191,1 km, ainda nos domínios do estado do Ceará. O terreno apresenta 97% do seu relevo como plano (declividade entre 0 – 3%) e o restante foi classificado como sendo suave-ondulado. Conforme as características morfométricas apresentadas, a área teve seu relevo separado em três superfícies distintas, são elas: côncava, convexa e retilínea (Figura 1) (OLIVEIRA et al. 2008).

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo BSw'h, quente e semiárido com temperatura superior a 18 °C no mês mais frio. A temperatura média anual gira em torno de 23 °C e a umidade relativa do ar chega a valores superiores a 84 % no mês de abril e inferiores a 50 % em setembro (CPRM, 1999).

O período de chuvas se estende de fevereiro a maio sendo a pluviosidade média na região de 750 mm e o período mais seco situado entre os meses de julho e outubro (CEARÁ, 1980). A vegetação da área de estudo era constituída por caatinga do tipo hiperxerófila (BRASIL, 1973).

Figura 1 – Localização da área de estudo e modelo de elevação digital com as coordenadas UTM, indicando as diferentes superfícies do relevo de superfície



Fonte: O Autor.

3.2.2 Etapas de campo

3.2.2.1 Descrição de perfis de solos e coleta de amostras

Tendo por base estudos já realizados (OLIVEIRA et al. 2009), foram alocadas seis 6 trincheiras, sendo duas em cada uma das superfícies. As trincheiras foram georreferenciadas com GPS Garmim, adotando o sistema de referência UTM 24 M, especificamente nas seguintes coordenadas: Superfície convexa: Perfil 1 – 627806,45 E/ 9420625,51 N; Perfil 2 – 628045,08 E/ 9420472,74 N; Superfície retilínea: Perfil 3 – 628216,22 E/ 9420373,90 N; Perfil 4 – 628389,04 E/ 9420265,15 N; Superfície côncava: Perfil 5 – 628572,71 E/ 9420203,68 N; Perfil 6 – 628734,2 E/ 9420075,78. Estas foram abertas nas dimensões 1,50 x 1,50 x 2,00 m onde foram realizadas as descrições morfológicas (SANTOS et al., 2005) e posteriormente coletaram-se amostras para análises químicas e físicas. Com base nos dados físicos, químicos e nas descrições morfológicas (OLIVEIRA,

2009), os perfis foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). Nesta etapa também foram coletadas amostras indeformadas para análises micromorfológicas.

3.2.2.2 GPR (Radar de Penetração)

Com o objetivo de detectar fraturas no material de origem e observar a topografia do contato da rocha com o saprolito foi utilizado um GPR (Ground Penetrating Radar) ou GEORADAR. Este consiste de um método geofísico de investigação, que faz uso da emissão contínua de ondas eletromagnéticas no solo. Parte destas ondas é refletida nas estruturas ou objetos em profundidade. Os sinais são emitidos e recebidos através de uma antena disposta na superfície.

Na área foi realizada uma sondagem com o radar de penetração no solo (GPR), no sentido NW- SE, onde serão interceptadas as três superfícies previamente delimitadas. O equipamento GPR a ser empregado no levantamento de campo será o modelo SIR 2000 (Figura 2), fabricado pela empresa *Geophysical Survey Systems, Inc* (GSSI). Foram utilizadas as antenas de 200 e 400 MHz e janela temporal de 70 ns (NOGUEIRA et al. 2006).

Figura 2 – Estrutura para coleta de dados com GPR



Fonte: O Autor.

Para a realização desta análise de campo, previamente realizou-se a limpeza de duas seções retas com 200 m de comprimento (Figura 3). Uma das seções intercepta as superfícies convexas e retilínea, a segunda seção intercepta as superfícies retilínea e côncava. Em campo montou-se o equipamento para coleta de dados geofísicos com o GPR (Figura 4). Feito isto,

iniciou-se a coleta de dados nas superfícies convexa-retilínea e posteriormente na retilínea-côncava (Figura 4).

Após aquisição de dados em campo, estes foram submetidos ao devido tratamento computacional. Os dados obtidos nas seções gpr, foram processados no software Reflexw 6.0, e a rotina utilizada para tratar os dados foi basicamente aquela utilizada por Pedrosa *et al.*,(2006), onde foram utilizadas funções de ganho para contrabalancear os efeitos de atenuação, desta forma favorecendo a visualização de refletores em subsubperfície, filtros digitais também foram aplicados com o intuito de atenuar ruídos obtidos durante a coleta.

Figura 3 – Área preparada para coleta de dados com GPR



Fonte: O Autor.

Figura 4 – Aquisição de dados em campo com GPR



Fonte: O Autor.

3.2.3 Etapas de Laboratório

3.2.3.1 Análises físicas e químicas dos solos

As análises granulométricas foram realizadas pelo método da pipeta conforme EMBRAPA (1997), utilizando como dispersante químico o hexametáfosfato de sódio.

A condutividade elétrica foi determinada no extrato de saturação, utilizando-se um condutivímetro com escala de leitura direta em dSm^{-1} a 25°C . Antes de serem feitas as leituras das amostras, foi determinada a constante da célula com solução padrão (EMBRAPA, 1997)

A reação do solo (pH) foi determinada em água, cloreto de potássio (KCl 1 M) e cloreto de cálcio (CaCl_2 0,01 M). Para esta determinação foi utilizada uma relação solo:líquido na proporção de 1:2,5. A determinação foi realizada com potenciômetro com eletrodo combinado, conforme EMBRAPA, (1997).

Para a extração dos cátions trocáveis divalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}) e a acidez trocável (Al^{3+}) foi utilizado como extrator uma solução de KCl 1N. Já os teores de Na^+ e K^+ foram extraídos do complexo de troca com uma solução extratora de Mehlich (HCl 0,05 N e H_2SO_4 N) e as determinações foram realizadas conforme EMBRAPA (1997).

Os teores de fósforo assimilável foram extraídos com solução de Mehlich e determinado por colorimetria na presença de ácido ascórbico (EMBRAPA, 1997).

O teor de carbono orgânico foi determinado por oxidação da matéria orgânica do solo com dicromato de potássio em presença de ácido sulfúrico (EMBRAPA, 1997).

Para a determinação do equivalente de carbonato de cálcio (CaCO_3), as amostras foram submetidas ao tratamento com solução padrão de HCl , e o excesso do ácido, titulado com NaOH padrão. A diferença entre o ácido adicionado e o titulado representa o percentual de CaCO_3 na amostra (EMBRAPA, 1997).

O alumínio e o hidrogênio, acidez potencial ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$), foram extraídos com solução de acetato de cálcio ($(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}\cdot\text{H}_2\text{O}$ 0,05 M) e determinados por complexiometria com hidróxido de sódio (NaOH 0,025 M), na presença do indicador fenolftaleína 3% (EMBRAPA, 1997)

O Hidrogênio (acidez não trocável H^+) foi determinado pela diferença algébrica entre a acidez potencial e a acidez trocável. (EMBRAPA, 1997).

Para determinar as formas moleculares de Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO e P_2O_5 foi realizada uma digestão com ácido sulfúrico (9 mol L^{-1}), numa porção de 1 g de TFSA em tubos de digestão, utilizando-se 20 mL da solução ácida. A sílica foi extraída com NaOH à 30% do

resíduo oriundo do ataque sulfúrico (EMBRAPA, 1997). Os teores de ferro, alumínio e manganês foram determinados em espectrofotômetro de absorção atômica, já os teores de fósforo e sílica foram determinados por colorimetria. Com base nos teores dos óxidos determinados, obteve-se o índice de intemperismo K_i (EMBRAPA, 2006).

Foram realizadas extrações com ditionito citrato bicarbonato (DCB) na temperatura de 80 °C (MEHRA; JACKSON, 1960), e oxalato na TFSA para determinar os teores de Fe_d (Ferro cristalino) e Fe_o (Ferro amorfo) (IAC, 1986).

3.2.3.2 – Impregnação de amostras indeformadas, preparo das lâminas e análise

As amostras foram impregnadas com resina de poliéster não saturada, diluída com monômero de estireno, na proporção de (1:1) e misturada com pigmento fluorescente (Uvitex OB), que permite a distinção dos poros, quando iluminado com luz ultravioleta (Murphy, 1986), utilizou-se também um catalizador (Butanox) na proporção de 10 gotas para cada litro de solução e um acelerador na proporção de 5 gotas para cada litro de solução. Finalizado o procedimento de impregnação, foi retirado do bloco uma fina seção da amostra e colada em lâmina de vidro. Esta foi polida em equipamento próprio e posteriormente realizadas as descrições.

As descrições micromorfológicas serão realizadas conforme Bullock et al.(1985) com o auxílio de um microscópio petrográfico no Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará.

Foi realizada a caracterização química e morfológica de nódulos e concreções presente nas lâminas. Para isto, foi utilizando um microscópio eletrônico de varredura acoplado com uma microsonda de energia dispersiva de raios X (MEV-EDS). Os nódulos analisados foram cobertos com ouro, e posteriormente foi realizada a análise.

3.2.3.3 Análise química do material calcário

Realizou-se a caracterização química de duas amostras de rocha calcária que coletadas em dois pontos na área de estudo, sendo designadas aqui de amostra A (amostra de rocha coletada na superfície convexa) e B (amostra de rocha coletada na superfície côncava). Nestas amostras foram determinados os óxidos de SiO_2 , CaO , MgO , Fe_2O_3 e RI (Resíduos Insolúveis). Estes ensaios foram executados em concordância com a literatura técnica (NBR 8816/85) com o objetivo de se avaliar as possíveis diferenças na composição química da rocha.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Atributos morfológicos e químicos

As informações referentes às descrições morfológicas dos perfis de solos estudados e a sua respectiva classificação, EMBRAPA (2006) encontram-se nas tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1 – Principais atributos morfológicos dos perfis 1 e 2, alocados na superfície convexa na Fazenda Agrícola Famosa Chapada do Apodi-CE

Hor.	Prof.(cm)	Cor úmida	Textura	Estrutura	Consistência
Perfil 1 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático saprolítico gleissólico (Superfície convexa)					
Apc	0 – 12	10 YR 3/4	Fra.-argi.-aren.	Mod., méd. e gde., bls. sub. ang.	Muito friável, plástica e pegajosa
Bic1	12-24	10 YR 4/4	Fran.-argi.-aren.	Mod. méd. e gde., bls. sub. ang.	Muito friável
Bic2	24-47	10 YR 4/4	Fran.-argi.-aren.	Mod., méd. e gde., bls. sub. ang.	Muito friável
CBk	47-70	10 YR 5/6	-	Mça. c/. tend. a fte. de bl. sub.ang.	Muito friável
Crkg1	70-95	2,5 Y 8/1	-	Mça. c/. tend. a fte. de bl. sub.ang.de tamanho méd.	Friável
Crkg2	95-119	2,5 Y 8/1	-	Mça. c/. tend. a fte. de bl. sub.ang	Friável
2Crgk1	119-154	10 Y 7/1	-	Fr. e méd., c/ tend. a fte. de bls. sub.ang.	
2Crgk2	150-173	10 Y 6/1	-	Fr. e méd., com tendência a formação de bl. sub.ang.	Friável
Perfil 2 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático saprolítico (Superfície convexa)					
Apc	0-16	10 YR 3/6	Franca	Mod. peq. bls. sub. ang.	Lig. duro, muito friável, plástica e pegajosa
Bic	16-32	10 YR 4/6	Fran.-arg..	Mod. méd. e gde. bls. sub. ang.	Lig. duro, muito friável, plástica e pegajosa
Bick2	32-50	10 YR 4/6	Fran.-arg.	Mod. méd. e gde. bls. sub. ang.	Lig. duro, muito friável, plástica e pegajosa
Bick3	50-73	10 YR 4/6	Fran.-arg.-aren.	Mod. méd. e gde. bls. sub. ang.	Lig. duro, muito friável, plástica e pegajosa
BCck	73-93	10 YR 4/4	Fran. Arg. aren.	Fr. bls. sub. ang. med.	Lig. duro, muito friável, plástica e pegajosa
CBtk	93-17	10 YR 4/4	Fran. Arg. aren.	Fr. bls. sub. ang. méd.	Lig. duro, lig. e plástica e pegajosa.

Legenda: Hor. - Horizonte; Fran. Arg. aren. - Franco-argilo-arenosa; Fran. arg. - Franco Argilosa; Fran. arg. silt. - Franco-argilo-siltosa; Arg. silt. - Argilo-siltosa.; mod. – moderada; méd. – média; gde. – grande; bl. – blocos; ang. – angulares; fr. – fraca; Mça.- Maciça; c/. – com ; tend. – tendência; fte. – formação; peq.- pequena; gran. – granular; Lig. – Ligeiramente. Fonte: O Autor

Tabela 2 – Principais atributos morfológicos dos perfis 3 e 4, alocados na superfície retilínea na Fazenda Agrícola Famosa Chapada do Apodi-CE

Hor.	Prof.(m)	Cor úmida	Textura	Estrutura	Consistência
Perfil 3 CAMBISSOLO HÁPLCIO Carbonático típico (Superfície Retilínea)					
Apck	0-13	10 YR 3/4	Franca	Mod, forte, méd e gde bl. ang.	Lig. duro, muito friável, plástica e pegajosa
Bick1	13-52	10 YR 4/6	Fran.-arg	Fr. a mod. peq. e méd. bls. ang.	Plástica e pegajosa
Bick2	52-68	10YR 5/8	Fran.-arg	Fr. a mod. peq. e méd. bls ang.	
Bick3	68-83	10YR 5/8	Fran.-arg	Fr. mod. e méd., bls ang.	Plástica e pegajosa
CBkc	83-105	2,5 Y	-	-	-
Perfil 4 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático típico (Superfície Retilínea)					
Apk	0-19	10 YR 4/6	Fran. arg. silt.	Mod. méd. e gde, bls sub. ang.	Friável, muito plástico e pegajoso.
Bic1	19-39	10 YR 3/6	Arg. silt	Mod. méd. e gde, bls. sub. ang.	Friável, muito plástico e pegajoso
Bic2	39-57	10 YR 4/4	Arg. silt	Mod., méd. e gde, bls sub ang.	Muito friável
C/R	57-82	10 YR 4/4	Arg. silt	-	-
Crk	82-120	10 YR 6/4	-	-	-

Legenda: Hor. - Horizonte; Fran. Arg. aren. - Franco-argilo-arenosa; Fran. arg. - Franco Argilosa; Fran. arg. silt. - Franco-argilo-siltosa; Arg. silt. - Argilo-siltosa.; mod. – moderada; méd. – média; gde. – grande; bl. – blocos; ang. – angulares; fr. – fraca; Mça.- Maciça; c/. – com ; tend. – tendência; fte. – formação; peq.- pequena; gran. – granular; Lig. – Ligeiramente. Fonte: O Autor

Analisando as descrições morfológicas contidas nas tabelas 1 e 2, observa-se que os solos situados nas superfícies convexa e retilínea apresentam dominância do matiz 10YR. Os dois últimos perfis, localizados na superfície côncava (Tabela 3), apresentam uma pequena variação de matiz nos três primeiros horizontes, no entanto, nos horizontes subjacentes o matiz dominante passa a ser novamente o 10YR.

A predominância de matizes amarelados nos solos estudados contrasta com as cores geralmente relatadas em ambientes de Terras Rossa. Em linhas gerais estes solos apresentam boa drenagem, alta ciclagem de matéria orgânica e altas temperaturas (MERINO; BANERJEE, 2008; MIKO *et al.*, 1999; YASSOGLU *et al.*, 1997; SCHWERTMANN *et al.*, 1988b) condições que favorecem a presença de hematita, resultando em solos com cores predominantemente vermelhas (BOEIRO; SCWERTMANN, 1989).

No caso dos Cambissolos estudados, a dominância do matiz 10YR indica que estes solos provavelmente foram submetidos a um regime hídrico diferente das Terras Rossa. A presença de cores amareladas pode estar associada à existência de condições de umidade mais favoráveis à formação da goethita, em detrimento da hematita. De fato alguns solos da

topossequencia estudada apresentam problemas de drenagem (especialmente o perfil 1), evidenciados pelas cores acinzentadas a partir dos 70 cm de profundidade.

Tabela 3 – Principais atributos morfológicos dos perfis 5 e 6, alocados na superfície côncava na Fazenda Agrícola Famosa Chapada do Apodi-CE

Hor.	Prof.(m)	Cor úmida	Textura	Estrutura	Consistência
Perfil 5 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico					
Apc1	0-6	7,5 YR 3/3	Fran. arg	Mod. fte. e pequena, blocos subangulares	Muito friável, plástico e pegajoso
Apc2	6-31	7,5 YR 4/4	Arg. silt	Mod. fte. e média, blocos subangulares	Muito friável, plástico e pegajoso
Bic1	31-56	7,5 YR 4/4	Arg. silt	Mod., fte. média a grande blocos subangulares	Friável, plástico e pegajoso
Bic2	59-92	10 YR 5/6	Arg. silt	Mod., fte., média, grandes blocos subangulares	Muito friável, plástico e pegajoso
Bic3	92-119	10 YR 5/6	Arg. silt	Mod., fte., média, grandes blocos subangulares	Friável, plástico e pegajoso
Bic4	119-149	10 YR 5/6	Fran. arg.	Fr., méd., bls. sub ang.	Friável, plástico e pagajoso
Perfil 6 - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico (Superfície convexa)					
Ap	0-18	10YR 3/6	Fran. arg.	Mod, bls. sub ang. méd. a gran. méd.	Lig. duro, muito friável, plástico e pegajoso
AB	18-33	7,5YR 4/6	Arg.silt	Méd. a gde gran.	Lig. duro, friável, lig. plástico e lig. pegajoso
BA	33-47	7,5YR 4/6	Arg.silt	Méd. a gde. bls sub ang.	Lig. duro, friável, lig. plástico -plástico e lig. pegajoso-pegajoso
Bic1	47-84	10YR 5/6	Arg.silt	Méd. a gde. bls sub ang.	Lig. duro, friável, plástico e pegajoso
Bic2	84-116	10YR 5/6	Arg.silt	Méd. a gde. bls. sub ang.	Lig. duro, friável, plástico e pegajoso
Cc	116-135	10YR 5/6	Arg.silt		Lig. duro, muito plástico a pegajoso

Legenda: Hor. - Horizonte; Fran. Arg. aren. - Franco-argilo-arenosa; Fran. arg. - Franco Argilosa; Fran. arg. silt. - Franco-argilo-siltosa; Arg. silt. - Argilo-siltosa.; mod. – moderada; méd. – média; gde. – grande; bl. – blocos; ang. – angulares; fr. – fraca; Mça.- Maciça; c/. – com ; tend. – tendência; fte. – formação; peq.- pequena; gran. – granular; Lig. – Ligeiramente. Fonte: O Autor

Ainda analisando as tabelas 1, 2 e 3 nota-se a diferenciação das classes texturais ao longo da toposequência. Nos perfis situados na superfície convexa há o predomínio da classe franco-argilo-arenosa (22 a 29% de argila). Já os perfis situados nas outras superfícies, retilínea e côncava, há uma diminuição da quantidade de partículas do tamanho silte e areia e um aumento no conteúdo de argila (retilínea: 28 a 47% de argila e côncava: 44 a 55% de

argila; Tabelas 1 e 6). Este aumento na fração argila, resultou em mudança na classe textural, dos perfis sendo inseridos na classe textural argilo-siltosa (EMBRAPA, 2006).

Esta diferenciação observada na granulometria dos solos em estudo, provavelmente está associada às diferentes superfícies que condicionam uma dinâmica hídrica diferenciada nas distintas formas de relevo, resultando em alteração nos atributos físicos e químicos do solo (CAMARGO *et al.* 2008; SOUZA *et al.* 2004; TROEH, 1965). Desta forma, pode-se inferir que o fluxo hídrico vertical seja favorecido na superfície côncava, na qual foi observado o maior conteúdo de argila em subsuperfície, o que não foi observado nas demais superfícies. Este aumento no teor de argila pode, portanto, estar associado a uma maior intensidade da ação de processos pedogenéticos de iluviação/eluviação e/ou alteração mineral nesta superfície.

Outro aspecto morfológico que corrobora o maior grau de evolução pedogenética nos solos da superfície côncava é a espessura do solum. Nota-se pelas informações contidas na tabela, que a espessura do solum aumenta ao longo da topossequência (convexa: de 47 a 73 cm; retilínea: de 57 a 83 cm; côncava: 1,16 a 1,49 cm).

Os atributos químicos dos solos estudados encontram-se na tabelas 4 e 5. Nas referidas tabelas observa-se elevados valores de pH, CTC, S e V% em todos os solos estudados. A CTC destes solos é ocupada principalmente por cálcio e magnésio, estando em menores concentrações os outros cátions. Observam-se ainda baixos valores de acidez potencial e ausência de alumínio no complexo de troca.

Os elevados valores de pH (característicos de solos com reação de neutra a alcalina (EMBRAPA, 2006) assim como os elevados teores de cálcio e magnésio os são condizentes com o material de origem (Calcário Jandaíra) dos solos.

Segundo Ernesto Sobrinho (1979), os elevados valores de pH dos solos da Chapada estão associados a presença CaCO_3 livre, sendo o isto um reflexo do material de origem. De fato, a análise química da composição das rochas no local de estudo (Tabela 10) evidenciam a presença de ambos cátions.

Os dados de PST, indicam que nos solos não há ação dos processos de solonização apesar da condição climática favorável. . Neste caso, os baixos teores de minerais que contém sódio presentes na rocha calcária seriam os principais responsáveis por este resultado.

Tabela 4 – Caracterização química dos perfis 1, 2, e 3

Horizonte	Prof cm	pH		Complexo sortivo													
		H ₂ O	KCl	C-org g kg ⁻¹	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺	S	T	m	V %	PST	C.E dS. m ⁻¹	CaCO ₃ g kg ⁻¹
Perfil 1 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático saprolítico gleissólico (Superfície convexa)																	
Apc	0-12	8	7,1	33,9	10,8	4,8	0,4	0,3	2,4	0	16,3	18,7	0	87,2	2,1	0,7	25
Bic1	12-24	7,5	6,3	18,4	12,6	6,6	0,4	0,3	2,8	0	19,9	22,7	0	87,6	1,7	0,7	25
Bic2	24-47	7,7	6,7	11,7	9,6	7	0,4	0,2	2,1	0	17,2	19,3	0	89,1	2,2	0,9	33
CBk	47-70	8,4	7,6	2,6	13	5,4	0,4	0,1	1,7	0	18,9	20,6	0	91,7	2	0,7	249,5
Ck1	70-95	8,7	7,7	0	7,8	6	0,4	0,1	1,6	0	14,3	15,9	0	89,9	2,4		249,8
Crkg2	95-119	8,7	7,9	2,6	8	6,4	0,4	0,1	1,6	0	15	16,6	0	90,3	2,7		249,6
	119-																
2Crgk1	154	8,9	8,2	9,1	6,2	7,6	0,5	0,1	1,6	0	14,4	16	0	90,3	3	0,8	249,8
	154-																
2Crgk2	173+	9,2	8,2	3,2	8	7,6	1	0,2	1,5	0	16,8	18,2	0	92,1	5,7		249,3
Perfil 2 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático saprolítico (Superfície convexa)																	
Apc	0-16	8,2	7,3	29,1	13	5,2	0,3	0,4	1,8	0	18,9	20,7	0	91,5	1,4	0,5	35
Bic1	16-32	7,2	5,9	15	8,2	4,2	0,4	0,1	3	0	12,9	15,9	0	81,1	2,3	0,8	25
Bick2	32-50	8,3	7,4	11,1	12,2	6,8	0,4	0,1	1,9	0	19,5	21,4	0	91,3	2	0,7	62,5
Bick3	50-73	8,2	7,2	5,9	12,2	8,2	0,4	0,2	3,6	0	21	24,5	0	85,5	1,8	0,7	51,5
BCck	73-93	8,2	7,6	6,5	13	9,8	0,5	0,2	1,3	0	23,5	24,8	0	94,8	2,1	0,8	62
	93-																
CBtk	117+	8,5	7,8	0	7,2	7,6	0,4	0,1	1,2	0	15,3	16,5	0	92,7	2,2	0,8	249
Perfil 3 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático típico (Superfície retilínea)																	
Apck	0-13	8,2	7,4	42,9	12,4	9,6	0,5	0,2	1,9	0	22,7	24,6	0	92,3	1,9	0,5	75
Bick1	13-52	8,4	7,4	12,4	12,4	8,2	0,5	0,1	1,3	0	21,1	22,4	0	94,2	2,1	0,6	126,5
Bick2	52-68	8,4	7,5	9,8	11,8	11,4	0,5	0,1	1,5	0	23,8	25,3	0	94,1	2	0,5	206
Bick3	68-83	8,3	7,4	14,4	10,8	5,2	0,5	0,1	1,5	0	16,7	18,1	0	92	3	0,7	174,5
	83-																
CBkc	105+	8,3	7,6	12,4	12,2	11,6	0,5	0,1	1,5	0	24,4	25,8	0	94,4	1,8	0,7	248,5

Legenda: S- Soma de bases; T – Capacidade de troca de cátions; m – saturação por alumínio; v – saturação por bases; PST – Porcentagem de sódio trocável; C.E –

Condutividade elétrica do extrato de saturação. Fonte: O Autor

Tabela 5 – Caracterização química dos perfis 4,5 e 6.

Horizonte	Prof	pH		Complexo sortivo													
		H ₂ O	KCl	C-org	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺	S	T	m	V	PST	C.E	CaCO ₃
	cm	g kg ⁻¹			Cmolc kg ⁻¹							%		dS m ⁻¹	g kg ⁻¹		
Perfil 4 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático saprolítico (Superfície retilínea)																	
ApcK	0-19	8	7,3	21,7	19	6,2	0,7	0,1	2,1	0	26	28,1	0	92,5	2,4	0,2	81
Bic1	19-39	7,7	6,8	17	13,4	11,2	0,5	0,2	2,3	0	25,3	27,6	0	91,7	1,8	1	41,5
Bic2	39-57	7,3	6,3	22,4	16,2	7,8	0,5	0,1	3	0	24,6	27,6	0	89,1	1,8	1	40
C/R	57-82	8,1	7,1	17	14,8	9,6	0,5	0,1	2,7	0	25	27,6	0	90,4	1,7	0,8	42,5
CrK	82-120+	8,5	7,6	1,3	8,2	6,2	0,4	0,1	1,9	0	14,9	16,7	0	88,9	2,5	0,8	249,5
Perfil 5 - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico (Superfície côncava)																	
Apc1	0-6	8,3	7,4	35,3	10,2	10	0,5	1	2,1	0	21,7	23,8	0	91,4	2,1	0,8	45
Apc2(ABc)	jun/31	8	7	25,1	12	7,6	0,5	0,4	2,8	0	20,6	23,3	0	88,2	2,3	0,5	43,5
Bic1	31-56	7,3	5,7	14,4	9	8,4	0,5	0,4	3,9	0	18,3	22,1	0	82,6	2,2	0,3	26
Bic2	56-92	7,3	7,7	5,2	10,2	9,6	0,5	0,2	3,2	0	20,4	23,6	0	86,5	2	0,3	37
Bic3	92-119	7,2	5,9	11,7	12,4	10,6	0,6	0,2	3,3	0	23,8	27,1	0	87,8	2	0,7	42,5
Bic4(BC)	119-149+	7,3	5,9	0	13	9,6	0,6	0,4	2,9	0	23,6	26,5	0	89	2,1	0,9	32,5
Perfil 6 - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico (Superfície côncava)																	
Ap	0-18	7,1	6,2	19,4	11,4	4,8	0,2	0,4	5,5	0	16,8	22,3	0	86,2	2,8	1,7	4,5
AB	18-33	7	5,7	12,5	10	5,6	0,2	0,3	5,8	0	16,1	21,9	0	85,2	2,6	0,6	1
BA	33-47	6,7	5,3	8	9	5,6	0,2	0,3	5,5	0	15,1	20,6	0	84,1	2,4	0,4	2
Bi1	47-84	6,8	5,4	8	10	7,6	0,2	0,3	5,1	0	18,1	23,2	0	86,6	2	0,4	1,8
Bi2	84-116	7,6	6,1	3,3	11,8	8,4	0,2	0,3	4,3	0	20,6	24,9	0	88,6	1,6	0,5	5
Cc	116-135+	8	6,5	5,1	12,2	9,4	0,2	0,2	4,2	0	22	26,2	0	90,1	1,6	0,5	7,8

Legenda: S- Soma de bases; T – Capacidade de troca de cátions; m – saturação por alumínio; v – saturação por bases; PST – Porcentagem de sódio trocável; C.E –

Condutividade elétrica do extrato de saturação. Fonte: O Autor

No que se refere aos conteúdos de equivalente CaCO_3 , observa-se uma tendência de diminuição no sentido da superfície côncava. Estes resultados estão provavelmente relacionados a um maior intensidade dos processos de dissolução nos solos desta superfície, em função da maior ação da água nestes locais, favorecida pelo microrelevo.

A tabela 6 apresenta os teores relativos dos óxidos extraídos com o ácido sulfúrico. Conforme análise dos dados nota-se que há uma nítida diferença entre os teores de óxidos no saprólito e no solum. Esta menor concentração relativa de óxidos no saprólito, deve-se à menor ação dos processos pedogenéticos.

Os teores dos óxidos determinados nos Cambissolos analisados neste trabalho são similares aos valores encontrados em estudos de caracterização e classificação já realizados na Chapada do Apodi (ERNESTO SOBRINHO, 1980; SILVA, 1973).

Os óxidos de Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 e TiO_2 apresentam basicamente o mesmo comportamento ao longo da topossequência e não apresentm valores discrepantes entre as superfícies.

Este comportamento uniforme dos dados está provavelmente relacionado à presença de um material de origem homogêneo e à ausência de descontinuidade litológica nos solos estudados.

Conforme análise dos teores de óxidos de ferro observa-se que os solos apresentam teores que se encaixam no intervalo de 80 à 180 g kg^{-1} de solo, caracterizando os solos como mesoférrico (EMBRAPA, 2006). Outros autores também caracterizaram solos da Chapada com teores médios de óxidos de ferro (MOTA et al., 2007; ERNESTO SOBRINHO, 1980; SILVA, 1973). No caso dos teores de P_2O_5 e MnO , os baixos valores encontrados provavelmente estejam associados ao baixo teor desses elementos no material de origem, de fato, alguns autores sugerem esta explicação para os baixos valores observados (MOTA et al., 2007, LEMOS et al., 1997).

A relação sílica/alumina (K_i ; tabela 6) apresenta valores elevados nos horizontes diagnósticos, principalmente nos Cambissolos situados na superfície convexa. Nos demais horizontes, no sentido da superfície côncava, evidencia-se a diminuição nos valores do índice K_i . Esta diminuição nos valores de K_i está intimamente associada ao tipo de mineralogia na fração argila dos solos (EMBRAPA, 2006), logo, quanto menor os valores do índice maior é considerado o grau de intemperismo do solo (GHIDIN et al. 2006).

Tabela 6 – Argila, silte, areia e dados de ataque sulfúrico e índice Ki.

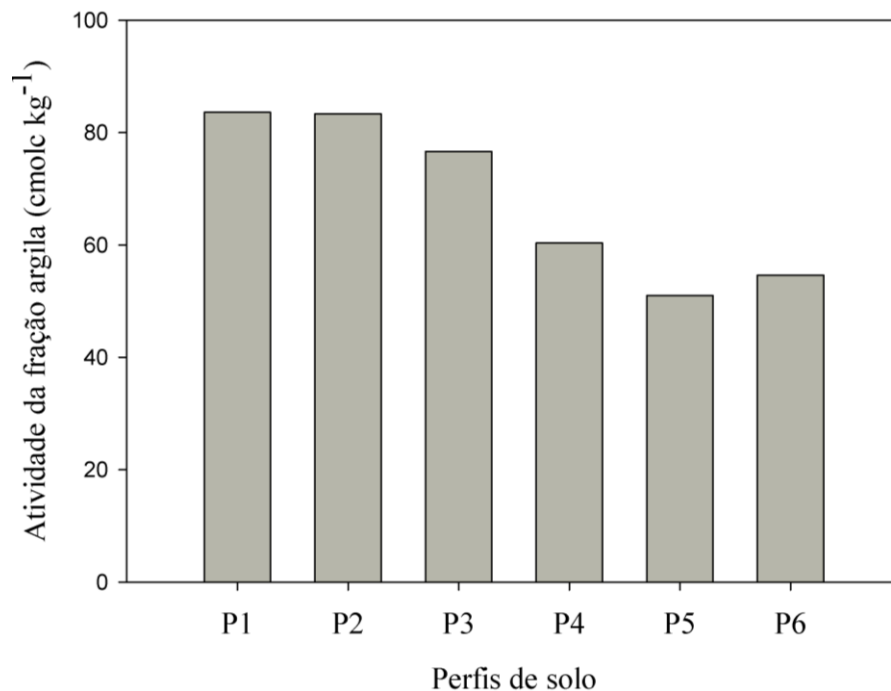
Horizonte	Prof. (cm)	Argila	Silte	Areia	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Ki
g kg ⁻¹									
Perfil 1 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático saprolítico gleissólico (Superfície convexa)									
Apc	0-12	194,4	153,1	652,5	196,2	244	362	7,2	2,5
Bic1	dez/24	225,6	137,1	637,5	124,6	218,7	364,7	7,1	2,8
Bic2	24-47	210,4	111,6	678	117	222,3	314,4	7,1	2,4
CBk	47-70	-	-	-	45,4	93,3	113,1	3	2,1
Ck1	70-95	-	-	-	12,9	48,5	33,4	1,7	1,2
Crkg2	95-119	-	-	-	12,5	37,7	30,5	1,4	1,4
Crgk1	119-154	-	-	-	12,3	34,6	66,5	1,1	3,3
Crgk2	154-173+	-	-	-	12,7	35,6	109,5	1,3	5,2
Perfil 2 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático saprolítico (Superfície convexa)									
Apc	0-16	237,6	199,4	563	141,4	231,8	324,2	8,4	2,4
Bic1	16-32	272	136,5	591,5	135,2	254,3	459,2	8,7	3,1
Bick2	32-50	293	207,5	499,5	115,5	236,6	395,4	8,1	2,8
Bick3	50-73	247,8	138,7	613,5	108,2	261,2	451,8	9,2	2,9
BCck	73-93	213,8	151,2	635	131,6	243,3	408,9	7,6	2,9
CBtk	93-117+	-	-	-	32,3	71,8	167,1	2,4	4
Perfil 3 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático típico (Superfície retilínea)									
Apck	0-13	291,6	262,4	446	118,2	206,2	294,7	6,9	2,4
Bick1	13-52	283,6	293,4	423	91,7	200,4	296	6,7	2,5
Bick2	52-68	296	365,5	338,5	94,1	201,3	399	6,3	3,4
Bick3	68-83	298,6	266,4	435	84	205	292,3	6,6	2,4
CBkc	83-105+	-	-	-	28,6	78,8	208,9	2,5	4,5
Perfil 4 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático típico (Superfície retilínea)									
ApK	0-19	363	246,5	390,5	106,1	234,2	432,2	8,8	3,1
Bic1	19-39	428,2	243,3	328,5	125	263,8	330,5	9,4	2,1
Bic2	39-57	480	202,5	317,5	119,7	261,7	302,1	9,2	2
C/R	57-82	468,2	224,3	307,5	101,2	254,2	370,8	9,1	2,5
CrK	82-120+	-	-	-	37,8	78,5	190,5	2,1	4,1
Perfil 5 - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico (Superfície côncava)									
Apc1	0-6	330,6	220,4	449	113,1	260,2	286,2	8,4	1,9
Apc2(ABc)	jun/31	404,8	219,7	375,5	113,4	242,6	424,8	8	3
Bic1	31-56	543,6	158,9	297,5	110,2	302,1	466,5	8,9	2,6
Bic2	56-92	552	166	282	105,4	306,1	315,6	9,4	1,8
Bic3	92-119	500,6	194,4	305	106,6	308,1	348,7	9	1,9
Bic4(BC)	119-149+	399	196	405	109,2	337	319,3	9,6	1,6
Perfil 6 - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico (Superfície côncava)									
Ap	0-18	371,8	199,7	428,5	-	-	-	-	-
AB	18-33	428,4	193,6	378	-	-	-	-	-
BA	33-47	485	211,5	303,5	-	-	-	-	-
Bi1	47-84	492,2	230,8	277	-	-	-	-	-
Bi2	84-116	447,4	294,1	258,5	-	-	-	-	-
Cc	116-135+	423,4	286,1	290,5	-	-	-	-	-

Legenda: Horiz. – Horizonte; Prof. – Profundidade; Ki = (SiO₂/Al₂O₃)*1,7. Fonte: O Autor

Tendo em vista as informações apresentadas, pode-se inferir que os solos situados na superfície convexa devem apresentar uma mineralogia da fração argila composta por maiores conteúdos de argilas 2:1 (EMBRAPA, 2006), além, enquanto no sentido da superfície côncava, a assembléia mineralógica é provavelmente composta por minerais de menor atividade coloidal, visto que ocorre uma diminuição do índice Ki.

Os valores de atividade de argila (Figura 5) corroboram a interpretação feita acima. Observando-se os dados da tabela e 2 e 3, fica evidente a predominância na área solos Ta (argila de atividade alta). Entretanto cabe ressaltar, uma clara tendência dos solos mais intemperizados (com menor atividade de argila) ocorrerem na superfície côncava. Conforme mostra a figura 5, os perfis 1 e 2 (superfície convexa) apresentam os maiores valores de atividade de argila. A partir desta superfície este atributo diagnóstico apresenta comportamento decrescente atingindo seus menores valores nos perfis P5 e P6, ambos localizados na superfície côncava. A menor atividade de argila apresentada nos perfis localizados nas posições mais baixas e côncavas do terreno está provavelmente associada ao fluxo preferencial de água nestes locais, favorecendo a remoção de sílica e bases do sistema e, portanto, uma maior alteração.

Figura 5 – Atividade da fração argila ao longo da topossequência.



Fonte: O Autor

Dada as informações apresentadas, destaca-se o papel das diferentes formas de relevo superficial, associado provavelmente ao relevo de subsuperfície, que condicionam o direcionamento dos fluxos hídricos, favorecendo desta forma uma ação diferenciada da pedogênese nos solos do local.

Quanto aos teores de ferro cristalino (Fed) e ferro amorfo (Feo), os valores são apresentados nas tabelas 7 e 8, juntamente com as relações entre as diferentes formas de ferro.

Conforme análise dos dados observa-se que os teores de ferro cristalino variaram 53,1 à 19,1 g kg⁻¹, enquanto que os teores de ferro amorfo, em menor quantidade, variaram de 6,8 à 2,2 g kg⁻¹. Com exceção do perfil 1, o conteúdo de ferro cristalino tende a diminuir em todos os perfis, a mesma tendência também é observada para os teores de ferro amorfo. Logo, observa-se que os maiores teores de ferro amorfo estão concentrados nos horizontes superficiais.

Tabela 7 – Teores de ferro cristalino (Fed) e amorfo (Feo) determinados por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e oxalato, dos perfis 1, 2 e 3

Horizontes	Prof. (cm)	Fed	Feo	Fed/Argila	Fed/Fes	Feo/Fed
Perfil 1CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático saprolítico gleissólico (Superfície convexa)						
		g kg ⁻¹				
Apc	0-12	26,89	3,92	0,14	0,14	0,15
Bic1	12-24	37,68	3,70	0,17	0,30	0,10
Bic2	24-47	43,22	4,06	0,21	0,37	0,09
CBk	47-70	7,93	1,54		0,17	0,19
Ck1	70-95	3,72	1,24		0,29	0,33
Crkg2	95-119	3,00	1,30		0,24	0,43
2Crgk1	119-154	2,61	1,79		0,21	0,69
2Crgk2	154-173+	3,12	1,64		0,23	0,52
Perfil 2CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático saprolítico (Superfície convexa)						
Apc	0-16	53,14	4,18	0,22	0,38	0,08
Bic1	16-32	51,34	3,93	0,19	0,38	0,08
Bick2	32-50	48,50	2,48	0,17	0,42	0,05
Bick3	50-73	44,44	2,31	0,18	0,41	0,05
BCck	73-93	38,09	6,86	0,18	0,29	0,18
CBtk	93-117+	4,68	1,69		0,14	0,36
Perfil 3 CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático típico						
Apck	0-13	25,97	3,73	0,09	0,22	0,14
Bick1	13-52	22,43	2,87	0,08	0,24	0,13
Bick2	52-68	19,17	2,20	0,06	0,20	0,11
Bick3	68-83	27,78	3,21	0,09	0,33	0,12
CBkc	83-105+	3,56	1,54		0,12	0,43

Legenda: Fes: Ferro extraído com ácido sulfúrico; Prof.: Profundidade; Arg.: Conteúdo de Argila; Horiz.: Horizonte. Fonte: O Autor

Tabela 8 – Teores de Ferro cristalino (Fed), ferro amorfo (Feo) determinados por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e oxalato, dos perfis 4, 5 e 6

Horizontes	Prof. (cm)	Fed	Feo	Fed/Argila	Fed/Fes	Feo/Fed
Perfil 4 CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático típico						
ApK	0-19	37,17	4,06	0,10	0,35	0,11
Bic1	19-39	45,53	3,95	0,11	0,36	0,09
Bic2	39-57	35,50	4,23	0,07	0,30	0,12
C/R	57-82	38,62	4,47	0,08	0,38	0,12
CrK	82-120+	3,75	2,12		0,10	0,57
Perfil 5 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico						
Apc1	0-6	38,39	4,55	0,12	0,34	0,12
Apc2(ABc)	6-31	36,41	4,17	0,09	0,32	0,11
Bic1	31-56	32,88	3,15	0,06	0,30	0,10
Bic2	56-92	40,51	3,54	0,07	0,38	0,09
Bic3	92-119	47,91	3,14	0,10	0,45	0,07
Bic4(BC)	119-149+	42,42	2,96	0,11	0,39	0,07
Perfil 6 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico						
Ap	0-18	-	-	-	-	-
AB	18-33	-	-	-	-	-
BA	33-47	-	-	-	-	-
Bi1	47-84	-	-	-	-	-
Bi2	84-116	-	-	-	-	-
Cc	116-135+	-	-	-	-	-

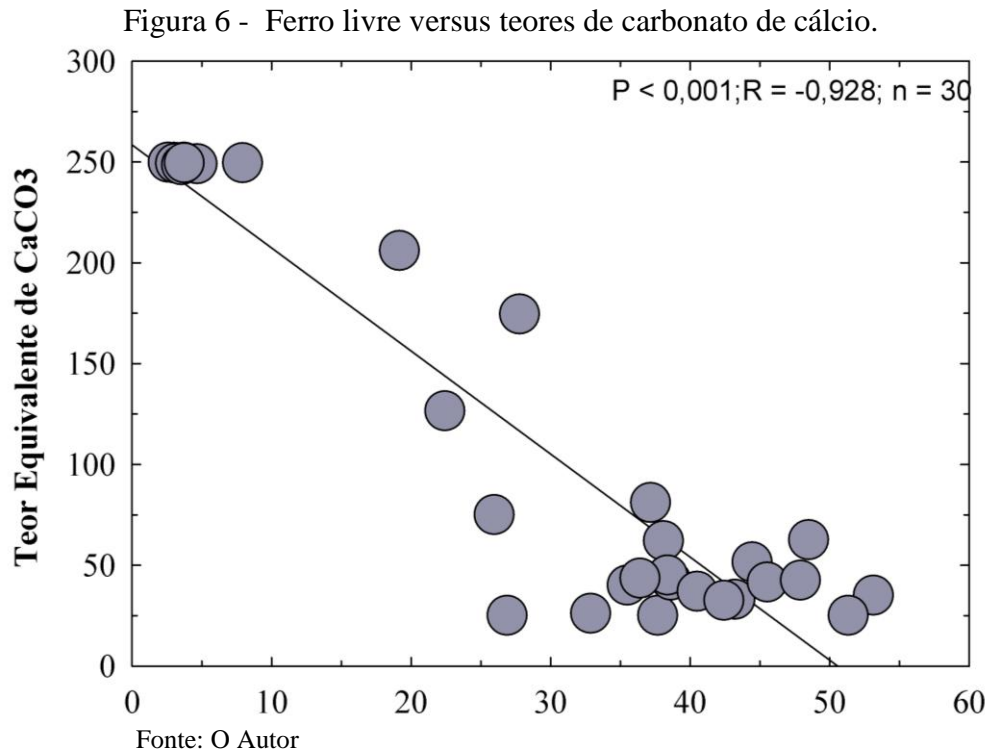
Legenda: Fes: Ferro extraído com ácido sulfúrico; Prof.: Profundidade; Arg.: Conteúdo de Argila; Horiz.: Horizonte. Fonte: O Autor

O maior teor de formas amorfas de ferro nos horizontes de superfície provavelmente está associado à interação da matéria orgânica com o ferro liberado pelo intemperismo (ANJOS et al. 2007; COELHO; VIDAL TORRADO, 2003.). A última inibe a cristalização das diferentes formas de ferro por meio de interações organo-metálicas (McKEAGUE; DAY, 1966) e, desta forma, inibe a sua cristalização em formas mais estáveis (COELHO; VIDAL-TORRADO, 2003). A relação ferro ativo, Feo/Fed, (COELHO; VIDAL-TORRADO, 2003) apresentada na tabelas 7 e 8, indica o maior teor de ferro de baixa cristalinidade em superfície corroborando a influência da matéria orgânica (ANJOS et al., 2007), sendo observado o contrário em subsuperfície.

Quanto aos teores de ferro cristalino, à exceção do perfil 1, os teores tendem a diminuir em profundidade no solum. O mesmo comportamento foi observado por MUGGLER et al. (1996), estudando solos derivados de calcário no sudoeste da Bahia, assim como por OLIVEIRA et al., (1998) estudando solos calcários no norte de Minas Gerais. Uma provável explicação para a diminuição dos teores de Fed em profundidade em alguns perfis, é sua associação com o CaCO₃ (BLUME; SCHWERTMANN; 1969), conforme observa-se na figura 6. Outra provável explicação é a imobilização do ferro na forma de concreções ferruginosas que tendem a aumentar de concentração em profundidade, conforme observações de campo. Em linhas gerais fica evidente uma maior concentração dos teores de Fed em

detrimento dos teores de Feo indicando desta forma, a maior presença de óxidos cristalinos em subsuperfície (OLIVEIRA et al., 1998; COELHO; VIDAL-TORRADO, 2003; ANJOS et al., 2007) e, portanto, de uma ação incipiente da pedogênese neste solos.

Quanto aos valores da relação Fed/Fes (Tabela 4) pode-se inferir que parte ferro presente no solo, ainda encontra-se na estrutura dos minerais alteráveis (ANJOS et al., 2007).



A relação Fed/Arg, no perfil 1 aumenta em profundidade, nos demais perfis a distribuição é contrária, ou seja, os valores da relação diminuem nos horizontes subjacentes. Estudos têm enfatizado que o aumento da relação significa segregação entre os teores de ferro e argila no solo (ANJOS et al., 2007; BLUME; SCHWERTMANN, 1969), e relações uniformes sugerem que os dois componentes estão mobilizando-se conjuntamente no perfil do solo (BLUME; SCHWERTMANN, 1969). Nos perfis estudados, observa-se que os teores de argila aumentam em subsuperfície, no entanto, os teores de ferro não acompanham a mesma tendência.

3.3.2 Micromorfologia de solos calcários da Chapada do Apodi-CE

Um resumo das descrições micromorfológicas referente aos horizontes diagnósticos dos perfis de solos estudados encontram-se na tabela 9. Em linhas gerais

observa-se diferenças no conteúdo da fração grosseira que tende a diminuir em direção a superfície côncava. Isto é bem evidenciado pelos valores da relação G/F (BULLOCK et al.,

1985) que tendem a diminuir ao longo da topossequência. Adicionalmente, estes resultados são também corroborados pela distribuição diferenciada das frações granulométricas nas diferentes superfícies.

Quanto à distribuição relativa, ocorrem basicamente dois padrões de distribuição, enaulica-porfírica ou porfírica fechada nos perfis 1, 2 e 3 (Fig. 7). Já nos perfis 4 e 5 (Fig. 8), ocorre distribuição relativa porfírica aberta, em virtude da proporção de material fino (BULLOCK et al., 1985). Esta variação no padrão de distribuição relativa está associada à quantidade de partículas grosseiras nos diferentes horizontes.

Quanto à microestrutura, conforme análise da tabela 5, esta é composta basicamente por blocos sub-angulares, com ocorrência de grânulos (Fig. 7), no entanto, nos horizontes diagnósticos dos perfis 4 e 5 a microestrutura é composta também por blocos angulares (Fig. 8). A pedalidade e o grau de acomodação dos pedis aumentam no sentido da superfície côncava, indicando uma pedogênese mais atuante (PAISANI; HENDGES, 2010), corroborando as evidências baseadas nos dados químicos, físicos e macro-morfológicos. Além disso, os maiores conteúdos de areia e nódulos (Fe/Mn) na superfície convexa e as menores proporções de plasma em seus solos devem desfavorecer um maior grau de pedalidade nos solos desta superfície.

Quanto à porosidade, análise micromorfológica indica uma porosidade diversificada nos diferentes horizontes (tabela 9). De um modo geral há o predomínio de fissuras seguidas de poros resultantes de atividades biológicas (Fig. 6 F) e de poros associados à dissolução mineral (Figs. 7 C). Deve-se destacar que há uma tendência de maior porosidade nos horizontes da superfície côncava, provavelmente devido a um maior grau de pedalidade nos solos desta superfície (BULLOCK *al.*, 1985).

Tabela 9 – Principais características micromofológicas dos solos estudados

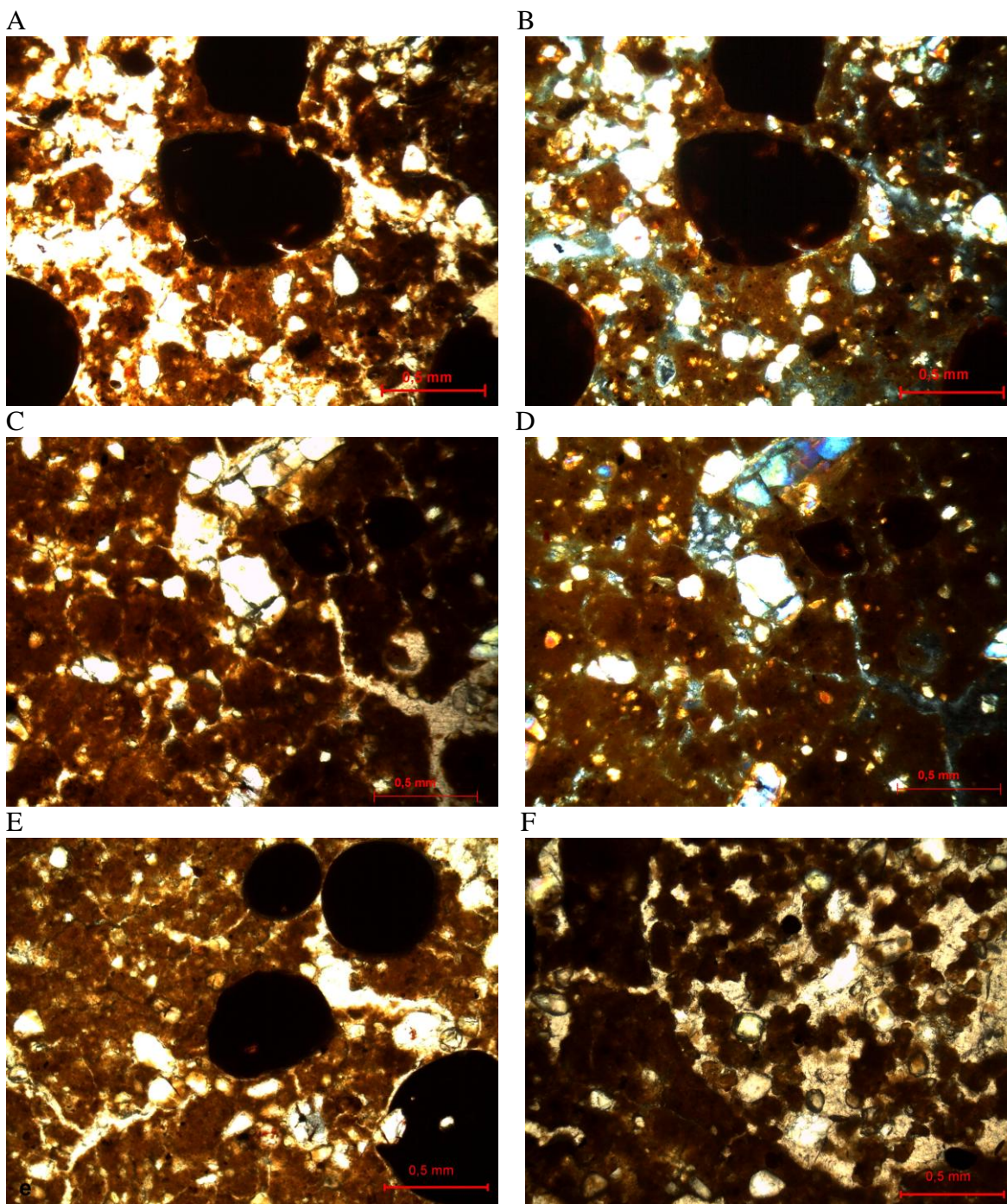
Perfil 1 - Cambissolo Háplico Carbonático saprolítico					
H / P	Descrição Geral da Lâmina	PDR	Microestrutura	Poros	Pedofeições
Bic 24 -47	Material grosseiro ocupando 50% da seção, enquanto material fino e poros ocupam 30 e 20% da seção respectivamente. Relação G/F - 5/3.	E-P	Composta por blocos sub-angulares com pedalidade de moderada a fracamente desenvolvida. Agregados não acomodados. Com tamanho variando de 0,0625 mm à 0,20mm.	Predomínio de canais e fissuras. Câmaras com diâmetro de 0,11 mm, fissuras e poros de empacotamento composto.	Presença de concreções ferro-manganosas (50 - 60 %). Feição de carbonato de cálcio e presença de poro mineral.
Perfil 2 - Cambissolo Háplico Carbonático saprolítico					
Bic 1 / 21 -31 cm	Material grosseiro ocupando 45 % da seção fina, já o material fino e o espaço poroso ocupam 20 e 50 % da área da seção respectivamente. Relação G/F – 4,5/2,0	E-P	Microestrutura de solo pedal apresentando grânulos coalecidos, blocos angulares e subangulares ocupando 20, 10 e 50% da fina seção respectivamente. Estrutura moderadamente desenvolvida. Grânulos com tamanho médio de 0,45mm. Blocos sub. e angulares apresentando tamanho médio de 1,8 e 0,6 mm respectivamente. Microestrutura apresentando-se como parcialmente à não acomodada.	Composto por fissuras, P.E.C, câmaras, canais(preenchidos por microagregados). Canais com comprimento médio de 2,5 à 3,0 mm e largura.	Presença de concreções ferro-manganosas (50%) de formas variadas. Os manganosos apresentam formas irregulares, já os de ferro são mais esféricos. Depleção de nódulos manganosos.
Perfil 3 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático típico					
Bick 2 52 - 68	Material grosseiro ocupando 40% do espaço da lâmina. Material fino e poros ocupando 35 e 25% respectivamente. Relação G/F – 4,0/3,5.	E-P	Microestrutura composta por blocos subangulares, que se desfazem em blocos menores. Presença de grânulos. Microestrutura com pedalidade moderadamente desenvolvida. Predomínio de blocos sub-angulares (90%) com tamanho variando de 0,3 à 0,5 mm. Os grânulos apresentam tamanho inferior à 0,1 mm.	Porosidade composta por fissuras, P.E.C, cavidades, vesículas e canais. Presença de poro planar	Presença de muitas concreções ferro-manganosas (35%). Vestígios de gastrópodos e presença de manchas esbranquiçadas no fundo matricial, indicando provavelmente feição de carbonato de cálcio.
Perfil 4 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático típico					
Bic 19 - 39	Material grosseiro ocupando 30% do espaço da lâmina, enquanto o material fino e o espaço poroso ocupam 40 e 30 % respectivamente do espaço da lâmina. Relação G/F – 3/4.	Porfírica aberta	Microestrutura com presença de blocos sub-angulares e grânulos, apresentando pedalidade fraca a moderadamente desenvolvida. Na microestrutura dominam os blocos sub-angulares. Os pedos encontram-se parcialmente a não acomodados, distribuídos de forma aleatória.	A porosidade presente é composta por vesículas e canais principalmente. Os canais têm comprimento variando de 0,1 à 0,5 mm.	Presença de preenchimento solto contínuo e descontínuo. Concreções de Fe/Mn apresentando , tamanho e formas variadas, ocupando de 25 à 30 % da fina seção; Presença de feição de depleção.

Tabela 9 – Principais características micromofológicas dos solos estudados (Conclusão)

Perfil 5 - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico					
Bic1/ 31 - 56 cm	Material fino ocupando 50 % da lâmina, enquanto material grossierio e poros ocupam 20 e 30% respectivamente. Relação G/F - 2/5.	Porfírica aberta	Microestrutura composta por grânulos e blocos sub angulares. A pedalidade é moderadamente desenvolvida. Os blocos angulares e sub-angulares apresentam uma abundância de 90%, em relação aos outros peds. A acomodação é forte a parcialmente acomodados.	Porosidade composta por fissuras, P.E.Composto e vesículas. As fissuras são não orientadas. Presença de poro planar.	Presença de concreções Fe/Mn em menor conteúdo e tamanho. Estes apresentam foramas variadas e ocupam de 5 à 10 da seção.

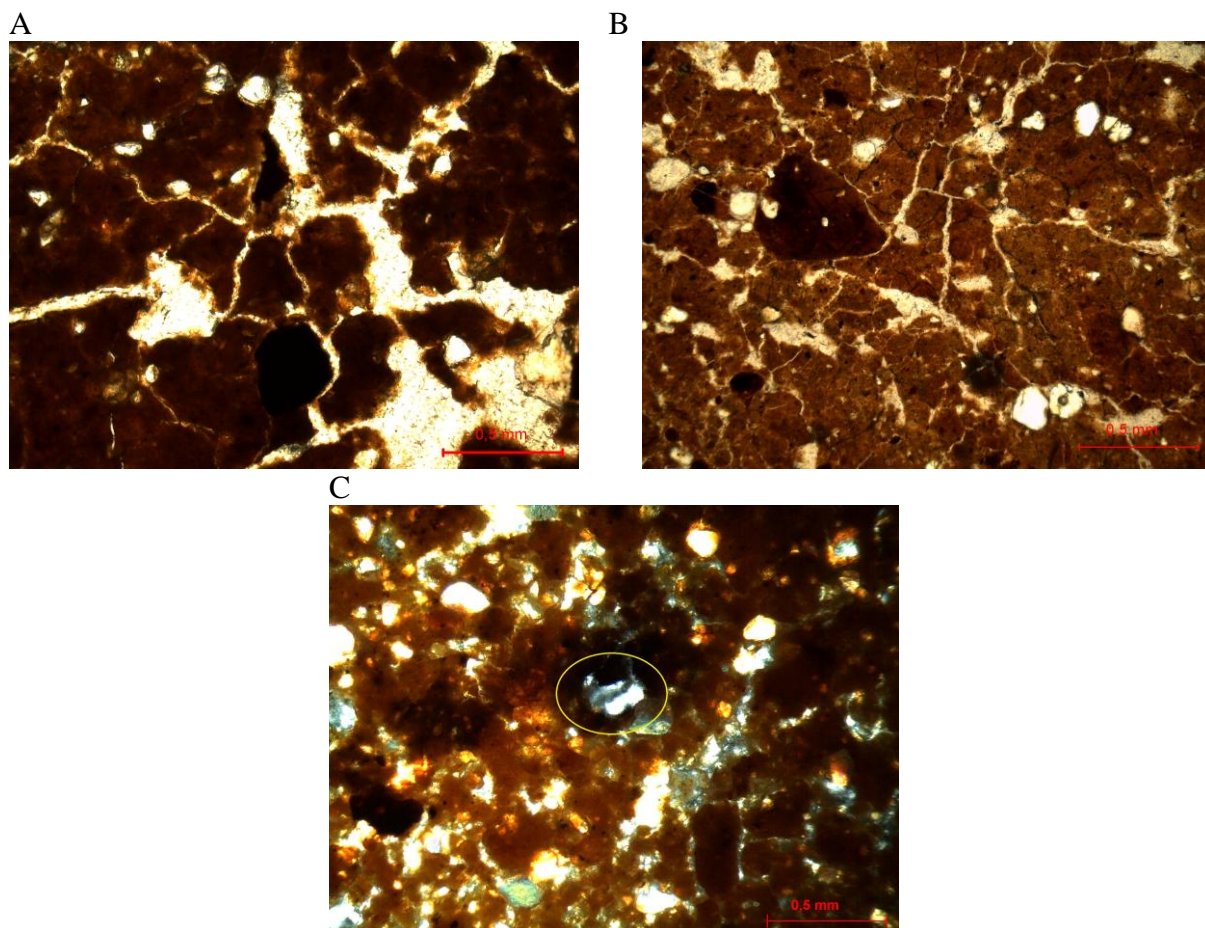
Legenda: E-P: Enaulíca-Porfírica; P.E.C – Poro de Empacotamento Complexo. Fonte: O Autor

Figura 7 – Fotomicrografias evidenciando a distribuição relativa e a microestrutura de horizontes Bi de Cambissolos derivados de calcário na Chapada do Apodi-CE. Fotomicrografias do lado esquerdo foram obtidas em luz plana; Fotomicrografias do lado direito obtidas em nicóis cruzados. Fotomicrografias A e B, referentes ao horizonte Bi1 do perfil 1 (superfície convexa); Micrografias C e D, referentes ao horizonte Bic1 do perfil 2 (superfície convexa); Fotomicrografias E e F, referentes ao horizontes Bic2 do perfil 3 (superfície retilínea). Aumento de 5x



Fonte: O Autor

Figura 8 – Fotomicrografias evidenciando a distribuição relativa e a microestrutura de horizontes e poros de dissolução mineral em Bi de Cambissolos derivados de calcário na Chapada do Apodi-CE. Fotomicrocografias A e B referentes aos perfis 4 (superfície retilínea) e 5 (superfície côncava); Fotomicrografia C, evidenciando um poro de dissolução mineral.



Fonte: O Autor

Dentre as feições pedológicas observadas destacam-se, as pedofeições de nódulos de ferro e manganês, feições depleção de CaCO_3 , nódulos micríticos, e pedofeições texturais de preenchimento (Figuras 9, 10, 11 e 12).

Quanto às feições de nódulos de ferro e manganês, estas são também conhecidas como “chumbinhos de caça” (OLIVEIRA et al., 2001; ERNESTO SOBRINHO, 1980) e são observadas em todos os solos sob influência do calcário na Chapada do Apodi-CE.

Em linhas gerais todos os nódulos observados destacam-se na matriz do solo apresentando cores variando entre marrom-avermelhado e o preto em luz normal e, quando em nicóis cruzados, também apresentam padrão similar ao percebido em luz normal, entretanto com tonalidade mais escura (Figs. 8).

Estas feições apresentam impregnação variando entre moderada à fortemente impreganada e o contraste com o fundo matricial é proeminente. Quanto à forma, os nódulos

variam desde esféricos a subangulares, apresentando também formas ameboidais. Os nódulos observados são típicos e nucléicos (BULLOCK et al., 1985).

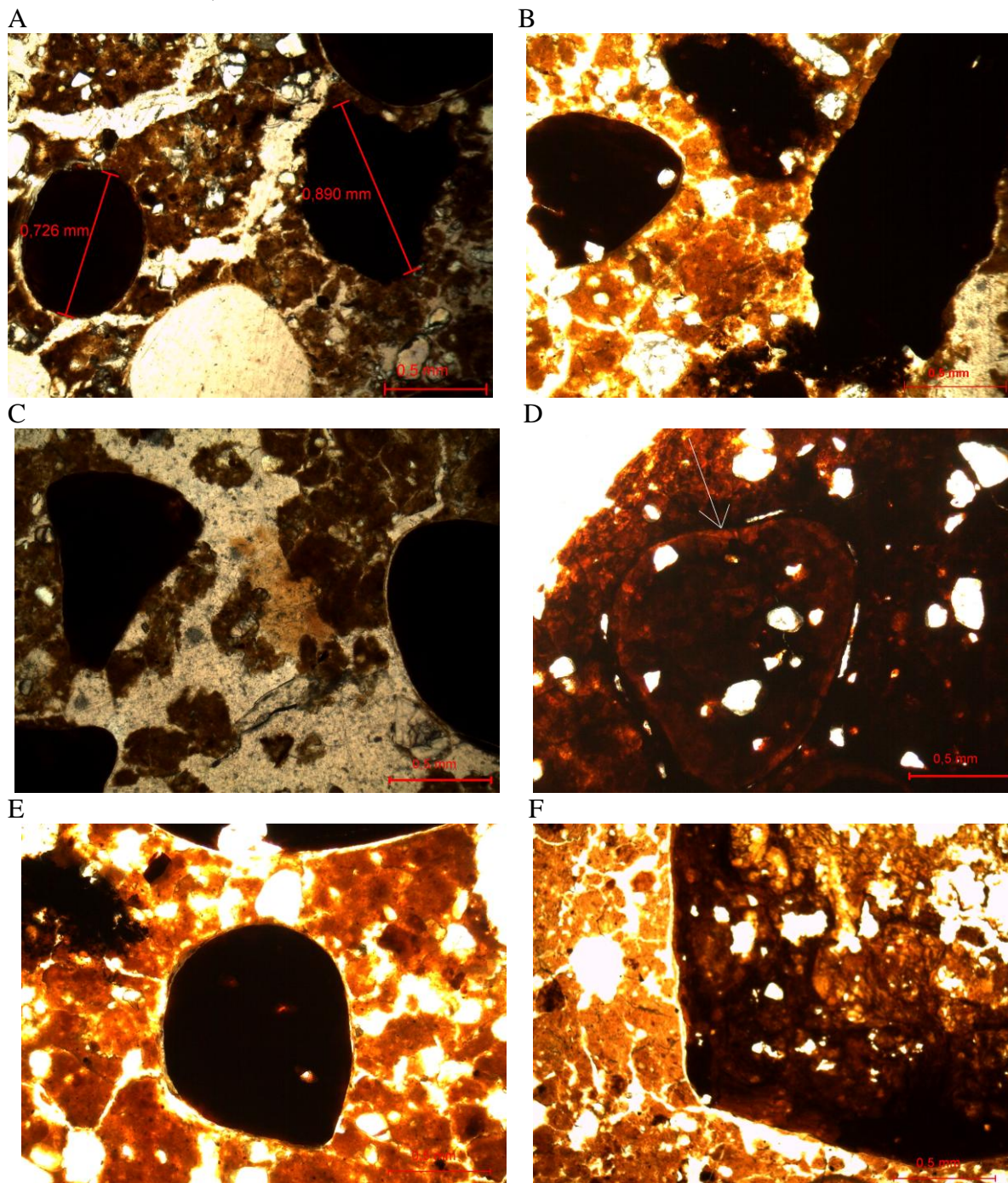
Foi observado ao longo da topossequência que o conteúdo e o tamanho de nódulos diminuem em direção a superfície côncava, conforme análise micromorfológica. Além disso, observa-se um aumento no conteúdo e no tamanho das concreções em profundidade. Provavelmente este aumento no tamanho e conteúdo de nódulos em subsuperfície esteja associado a variações no potencial redox (OLIVEIRA et al., 2001). Constatou-se também pelas descrições morfológicas que o processo de nodulação continua ativo principalmente nos perfis situados nas superfícies convexa e retilínea (perfil 3), em função do recapamento encontrado em alguns nódulos (Figs.8 D), o que pode ser o resultado de condições ambientais favorecendo este processo, visto que por um determinado período do ano solos da região encontram-se sob condições de encharcamento.

Quanto à morfologia interna e externa destas feições pedológicas (Fig. 10 – A e C), observa-se que o núcleo central que corresponde a maior área da feição não apresenta camadas concêntricas, como é característico para concreções (OLIVEIRA et al 2001), e sim uma massa de solo distribuída de forma errática, sendo então caracterizada como nódulo. Nas bordas observam-se algumas camadas de capeamento mineral (Fif. 9 B), provavelmente resultado dos ciclos de umedecimento e secagem. A fig. 9-D mostra a superfície esférica na porção externa do nódulo.

Tomando como base a cor e forma apresentada pela descrição micromorfológica, observa-se que existem dois grupos de nódulos. Os nódulos marrom-avermelhados de formas esféricas, subredondos e lisos, representam a maioria, enquanto os nódulos com formas subredondas, angulares, ondulados e de cor preta apresentam-se em menor proporção nas lâminas. Segundo Bullock et al. (1985), pedofeições de nódulos que apresentam cor preta e opaca podem ser constituídas de óxidos e hidróxidos de manganês, embora óxidos de ferro possam também estar presentes. Ainda segundo o mesmo autor, as outras formas podem ser compostas por hematita e goethita, podendo a última estar sendo mascarada pela ação da primeira.

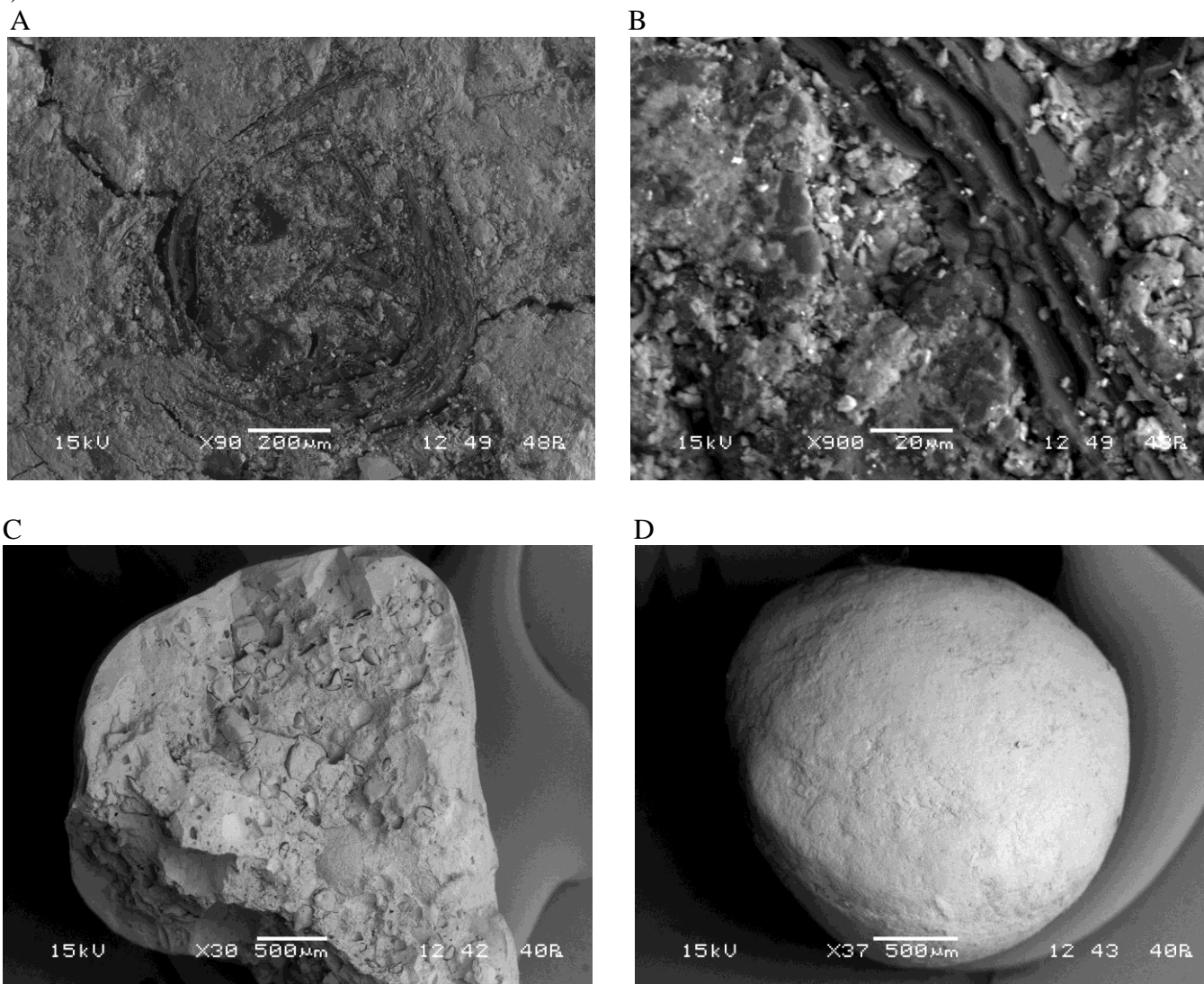
De fato, com base nas análises de MEV-EDS, observa-se que existem dois grupos de nódulos nos solos da Chapada do Apodi, caracterizado quimicamente por uma maior presença de ferro (Fig. 11) e outra caracterizada quimicamente pela presença de ferro e manganês (Fig. 12). Com base ainda nas mesmas figuras, nota-se que os nódulos são compostos principalmente por silício, alumínio. Outros elementos como titânio, zinco, cálcio, magnésio, níquel e potássio foram encontrados em menores quantidades.

Figura 9 – Fotomicrografias evidenciando pedofeições amorfas de uma topossequência de solos da Chapada do Apodi-CE. Fotomicrografias A e B referente aos perfis 1 e 2 (superfície convexa); Fotomicrografia C e D referente ao perfil 3 (superfície retilínea); Fotomicrografias E e F (seta branca indicando recapeamento do nódulo) referente aos perfis 4 e 5 (superfície retilínea e côncava). Aumento, 5x



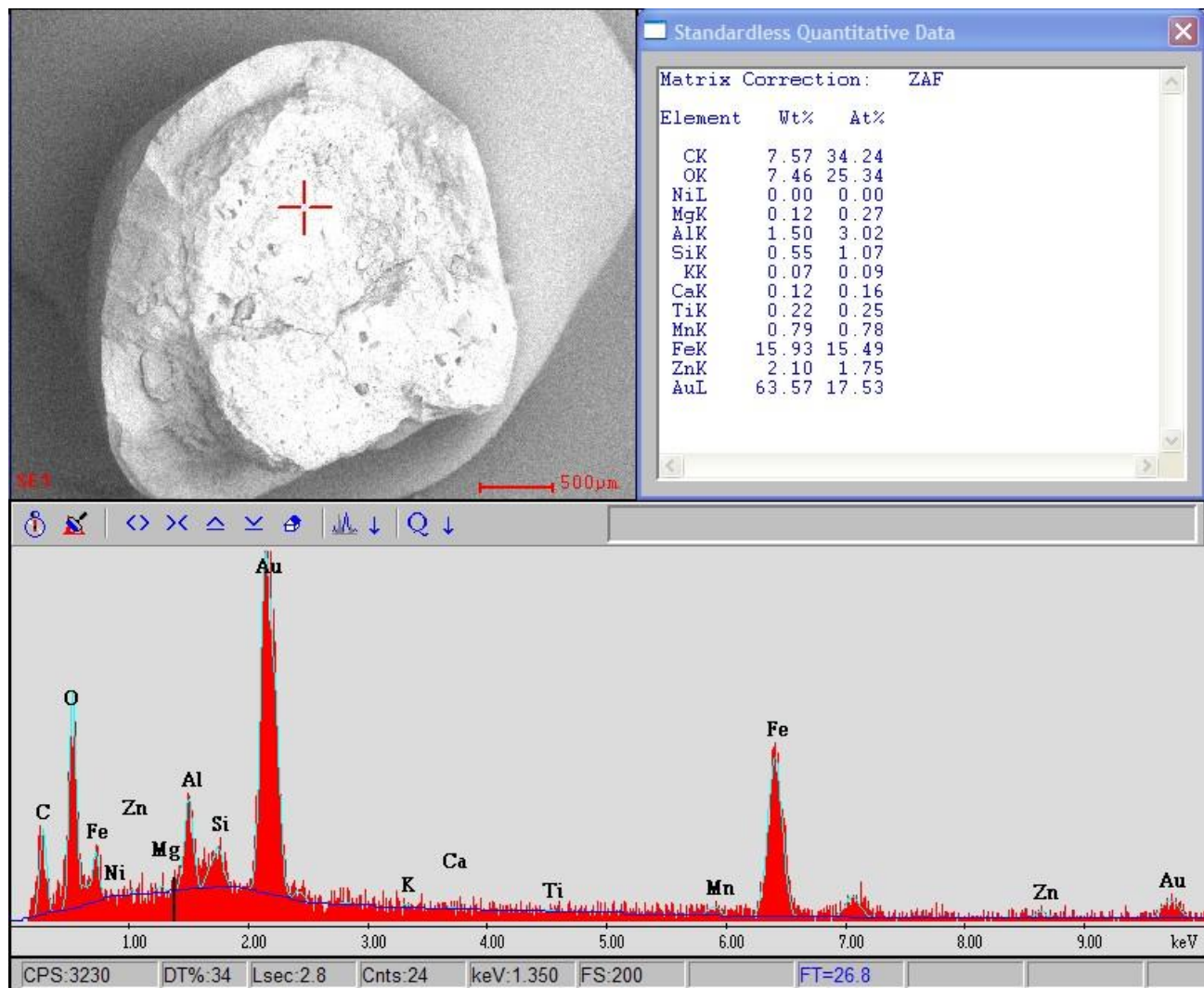
Fonte O Autor

Figura 10 – Imagens de MEV, o núcleo do nódulo (A), feições de deposição de camadas (B), nódulo sem organização da matriz (C) e superfície externa do nódulo(D).



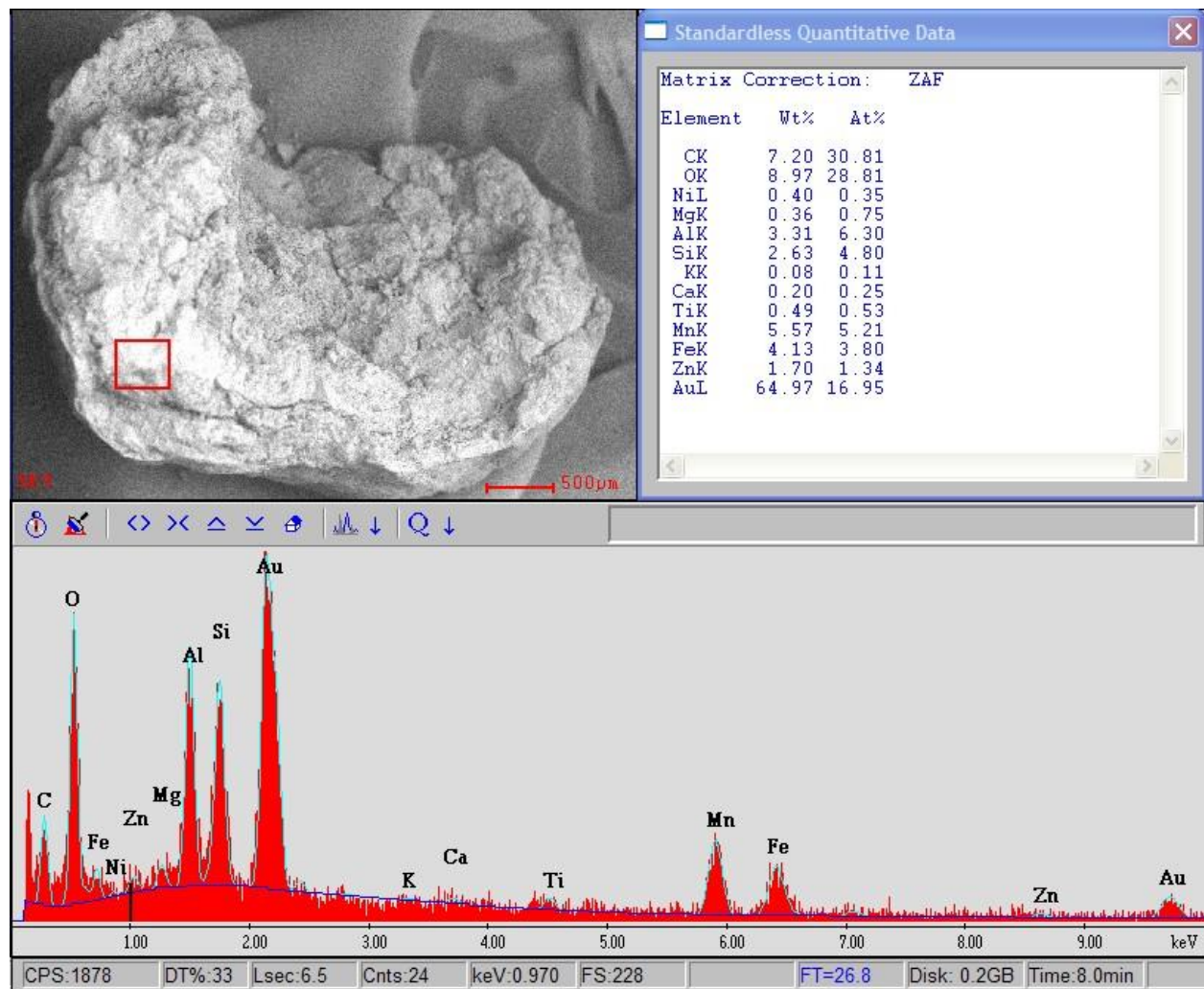
Fonte: O Autor

Figura 11 – Imagem de MEV-EDX de um nódulo ferruginoso, evidenciando sua composição química.



Fonte: O Autor

Figura 12 – Imagem de MEV-EDX de um nódulo ferro-manganeso, evidenciando sua composição química.



Fonte: O Autor

Com relação às feições de depleção de CaCO_3 e nódulos carbonáticos estas foram apenas visualizadas nas lâminas dos perfis localizados nas superfícies convexas e retilíneas, conforme mostram as figuras 13 (A, B, E e F) e 14 (A e B). Nos dois casos são observados processos semelhantes que é a degradação de feições pedológicas. Na figura 12 B e D, observa-se a presença de um poro mineral originado pela depleção de um nódulo carbonático e manganoso respectivamente. Na figura 13 E e F localizadas no horizonte Bi do perfil 3, nota-se um poro com precipitação de cristais aciculares, provavelmente de calcita (KHORMALI; ABTAHI; STOOPS, 2006; BULLOCK et al., 1985). Estas feições de precipitação de CaCO_3 corroboram os dados químicos de equivalente CaCO_3 , evidenciando uma menor ação da água nos perfis das superfícies convexas e retilíneas e, portanto, um ambiente favorável a precipitação de carbonatos. Cabe ressaltar ainda que a presença de solos mais rasos nestes locais e, portanto, com substrato rochoso mais próximo da superfície desfavorece a percolação de água e ambientes mais concentrados.

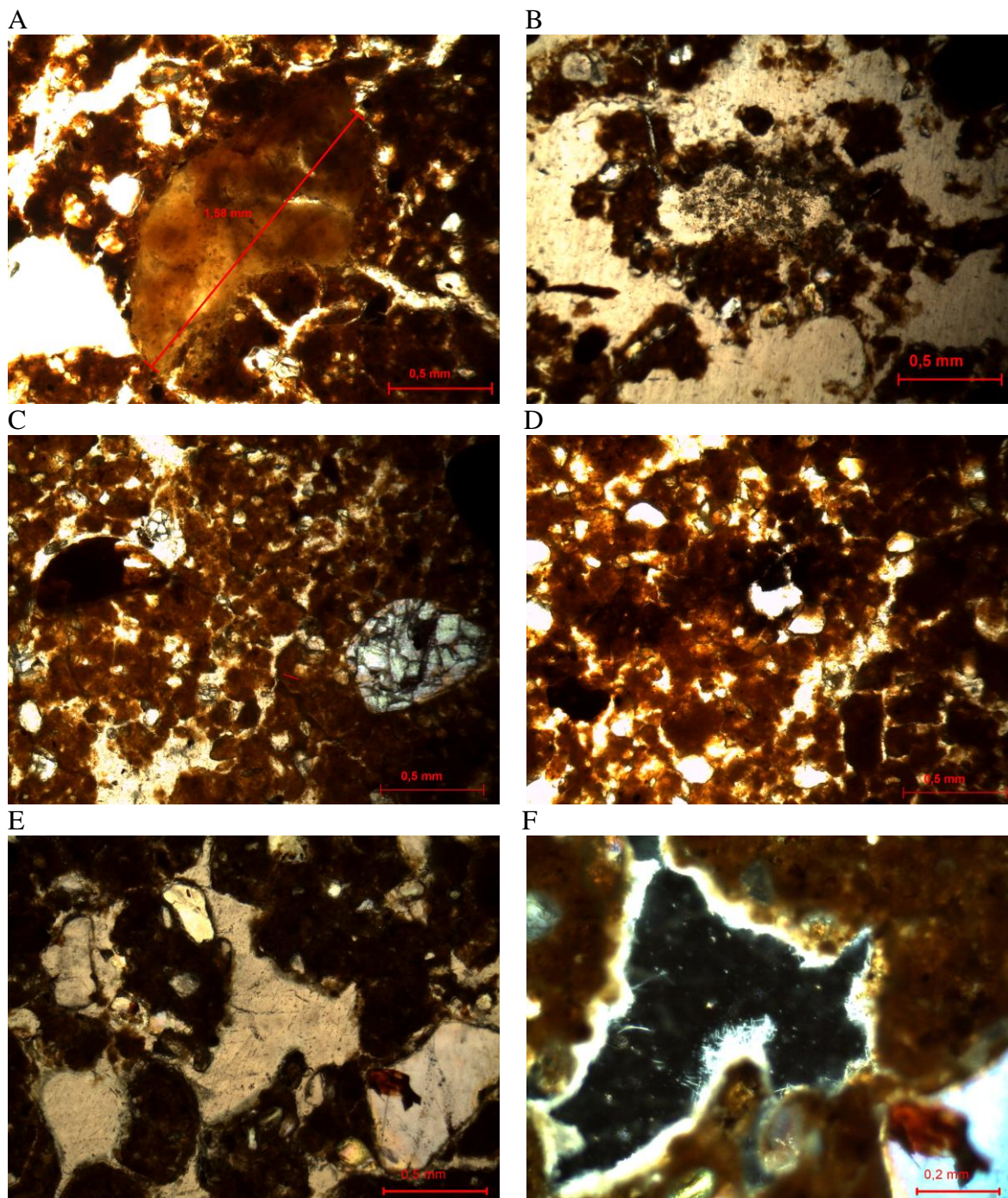
Além disso, os perfis das superfícies convexas e retilíneas, por serem pouco desenvolvidos, armazenam provavelmente um menor conteúdo de água estão naturalmente mais expostos a uma maior evapotranspiração. Sendo assim, a presença de nódulos carbonáticos nestes perfis pode também ser favorecida por estas condições.

Feições de carbonato de cálcio não foram observadas no perfil 4, que faz limite entre a superfície retilínea e a côncava, nem tampouco nos perfis 5 e 6 (côncava). Provavelmente isto deve-se a uma condição de maior dissolução destas feições na superfície côncava, devido a uma melhor condição de drenagem e ao fluxo preferencial de água no sentido desta superfície.

Conforme destacado no início desta discussão, observa-se feições pedológicas de preenchimento solto descontínuo (Fig. 13 C) esse tipo de feição é associada a intensa atividade da fauna do solo (OLIVEIRA et al., 2000). Quanto a fábrica birrefringente, os perfis P1, P2, P3 e P4 apresentam b-fabric cristalítica, enquanto os perfis 5 e 6, apresentam fábrica birrefringente paralela e granoestriada (Fig. 14 D).

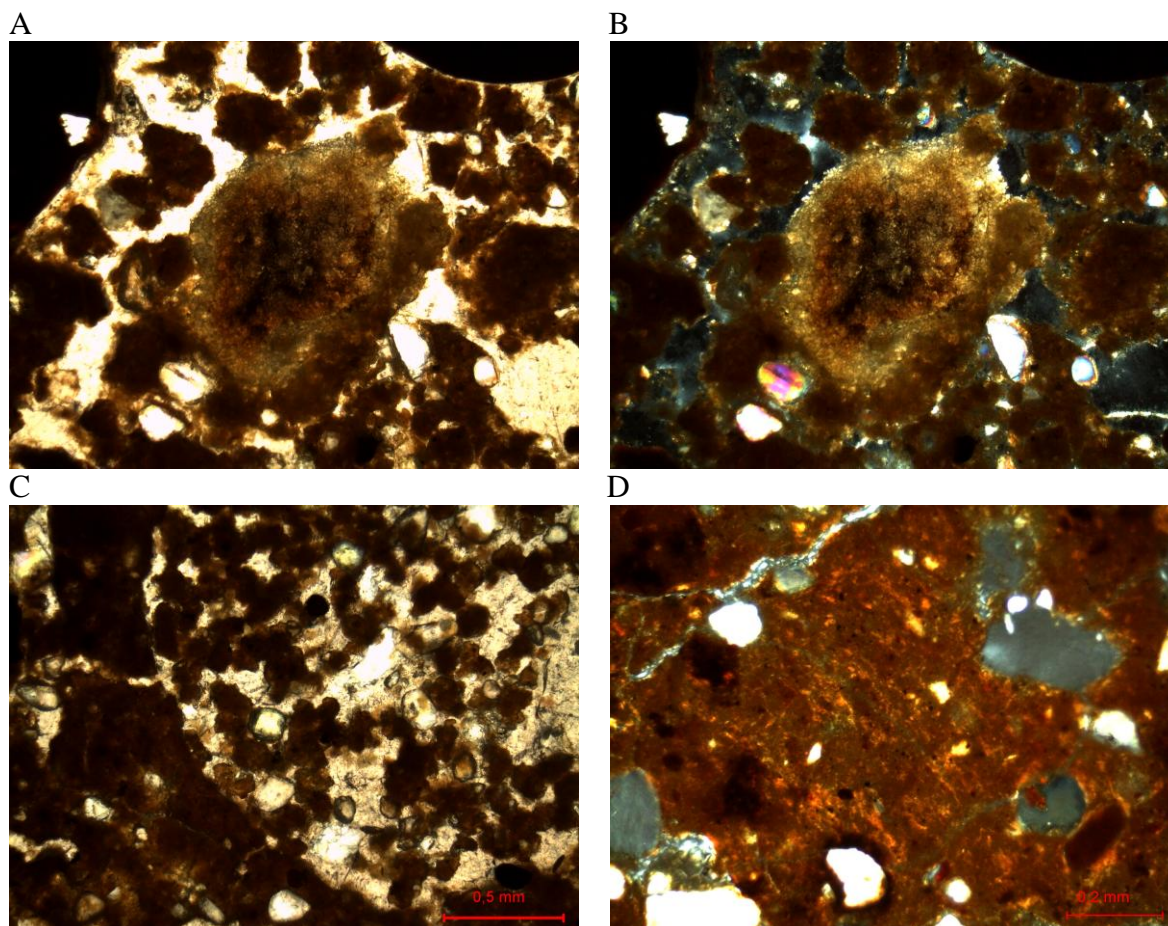
A presença de b-fabric cristalítica nos perfis já citados, está associada a presença de pequenos cristalitos de calcita na matriz do solo (BULLOCK et al., 1985). Esta presença de pequenos cristalitos está associada a processos de dissolução e reprecipitação de calcita na matriz do solo (SANTOS et al., 2002).

Figura 13 – Fotomicrografias evidenciando pedofeições carbonáticas, dissolução de CaCO_3 , preenchimento solto contínuo, dissolução nódulos manganosos, precipitação de calcita. Fotomicrografias A e B, referentes ao perfil 1 (superfície convexa); Fotomicrografias C e D, referentes ao perfil 2 (superfície convexa); Fotomicrografias D, E e F (10x) referentes ao perfil 3 (superfície retilínea). Aumento 5x.



Fonte: O Autor

Figura 14 – Fotomicrografias evidenciando pedofeições carbonáticas, preenchimento solto descontínuo e fábrica birrefringente. Fotomicrografias A e B, referentes ao perfil 3 (superfície retilínea) evidenciando nódulos carbonáticos; Fotomicrografias C, referentes ao perfil 3 (superfície retilínea) evidenciando preenchimento solto descontínuo; Fotomicrografias D (10x), referentes ao perfil 5 (superfície côncava) evidenciando fábrica birrefringente. Aumento: 5x.



Fonte: O Autor

A maior orientação do plasma nos solos da superfície côncava indica uma ação mais intensa dos processos de expansão e contração nestes perfis. Estes, por sua vez, seriam mais frequentes nos solos desta superfície devido ao direcionamento preferencial da água nestes locais. De fato, Presley et al., (2004) em um estudo micromorfológico em solos calcários evidenciaram maior ocorrência destas feições de estriamento em solos onde a ação da água era mais intensa e, portanto, mais sujeitos aos estresse promovido pelos processos de expansão e contração.

3.3.3 Material de origem e relevo de superfície e subsuperfície

Quanto à caracterização química das amostras de rocha, os resultados encontram-se na tabela 10. Conforme análise da tabela observa-se nitidamente que os dois calcários são

calcínicos, conforme análise do teor de CaO% (GALLO; CATANI; GARGATINI, 1956). No entanto, observa-se uma diferenciação na composição química, principalmente no que se refere aos teores de SiO₂, Fe₂O₃ e RI. Ainda na mesma tabela, pode-se observar que o calcário situado na superfície convexa é mais dolomítico do que o situado na superfície côncava, assim como seu percentual de resíduos insolúveis é inferior ao da côncava.

Quanto aos radargramas posicionados na área conforme esquema da figura 15, e apresentados nas figuras 16 e 17, não foram identificadas feições de dissolução conforme observado por Xavier Neto (2006) em sondagem geofísica realizada na Fazenda Belém, no município de Aracati-CE. No entanto observa-se que o contato entre o saprólito e o solo é muito irregular nas duas superfícies analisadas. Outra observação com relação aos radargramas, é que no perfil da superfície côncava (Fig. 7) observa-se aprofundamento do perfil do solo, assim como um abatimento do saprólito.

Tabela 10 – Composição química de amostras de rocha calcária da Chapada do Apodi – CE.

Amostra	Superfície	SiO ₂ %	CaO %	MgO %	Fe ₂ O ₃ %	RI %
A	convexa	0,85	47,97	1,33	0,58	1,2
B	côncava	4,06	46,12	1,05	1,34	4,93

Fonte: O Autor

Figura 15 - MED indicando o provável fluxo hídrico superficial (setas brancas) e a localização das seções GPR. Fonte: O Autor

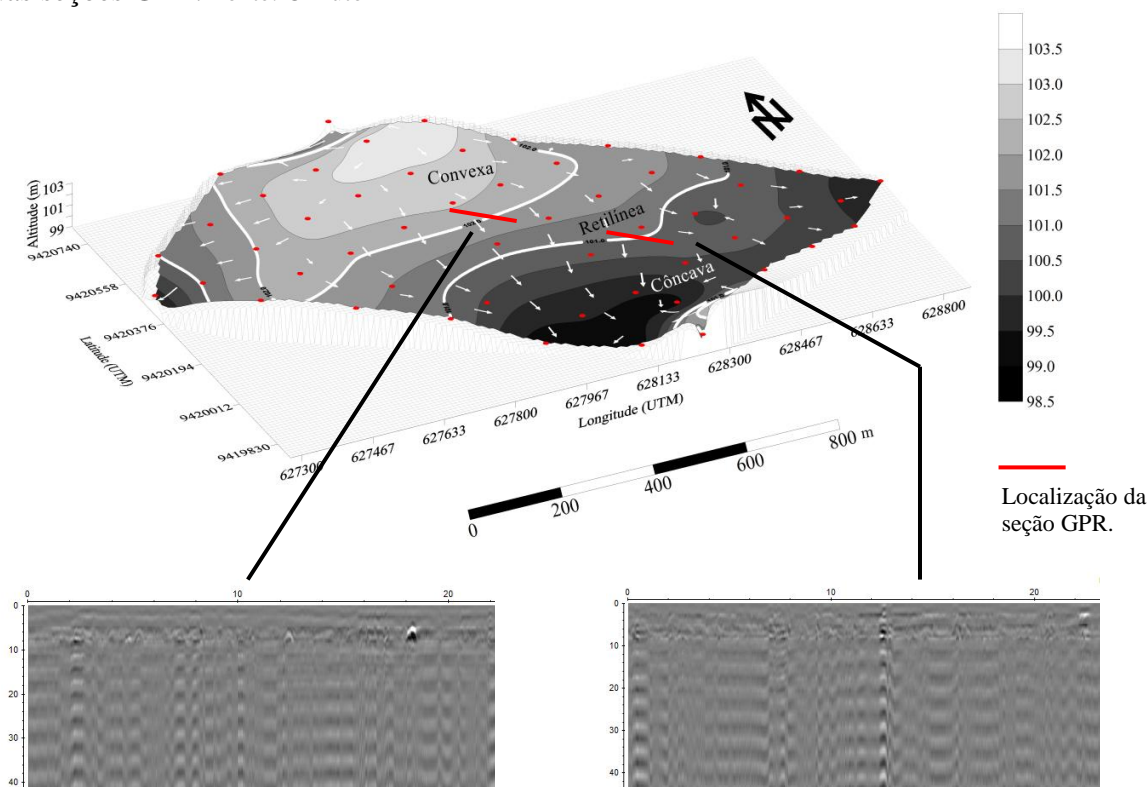
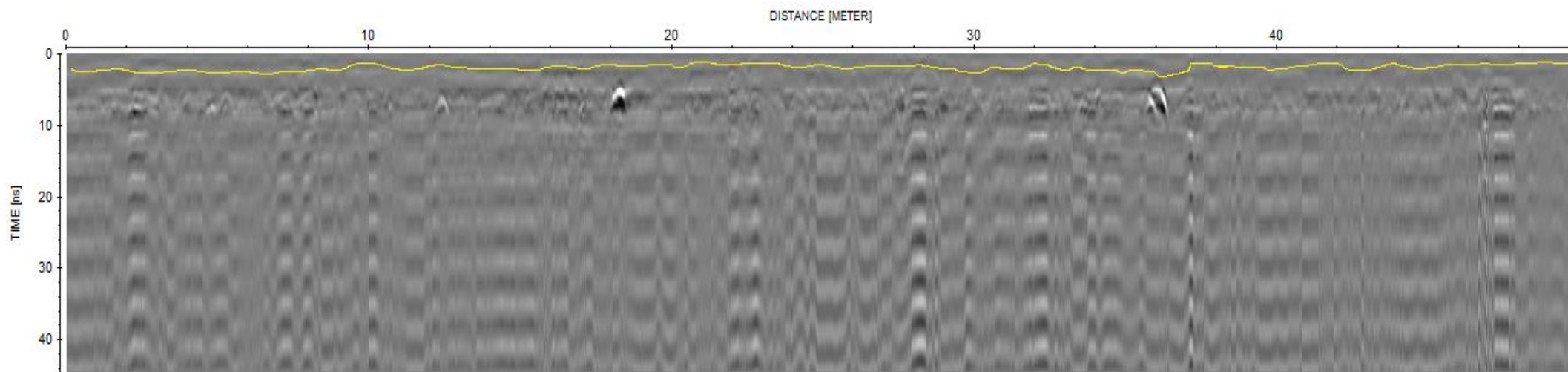
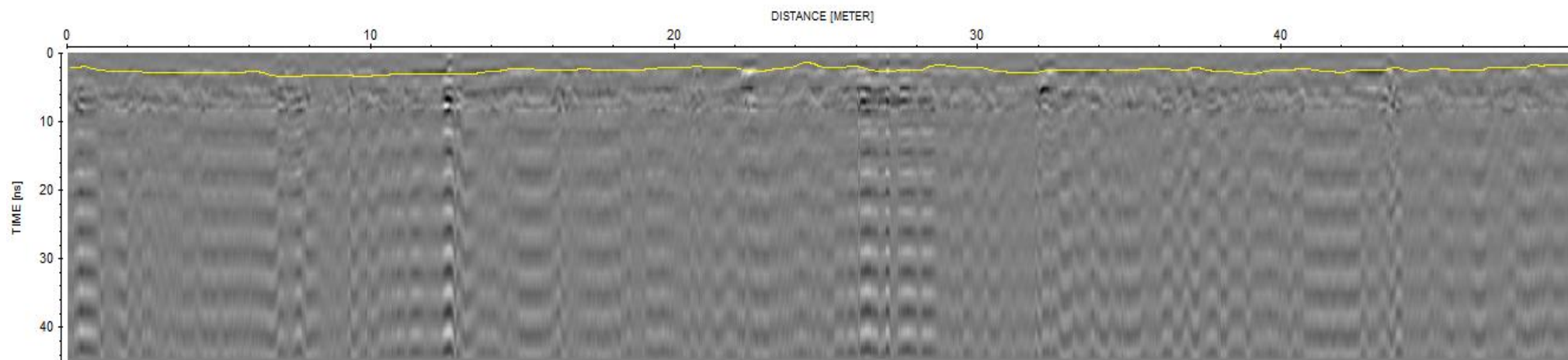


Figura 16 – Radargrama da superfície convexa, evidenciando o perfil de solo e o contato com o saprólito.



Fonte: O Autor

Figura 17 – Radargrama da superfície côncava, evidenciando o perfil de solo e o contato com o saprólit



Fonte: O Autor

A caracterização química das rochas indica uma composição química diferenciada do material de origem dentro da área de estudo. Neste caso duas variáveis merecem destaque: o percentual de óxido de magnésio e a porcentagem de RI. Estudos pretéritos relatam que calcários mais calcíticos (côncava) têm maior solubilidade do que a calcários mais dolomíticos (convexa), e que teores de RI em calcários estão diretamente relacionados ao potencial do material em formar solo (CIRIC; SENIC, 1985).

De posse destas informações pode-se inferir que o microrelevo de superfície ao direcionar o fluxo hídrico para a superfície côncava, dada devidas condições de pH, temperatura e pressão parcial de CO₂ (XIANG et al. 2009; SHIH et al. 2009) favorece uma maior dissolução do material de origem, que por apresentar um maior teor de RI e uma maior solubilidade, condicionaria uma maior pedogênese (CIRIC; SENIC, 1985).

A presença de um relevo de subsuperfície irregular e de com forma de abatimento na subsuperfície na região côncava pode evidenciar o início de um processo de karstificação do material de origem neste local (WALSH; MORAWIECKA-ZACHARAZ, 2001; XAVIER NETO, 2006) fato que reforça a hipótese de maior dissolução do calcário e, também, de maior ação da pedogênese. A sondagem com o GPR na área de estudo não identificou em subsuperfície a presença de fraturas.

3.4 CONCLUSÕES

As diferentes superfícies de relevo favorecem uma gênese distinta dos solos, influenciando sua macro e micromorfologia, química e distribuição de partículas (areia, silte e argila). Os resultados obtidos neste estudo evidenciam uma maior ação da pedogênese na superfície côncava devido, principalmente à maior dinâmica hídrica na área.

Além do relevo de superfície as características do relevo de subsuperfície e a composição química da rocha calcária parecem favorecer a ação diferenciada da pedogênese.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, E. L. L. **Química e mineralogia de três pedons originários de calcário da Chapada do Apodi – CE.** 2002. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002
- ANJOS et al. Caracterização e classificação de plintossolos no município de Pinheiro – MA. **Revista Brasileira de Ciências do Solo.** v. 31, p.1035-1044, 2007.
- BLUME, H. P.; SCHWERTMANN. Genetic of profile distribution os aluminum, iro, and manganese oxides. **Soil Science Society of America, Proc.**, v. 33, p. 438-444.
- BOERO, V.; SCHWERTMANN, U. Iron oxide mineralogy of Terra Rossa and its genetics. **Geoderma**, v.44,p. 319-327, 1989.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. LEVANTAMENTO EXPLORATÓRIO RECONHECIMENTO DE SOLOS DO ESTADO DO CEARÁ.** Vol. RECIFE. 297p, 1973.
- BULLOCK et al. Handbook for soil thin description. Waine. 185p, 1985
- CAMARGO, L. A.*et al.* Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um latossolo sob diferentes formas do relevo. **Revista. Brasileira. de Ciências do Solo**, v. 32, p. 2269-2277. 2008.
- CEARÁ.** Comissão de Planejamento Agrícola. Projeto de desenvolvimento rural integrado do Ceará -Situação Geográfica, Recursos Humanos e Recursos Naturais. Fortaleza: CEPA, v.1, n.32, 272 p, 1980.
- CIRIC, M.; SENIC, P.S. Intensitu of dissolution of limestone and dolomite in different soil media (field experiment). **Catena.** v. 12, p. 211-214, 1985.
- COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização de gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru. I – química. **Revista Brasileira de Ciências do Solo.** v.27, p. 483-494, 2003.
- CORNELL, R. M.; SCHWERTMANN, U. The Iron Oxides: structure, properties, reaction, ocorruences and uses. 2º ed, WILEY-VCH, 659p. 2003.
- COSTA, M.C.G. *et al.* Profundidade do solo e micro-relevo em bananais irrigados: impactos na nutrição mineral e potencial produtivo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 03, p. 567-578, 2011.
- CPMR. Serviço Geológico do Brasil. Atlas dos recursos hídricos subterrâneos do Ceará. Fortaleza, Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará, 1999. **CD-ROM.**
- EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de**

solo.2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação do Solo**. Rio de Janeiro 2 ed, 306p. 2006.

ERNESTO SOBRINHO, F. Caracterização, gênese e interpretação para uso de solos derivados de calcário da região da Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte. 1980. 133 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1980.

FEITOSA, E. C. **A exploração do aquífero Açú na região de Mossoró – RN:** Caracterização da situação atual e perspectiva de atendimento da demanda futura (Programa de água subterrânea para a região nordeste – Série Hidrogeologia: Pesquisa e Desenvolvimento, 1). Brasília: CPRM, 1996. 44p, 1996

GALLO, J. R.; CATANI, R. A.; GARGANTINI, H. Efeito de três tipos de calcários na reação do solo e no desenvolvimento da soja. BRAGANTIA, Boletim técnico do Instituto Agrônomo de Campinas, v.15, p. 122-130, 1956.

GIRÃO, R. O. **Pedogênese de um ambiente cárstico no clima semiárido em Limoeiro do Norte-CE.**2011. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

GHIDIN, A. A. et al. Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. I – Mineralogia da fração argila. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 30, p. 293-306, 2006.

KHORMALI, F.; ABTAHI, A.; STOOPS, G. Micromorphology of calcitic features in highly calcareous soils of Fars Province, Southern Iran. *Geoderma*. v. 132, n. 1, p. 31-46, 2006.

KILMER, V.J. Silicon. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v.2, p.959-962. (Agronomy, 9).

LEÃO, M.G.A. **Relação entre atributos de uma vertente com Latossolos e qualidade de frutos cítricos**. 2004, 119f. Mestrado (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Paulista. Jaboicabal, 2004.

LEMOS et al. Evaluation of characteristics of cambisols derived from limestone in low tabelands in northeastern Brazil: Implication for management. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. n. 8, v. 32, p. 1997.

LIMA NETO et al. 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, n. 2, p. 473-486, 2010

McKEAGUE, J. A.; DAY, J. H. Dithionite- and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Canadian Journal Soil Science*. v.46, p.13-22, 1966.

MERINO, E.; BANERJEE, A. Terra rossa genesis, implications for karst, and eolian dust: a geodynamic thread. **Journal of Geology**, v.116, p. 62–75, 2008.

____NBR 8816: Cal virgem para aciaria – Determinação de perda ao fogo, anidrido silícico mais resíduo insolúvel, óxido de cálcio e magnésio. Rio de Janeiro, 1985.

MIKO, S.; DURN, G.; PHORIC´. Evaluation of Terra Rossa geochemical baselines from Croatian karst regions. **Journal of Geochemical exploration**. v. 66, p. 173-182, 1999.

MOTA, J. C. A. *et al.* Atributos mineralógicos de três solos explorados com a cultura do melão na Chapada do Apodi – RN. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.31, p. 445-454, 2007.

MUGGLER, C. C *et al.* Características pedológicas de ambientes agrícolas nos Chapadões do Rio Corrente, sudoeste da Bahia. *Pesquisa agropecuária brasileira*. v. 31, n. 03, p.221-232, 1996.

NOGUEIRA, F. C. C. *et al.* Radar de penetração no solo (GPR) aplicado ao estudo de estruturas tectônicas neógenas na Bacia Potiguar-NE do Brasil. **Revista de Geologia**, v.19, n.1, p. 23 – 33. 2006.

OLIVEIRA, M. F. G. *et al.* Fluxo difusivo de zinco em amostras de solo influenciado por textura, íon acompanhante e pH do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p. 609-615, 1999.

OLIVEIRA, D.P *et al.* Geoestatística e modelo numérico de terreno em ciências do solo: estudo de caso na Chapada do Apodi - Ceará. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 4141-4147.

OLIVEIRA JUNIOR, J. C. de.; SOUZA, L. C. P.; MELO, V. F. Variabilidade de atributos físicos e químicos de solos da formação guabirtuba em diferentes unidades de amostragem. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.34,p. 1491- 1502. 2010.

OLIVEIRA, D.P *et al.* Geoestatística e modelo numérico de terreno em ciências do solo: estudo de caso na Chapada do Apodi - Ceará. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 4141-4147.

OLIVEIRA, D. P. (b). Caracterização, gênese e mineralogia de solos da Chapada do Apodi-CE: O papel do microrrelevo. 2009, 79f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

OLIVEIRA *et al.* Caracterização de concreções de ferro-manganosas de solos de calcário no norte do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 25, n. 3, p. 565-574, 2001.

OLIVEIRA *et al.* Atributos micromorfológicos de solos do Projeto Jaíba, norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 24, n. , p. 117 – 128, 2000.

PAISANI, J. C.; HENDGES, E. R. Análise de imagens na quantificação de atributos micromorfológicos (microfábrica) de depósito de encosta. *Revista de Geografia*,v. 27, n. 3, p. 166 – 179, 2010.

PAL, D. K.; SRIVASTAVA.; BHATTACHARYYA, T. Clay illuviation in calcareous soils of the semiarid part of the Indo-Gangetic Plains, Índia. **Geoderma**. v. 115, n. 3-4, p. 177-192, 2003.

RIBEIRO *et al.* Química dos solos salinos e sódicos. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds). **Química e Mineralogia do Solo. Parte II- Aplicações**. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo-SBCS.529p, 2009.

SANTOS *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5ª Ed., Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, 100p, 2005.

SANTOS, M. C.; SILVA, M. S. L.; ALMEIDA, B. G.; KLAMT, E.; CAVALCANTI, A. C. Caracterização micromorfológica e considerações sobre a gênese de solos de tabuleiro do semi-árido do Brasil. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. v.26, p. 1031-1046, 2002.

SCHWERTMANN, U., Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironments. In Stuck, J. W.; GOODMAN, B. A. & SCHWERTMANN, U. (Eds.), **Iron in Soils and Clay Minerals**, NATO Advanced Study Institute, Reidel, Dordrecht, p.267-308, 1988b.

SHIH, S.-M.; LIN, J.-P.; SHIAU, G.-Y. Dissolution rates of limestone of different sources. *Journal of Hazardous Materials*. V.79, n. 1-2, p. 159-171, 2000.

SILVA, F. J. da. **Classificação de alguns solos identificados na Chapada do Apodi**. 1970. 101f. Tese (Escola de Pós-Graduação) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1973.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BENTO, M. J. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **R. Bras. de Eng. Agríc. e Ambiental**.v 8, n.1, p 51-58.2004.

TORRENT, J; SCHWERTMANN, U; SCHULZE, D.G.. Iron oxide mineralogy of some soils of two river terrace sequences. **Geoderma**. 23: 191 – 208. 1980.

TROEH, F. R. Landform equations fitted to contour maps. **Solis Science Society American Journal**. New York, v.263,p. 616-627. 1965.

XAVIER NETO, P. Processamento e interpretação de dados 2D e 3D de GPR: Aplicações no imageamento de feições cársticas e estruturas de dissolução no campo de petróleo de Fazenda Belém-CE. 2006, 176f. Tese (Geodinâmica e Geofísica) Centro de Ciências Exatas e da Terra. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

XIANG, G. et al. Dissolution of limestone for wet flue gas desulfurization in the presence of sulfite. **Journal of Hazardous Materials**. v. 168, n. 2-3, p. 1059-1064

YASSOGLU, N.; KOSMAS, C.; MOUSTAKAS, N. The red soils, the origin, properties use and management in Greece. **Catena**, v. 28, p. 267 – 278, 1997.

WALSH, P.; MORAWIECKA-ZACHARZ, I. A dissolution pipe paleokarst of mid-Pleistocene age preserved in Miocene limestone near Staszów, Poland. **PALEO**. v. 174, p. 327-350, 2001.

4 MINERALOGIA DE SOLOS DERIVADOS DE CALCÁRIO DA CHAPADA DO APODI-CE, SOB INFLUÊNCIA DO MICRORRELEVO

RESUMO

Os Cambissolos representam a principal classe de solos encontrada na Chapada do Apodi-Ce, que é o resultado da interação entre os fatores de formação do solo. Apesar da monotonia apresentada pelo relevo plano, na região são encontrados Cambissolos com características químicas, físicas e mineralógicas distintas, tais diferenças podem ser o resultado de pequenas oscilações do microrrelevo em associação com o material de origem. O objetivo deste trabalho foi caracterizar mineralogicamente uma topossequência de solos da Chapada do Apodi-CE em diferentes pedoformas. Com base em estudos já realizados, foram alocadas cinco trincheiras em três pedoformas (convexa, retilínea e côncava). Realizaram-se as descrições morfológicas das trincheiras e coletaram-se amostras para análises físicas, químicas e mineralógicas. A fração argila desferrificada e concentrada em óxidos de ferro de horizontes diagnósticos foram submetidas à difração de raios X. Com o intuito de caracterizar o relevo de subsuperfície, foi utilizado um radar de penetração no solo (GPR), utilizando antena de 200 MHz e espaço temporal de 70 ns. Os dados morfológicos indicam a presença de solos profundos e horizontes diagnósticos mais espessos em direção a superfície côncava. A relação K_i e conteúdo de argila apresentaram comportamento distinto, ou seja, quanto menor o índice K_i , maior o conteúdo de argila. Os DRX indicam que a superfície côncava caracteriza-se, como um ambiente favorável a uma melhor cristalização da caulinita, enquanto a superfície convexa favorece a presença de argilominerais 2:1. Quanto aos óxidos de ferro, a relação Fe_o/Fe_d indica um maior conteúdo de óxidos cristalino. Os solos estudados favorecem a presença da goethita, no entanto, esta coexiste com a hematita.

Palavras-chave: DRX, Caulinita, Óxidos de ferro

4 MINERALOGY OF SOILS DERIVED OF LIMESTONE OF APODI PALTEAU-CE, UNDER INFLUENCE MICRORELIEF

ABSTRACT

Cambisols represent the major soils class found at the Apodi Plateau-Ce (Chapada do Apodi), reflecting interaction between the soil formation factors. Despite the monotony presented by the plan relief, the Cambisols found in the studied region presents distincts chemical, physical and mineralogical characteristics, as a result of small variations in microrelief associated with the parent material. The objective of this study was to characterize the soil mineralogy in a toposequence in Apodi Plateau-CE at different landforms. Based on previous studies, five soil profiles were described in three landform classes (convex, concave and plain). Furthermore, at each soil profile, samples were collected for physical, chemical and mineralogical characterization. The iron-oxides free clay samples and Fe concentrated samples from diagnostic horizons were analyzed by X-ray diffraction and a ground penetrating radar (GPR, 200 MHz antenna and space time of 70 ns) was used in order to characterize the subsurface topography. The morphological data indicate the presence of deeper soils and thicker diagnostic horizons toward at the concave surface. The Ki index presented an inverse relation to clay content, i.e. the lower the Ki index represent a higher clay content. The XRD indicated that the concave surface characterizes as an environment for a better kaolinite stability, while the convex surface favors the presence of clay 2:1. The Feo / Fed ratio indicates a higher content of crystalline oxides. Moreover, these soils favors the presence of goethite, however, it coexists with hematite.

Key words: XRD, Kaolinite, Iron oxides

4.1 INTRODUÇÃO

Os solos derivados de calcários são encontrados em muitas partes do mundo e quando ocorrem em regiões de clima mediterrâneo são freqüentemente denominados de Terras Vermelhas, o que se deve à sua cor avermelhada, que geralmente (BELLANCA *et al.*, 1996; DURN; OTTNER; SLOVENEK, 1999; OWLIAIE; ABTAHI; HECK, 2006).

As terras vermelhas são caracterizadas mineralogicamente, por uma ampla variedade de argilominerais como paligorskita, illita, caulinita, vermiculita, esmectita e clorita (BOERO *et al.*, 1992; DURN; OTTNER; SLOVENEK, 1999; OWLIAIE; ABTAHI; HECK, 2006). Quanto aos óxidos de ferro estudos relatam que os solos terra vermelha, em função de algumas características pedológicas apresentadas como alta ciclagem de matéria orgânica, elevadas temperaturas, pH próximo da alcalinidade, boas condições de drenagem e boa aeração favorecem a presença da hematita em detrimento da goethita (BOEIRO *et al.*, 1992; COLOMBO; TORRENT, 1991), no entanto estudos relatam que hematita e goethita podem coexistir em função de ciclos de umedecimento e secagem (BOERO; SCHWERTMANN, 1989).

Investigações desenvolvidas em três classes de solo (Cambissolo, Latossolo e Argissolo) na região da Chapada do Apodi nos estados do Rio Grande do Norte e Ceará, observaram que a assembléia mineralógica da fração argila destes solos era essencialmente constituída por caulinita (ALENCAR, 2002; MOTA *et al.*, 2007). No entanto, estudos pretéritos também realizados em solos da Chapada, identificaram a presença de minerais expansivos de alta atividade e associaram tais diferenças a posição do solo na paisagem, assim como a superficialidade do material de origem (LEMOS *et al.*, 1997; ERNESTO SOBRINHO, 1980).

Mais recentemente, estudos têm ressaltado a importância de pequenas oscilações no relevo, as quais podem condicionar a distribuição diferenciada de atributos físicos, químicos e mineralógicos na paisagem (TROEH, 1965; SOUZA *et al.*, 2004; CAMARGO *et al.*, 2008). De fato, estudos têm evidenciado que mesmo sobre pequenas diferenças no gradiente do relevo, a formação de determinados minerais, pode ser influenciada, afetando a composição final da assembléia mineralógica (Camargo *et al.*, 2008; Camargo *et al.* 2009).

No Brasil, contudo, trabalhos voltados à caracterização mineralógica de solos originados de rochas calcárias no semi-árido, especialmente aqueles com vistas à quantificação das diferentes fases minerais, são escassos.

Sendo assim, a determinação da abundância relativa de cada mineral em função das diferentes feições do relevo, além de se constituir em uma importante ferramenta para a predição da ocorrência dos diferentes tipos de solos e subsidiar a tomada de decisões sobre os sistemas de manejo a serem adotados, podem trazer informações valiosas para a reconstrução das condições durante a pedogênese.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do microrrelevo na composição da assembléia mineralógica de Cambissolos de uma topossequência na Chapada do Apodi-CE.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Caracterização de área de estudo

A Chapada do Apodi faz parte da bacia Potiguar, onde as unidades estratigráficas estão representadas predominantemente pela formação do calcário Jandaíra com espessura média de 250 a 300 m no topo e pelo arenito Açú, na base (FEITOSA, 1996). Por serem derivados do calcário, os solos são todos eutróficos, podendo apresentar textura argilosa ou franco argilosa (ERNESTO SOBRINHO, 1980).

O local de estudo compreende uma área de 102 ha, localizada na Chapada do Apodi no município de Limoeiro do Norte, especificamente na Fazenda Agrícola Famosa distante de Fortaleza 191,1 km, ainda nos domínios do estado do Ceará. O terreno apresenta 97% do seu relevo como plano (declividade entre 0 – 3%) e o restante foi classificado como sendo suave-ondulado. Conforme as características morfométricas apresentadas, a área teve seu relevo separado em três superfícies distintas, são elas: côncava, convexa e retilínea (Figura 1), (OLIVEIRA et al. 2008).

Segundo a classificação de Köeppen, o clima da região é do tipo BSw'h, quente e semi-árido com temperatura superior a 18 °C no mês mais frio. A temperatura média anual gira em torno de 23 °C e a umidade relativa do ar chega a valores superiores a 84 % no mês de abril e inferiores a 50 % em setembro (CPRM, 1999).

O período de chuvas se estende de fevereiro a maio sendo a pluviosidade média na região de 750 mm e o período mais seco situado entre os meses de julho e outubro (CEARÁ, 1980). A vegetação da área de estudo era constituída por caatinga do tipo hiperxerófila (BRASIL, 1973).

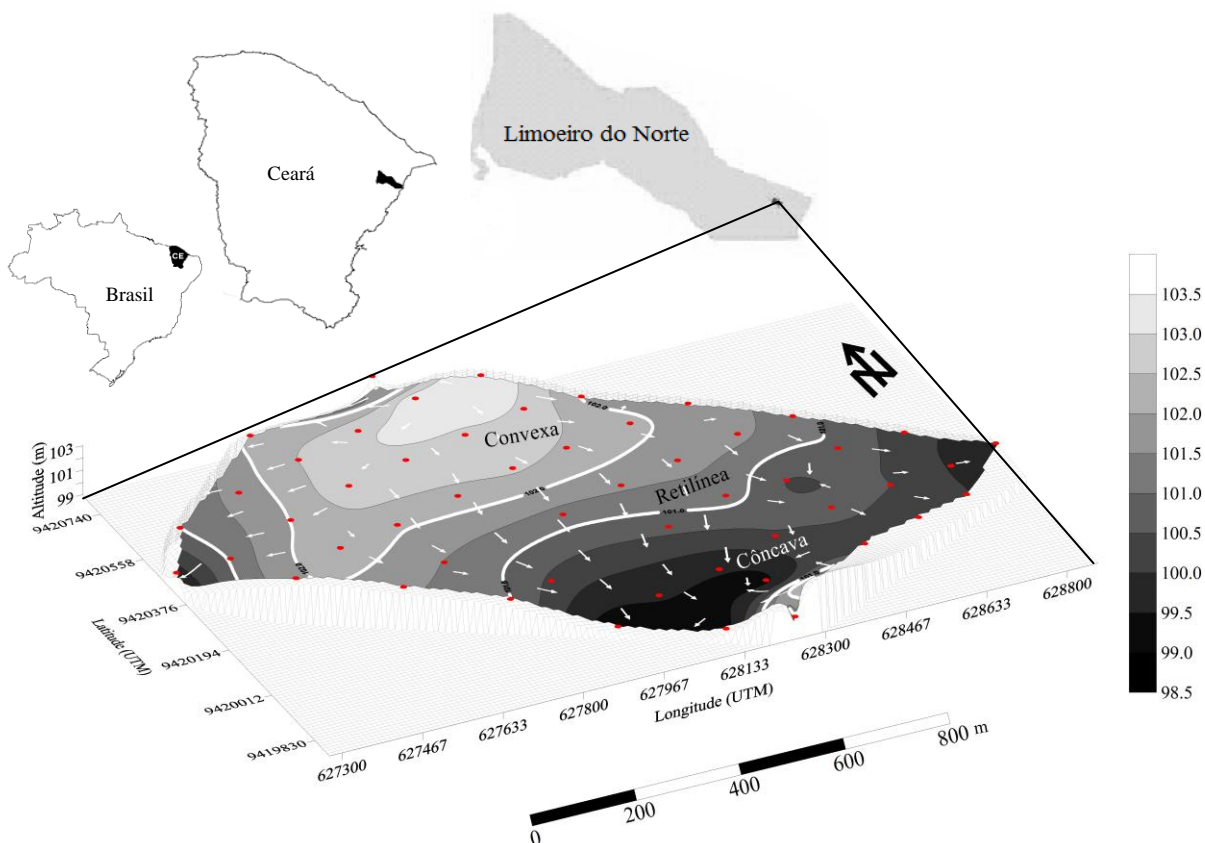
4.2.2 Etapas de campo

4.2.2.1 Descrição de perfis e coleta de amostras

Tendo por base estudos já realizados (OLIVEIRA et al. 2009), foram alocadas seis trincheiras, sendo duas nas superfícies convexa e retilínea e duas na superfície côncava. Estas foram abertas nas dimensões 1,50 x 1,50 x 2,00 m onde foram realizadas as descrições morfológicas (SANTOS et al., 2005) e posteriormente coletou-se amostras para análises químicas e físicas. Com base nos dados físicos, químicos e nas descrições morfológicas

(OLIVEIRA, 2009), os perfis foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

Figura 18 – Modelo de elevação digital com as coordenadas UTM, indicando o local da área de estudo e as diferentes superfícies de relevo.



Fonte: O Autor

Com o objetivo de detectar fraturas no material de origem e observar a topografia do contato da rocha com o saprolito foi utilizado um GPR (Ground Penetrating Radar) ou GEORADAR. Este consiste de um método geofísico de investigação, que faz uso da emissão contínua de ondas eletromagnéticas no solo. Parte destas ondas é refletida nas estruturas ou objetos em profundidade. Os sinais são emitidos e recebidos através de uma antena disposta na superfície.

Na área foi realizada uma sondagem com o radar de penetração no solo (GPR), no sentido NW- SE, onde foram interceptadas as três superfícies previamente delimitadas. O equipamento GPR utilizado foi o modelo SIR 2000, fabricado pela empresa *Geophysical Survey Systems, Inc* (GSSI). Foram utilizadas as antenas de 200 e 400 MHz e janela temporal de 70 ns (NOGUEIRA et al. 2006).

Para a realização desta análise de campo, previamente realizou-se a limpeza de duas seções retas com 200 m de comprimento (Figura 2). Uma das seções intercepta as superfícies convexa e retilínea, a segunda seção intercepta as superfícies retilínea e côncava. Após aquisição de dados em campo, estes foram submetidos ao devido tratamento computacional.

4.2.2.2 – Análises de laboratório

Os óxidos de Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , MnO_2 e P_2O_5 foram determinados na TFSA utilizando como extrator solução de ácido sulfúrico(1/1), já o SiO_2 , foi extraído com NaOH à 30% (EMBRAPA, 1997). Os óxidos de alumínio, ferro, titânio e manganês foram quantificados em espectrofotômetro de absorção atômica, enquanto aos teores de silício foram determinados por colorimetria (KILMER, 1965). Com base nos teores de óxidos quantificados, obteve-se o índice de intemperismo K_i (EMBRAPA, 2006).

As formas de Fe_d (ferro cristalino) foram obtidas por meio de extrações com Ditionito Citrato Bicarbonato (DCB) na temperatura de 80 °C (MEHRA & JACKSON, 1960), enquanto o Fe_o (ferro amorfo) foi obtido pela extração com oxalato ácido de amônio na TFSA (CAMARGO *et al.*, 2009).

4.2.2.2.1 Análises mineralógicas qualitativas e semi-quantitativa

As análises mineralógicas foram realizadas nos horizontes Bi dos perfis estudados. Para identificação dos filossilicatos presentes na fração argila, inicialmente realizou-se a concentração desta fração pelo método da sedimentação das partículas. A remoção dos carbonatos foi realizada com acetato de sódio 1N, tamponado à pH 5. A matéria orgânica foi removida com H_2O_2 à 30 % . Os óxidos de ferro foram removidos com ditionito citrato bicarbonato (MHERA; JACKSON, 1960). Com vistas à identificação de diferentes argilominerais, parte das amostras foram saturadas com KCl e MgCl_2 . As amostras saturadas com potássio receberam aquecimento à 550 °C. Enquanto as saturadas com Mg foram solvatadas com etileno-glicol. A concentração dos óxidos de ferro foi realizada conforme proposto por Kampf e Schwertmann (1982).

A identificação dos minerais foi realizada com base na distância interplanar característica de cada mineral (CHEN, 1977).

Com base nos teores dos óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e TiO_2) determinados pelo ataque sulfúrico foi realizado o cálculo do conteúdo proporcional de caulinita nas diferentes superfícies. A composição mineralógica da fração argila foi obtida com base na relação percentual entre cada componente e a soma dos componentes presentes no material de solo, conforme proposto por Resende et al. (1987).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Pedoformas, atributos morfológicos e óxidos do solo

Na tabela (a) encontram-se os principais atributos morfológicos dos Cambissolos estudados. Conforme análise da tabela observa-se que de um modo geral os solos apresentam estrutura moderadamente fraca, com blocos subangulares com estrutura variando de moderada a fraca, com exceção dos perfis situados na superfície côncava onde a estrutura variou de moderada a forte, indicando uma melhor coesão entre as partículas do solo.

Quanto à cor (Tabela a), os solos apresentam matiz 10 YR, com cor variando entre bruno amarelado e bruno amarelado escuro, com exceção dos três primeiros horizontes do perfil situado na superfície côncava, em que o matiz foi 7,5 YR. Segundo Viscarra Rossel *et al.* (2006) variações da cor do solo no sentido vertical podem ser influenciadas por condições de drenagem, matéria orgânica, aeração, e conteúdo de óxidos de ferro. Segundo os mesmos autores, geralmente estes parâmetros têm boa correlação com a cor do solo.

Quanto às variações de textura ao longo da topossequência constatou-se o predomínio da classe franco-argilo-arenosa na superfície convexa. Já nos perfis situados nas demais superfícies, estes apresentaram uma diminuição da quantidade de partículas grosseiras e um aumento no conteúdo de argila, que resultou em mudança na classe textural, dos perfis 4 e 5 sendo estes inseridos na classe textural argilo-siltosa (EMBRAPA, 2006; Tabelas 1 e 3). Esta diferenciação observada na textura dos solos em estudo, provavelmente é reflexo da influência das pedoformas na hidrodinâmica, resultando em alteração nos atributos físicos (CAMARGO *et al.* 2008; SOUZA *et al.* 2004; TROEH, 1965), favorecendo a pedogênese de argilominerais, visto que há um aumento no conteúdo de argila .

O espessamento dos horizontes de superfície e subsuperfície, juntamente com a profundidade dos solos aumentam ao longo da topossequência, indicando que o intemperismo ou a pedogênese é mais intensa na superfície côncava.

Quanto aos dados do ataque sulfúrico (Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 e TiO_2) estes evidenciam basicamente o mesmo comportamento ao longo da topossequência. Os óxidos de titânio apresentam baixos teores em relação aos outros óxidos. Os baixos teores de titânio nos solos da Chapada do Apodi podem estar relacionados à pobreza do material de origem (MOTA *et al.*, 2007).

Tabela11 – Atributos morfológicos dos perfis de solos estudados

Hor.	Prof.(m)	Cor úmida	Textura	Estrutura	Consistência
Perfil 1 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático saprolítico gleissólico (Superfície convexa)					
Apc	0 - 0,12	10 YR 3/4	Fra.-argi.-aren.	Moderada, média e grande, blocos subangulares	Muito friável, plástica e pegajosa
Bic1	0,12 - 0,24	10 YR 4/4	Fran.-argi.-aren.	Moderada, média e grande, blocos subangulares.	Muito friável
Bic2	0,24 - 0,47	10 YR 4/4	Fran.-argi.-aren.	Moderada, média e grande; blocos subangulares	Muito friável
CBk	0,47 - 0,70	10 YR 5/6	-	Maciça com tendência a formação de blocos subangulares	Muito friável
Crkg1	0,70 - 0,95	2,5 Y 8/1	-	Maciça com tendência a formação de blocos subangulares de tamanho médio	Friável
Crkg2	0,95 - 1,19	2,5 Y 8/1	-	Maciça com tendência a formação de blocos subangulares	Friável
Crk1	1,19 - 1,54	10 Y 7/1	-	Fraca e média, com tendência a formação de blocos subangulares	Friável
Crk2	1,50 - 1,73	10 Y 6/1	-	Fraca e média, com tendência a formação de blocos subangulares	Friável
Perfil 2 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático saprolítico (Superfície convexa)					
Apc	0,0 - 0,16	10 YR 3/6	Franca	Moderada, pequena, blocos subangulares	Ligeiramente duro, muito friável, plástica e pegajosa
Bic	0,16 - 0,32	10 YR 4/6	Fran.-arg..	Moderada, médio e grande blocos subangulares	Ligeiramente duro, muito friável, plástica e pegajosa
Bick2	0,32 - 0,50	10 YR 4/6	Fran.-arg.	Moderada, médio e grande blocos subangulares	Ligeiramente duro, muito friável, plástica e pegajosa
Bick3	0,50 - 0,73	10 YR 4/6	Fran.-arg.-aren.	Moderada, médio e grande, blocos subangulares	Ligeiramente duro, muito friável, plástica e pegajosa
BCck	0,73 - 0,93	10 YR 4/4	Fran. aren.	Arg. Fraca, blocos subangulares médio	Ligeiramente duro, muito friável, plástica e pegajosa
CBtk	0,93 - 1,17	10 YR 4/4	Fran. aren.	Arg. Fraca, blocos subangulares médio	Ligeiramente duro, ligeiramente plástica e pegajosa.
Perfil 3 CAMBISSOLO HÁPLCIO Carbonático típico					
Apck	0 - 0,13	10 YR 3/4	Franca	Moderada, forte, médio e grande blocos angulares	Ligeiramente duro, muito friável, plástica e pegajosa
Bick1	0,13 - 0,52	10 YR 4/6	Fran.-arg	Fraca a moderada, pequena e média, blocos angulares	Plástica e pegajosa
Bick2	0,52 - 0,68	10YR 5/8	Fran.-arg	Fraca a moderada, pequena e média, blocos angulares	
Bick3	0,68 - 0,83	10YR 5/8	Fran.-arg	Fraca, moderada e média, blocos angulares	Plástica e pegajosa
CBkc	0,83 - 1,05	2,5 Y	-	-	-

Tabela 11 – Atributos morfológicos dos perfis de solos estudados (Conclusão)

Hor.	Prof.(m)	Cor úmida	Textura	Estrutura	Consistência	
Perfil 4 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático típico						
Apk	0 - 0,19	10 YR 4/6	Fran. arg. silt.	Moderada, média e grande, blocos subangulare	Friável, muito plástico e pegajoso.	
Bic1	0,19 - 0,39	10 YR 3/6	Arg. silt	Moderada, média e grande, blocos subangulare	Friável, muito plástico e pegajoso	
Bic2	0,39 - 0,57	10 YR 4/4	Arg. silt	Moderada, média e grande, blocos subangulare	Muito friável	
C/R	0,57 - 0,82	10 YR 4/4	Arg. silt	-	-	
Crk	0,82 - 1,20	10 YR 6/4	-	-	-	
Perfil 5 - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico Típico						
Apcl	0 - 0,06	7,5 YR 3/3	Fran. arg	Moderada, forte e pequena, blocos subangulares	Muito friável, plástico e pegajoso	
Apcl2	0,06 - 0,31	7,5 YR 4/4	Arg. silt	Moderada, forte e média, blocos subangulares	Muito friável, plástico e pegajoso	
Bic1	0,31 - 0,56	7,5 YR 4/4	Arg. silt	Moderada, forte, média a grande blocos subangulares	Friável, plástico e pegajoso	
Bic2	0,59 - 0,92	10 YR 5/6	Arg. silt	Moderada, forte, média, grandes blocos subangulares	Muito friável, plástico e pegajoso	
Bic3	0,92 - 1,19	10 YR 5/6	Arg. silt	Moderada, forte, média, grandes blocos subangulares	Friável, plástico e pegajoso	
Bic4	1,19 - 1,49	10 YR 5/6	Fran. arg.	Fraca, média, blocos subangulares.	Friável, plástico e pagajoso	
Perfil 6 - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico Típico						
Ap	0 - 0,18	10YR 3/6	Fran. arg.	Modderada, blocos subangulares médios a granular médio	Ligeiramente duro, muito friável, plástico e pegajoso	
AB	0,18 0,33	-	7,5YR 4/6	Arg.silt	Média a grande granular	Ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramnte pegajoso
BA	0,33 - 0,47	7,5YR 4/6	Arg.silt	Média a grande blocos subangulares	Ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico - plástico e ligeiramente pegajoso-pegajoso	
Bic1	0,47 - 0,84	10YR 5/6	Arg.silt	Média a grande blocos subangulares	Ligeiramente duro, friável, plástico e pegajoso	
Bic2	0,84 - 1,16	10YR 5/6	Arg.silt	Média a grande blocos subangulares	Ligeiramente duro, friável, plástico e pegajoso	
Cc	1,16 1,35	-	10YR 5/6	Arg.silt	Ligeiramente duro, muito plástico a pegajoso	

Legenda: Legenda: Hor. - Horizonte; Fran. Arg. aren. - Franco-argilo-arenosa; Fran. arg. - Franco Argilosa;

Fran. arg. silt. - Franco-argilo-siltosa; Arg. silt. - Argilo-siltosa. Fonte: O Autor

Nos solos em estudo, os valores da relação molecular SiO₂/Al₂O₃ (Ki) (tabela 7) variaram entre 1,98 à 2,95 com os menores na superfície côncava, sendo o oposto observado nas demais superfícies. Estudos prévios relatam valores de Ki em solos da Chapada do Apodi em torno de 2,25 à 2,41 (BRASIL, 1973; MOTA et al., 2007). O índice Ki é utilizado no Brasil para caracterizar e identificar horizontes Bw que devem apresentar valor menor do que 2,2, como indicativo de solos muito intemperizados (EMBRAPA, 2006). Segundo Mota *et al.* (2007), os elevados valores de Ki em solos calcários podem estar relacionados à presença de illita na fração argila. O menor índice Ki e o maior conteúdo de argila encontrados na superfície côncava indicam que nesta pedoforma há uma maior intemperização do solo.

Tabela 12– Conteúdo relativo de óxidos extraídos, índice Ki e conteúdo de caulinita de Cambissolos da Chapada do Apodi-CE.

Horizonte	Prof. (cm)	Argila	Silte	Areia	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Ki	Caulinita
g/kg										
Perfil 1 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático saprolítico gleissólico (Superfície convexa)										
Apc	0-12	194,4	153,1	652,5	196,2	244,0	362,0	7,2	2,5	-
Bic1	12-24	225,6	137,1	637,5	124,6	218,7	364,7	7,1	2,8	-
Bic2	24-47	210,4	111,6	678,0	117,0	222,3	314,4	7,1	2,4	55,70
CBk	47-70	-	-	-	45,4	93,3	113,1	3,0	2,1	-
Ck1	70-95	-	-	-	12,9	48,5	33,4	1,7	1,2	-
Crkg2	95-119	-	-	-	12,5	37,7	30,5	1,4	1,4	-
Crgk1	119-154	-	-	-	12,3	34,6	66,5	1,1	3,3	-
Crgk2	154-173+	-	-	-	12,7	35,6	109,5	1,3	5,2	-
Perfil 2 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático saprolítico (Superfície convexa)										
Apc	0-16	237,6	199,4	563,0	141,4	231,8	324,2	8,4	2,4	-
Bic1	16-32	272,0	136,5	591,5	135,2	254,3	459,2	8,7	3,1	-
Bick2	32-50	293,0	207,5	499,5	115,5	236,6	395,4	8,1	2,8	65,82
Bick3	50-73	247,8	138,7	613,5	108,2	261,2	451,8	9,2	2,9	-
BCck	73-93	213,8	151,2	635,0	131,6	243,3	408,9	7,6	2,9	-
CBtk	93-117+	-	-	-	32,3	71,8	167,1	2,4	4,0	-
Perfil 3 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático típico										
Apck	0-13	291,6	262,4	446,0	118,2	206,2	294,7	6,9	2,4	-
Bick1	13-52	283,6	293,4	423,0	91,7	200,4	296,0	6,7	2,5	-
Bick2	52-68	296,0	365,5	338,5	94,1	201,3	399,0	6,3	3,4	50,63
Bick3	68-83	298,6	266,4	435,0	84,0	205,0	292,3	6,6	2,4	-
CBkc	83-105+	-	-	-	28,6	78,8	208,9	2,5	4,5	-
Perfil 4 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático típico										
ApK	0-19	363,0	246,5	390,5	106,1	234,2	432,2	8,8	3,1	-
Bic1	19-39	428,2	243,3	328,5	125,0	263,8	330,5	9,4	2,1	-
Bic2	39-57	480,0	202,5	317,5	119,7	261,7	302,1	9,2	2,0	64,52
C/R	57-82	468,2	224,3	307,5	101,2	254,2	370,8	9,1	2,5	-
CrK	82-120+	-	-	-	37,8	78,5	190,5	2,1	4,1	-

Tabela 12 - Conteúdo relativo de óxidos extraídos, índice Ki e conteúdo de caulinita de Cambissolos da Chapada do Apodi-CE (conclusão)

Horizonte	Prof. (cm)	Argila	Silte	Areia	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Ki	Caulinita
Perfil 5 - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico										
Apc1	0-6	330,6	220,4	449,0	113,1	260,2	286,2	8,4	1,9	-
Apc2(ABc)	6-31	404,8	219,7	375,5	113,4	242,6	424,8	8,0	3,0	-
Bic1	31-56	543,6	158,9	297,5	110,2	302,1	466,5	8,9	2,6	-
Bic2	56-92	552,0	166,0	282,0	105,4	306,1	315,6	9,4	1,8	66,67
Bic3	92-119	500,6	194,4	305,0	106,6	308,1	348,7	9,0	1,9	-
Bic4(BC)	119-149+	399,0	196,0	405,0	109,2	337,0	319,3	9,6	1,6	-
Perfil 6 - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico										
Ap	0-18	371,8	199,7	428,5	-	-	-	-	-	-
AB	18-33	428,4	193,6	378,0	-	-	-	-	-	-
BA	33-47	485,0	211,5	303,5	-	-	-	-	-	-
Bic1	47-84	492,2	230,8	277,0	-	-	-	-	-	-
Bic2	84-116	447,4	294,1	258,5	-	-	-	-	-	-
Cc	116-135+	423,4	286,1	290,5	-	-	-	-	-	-

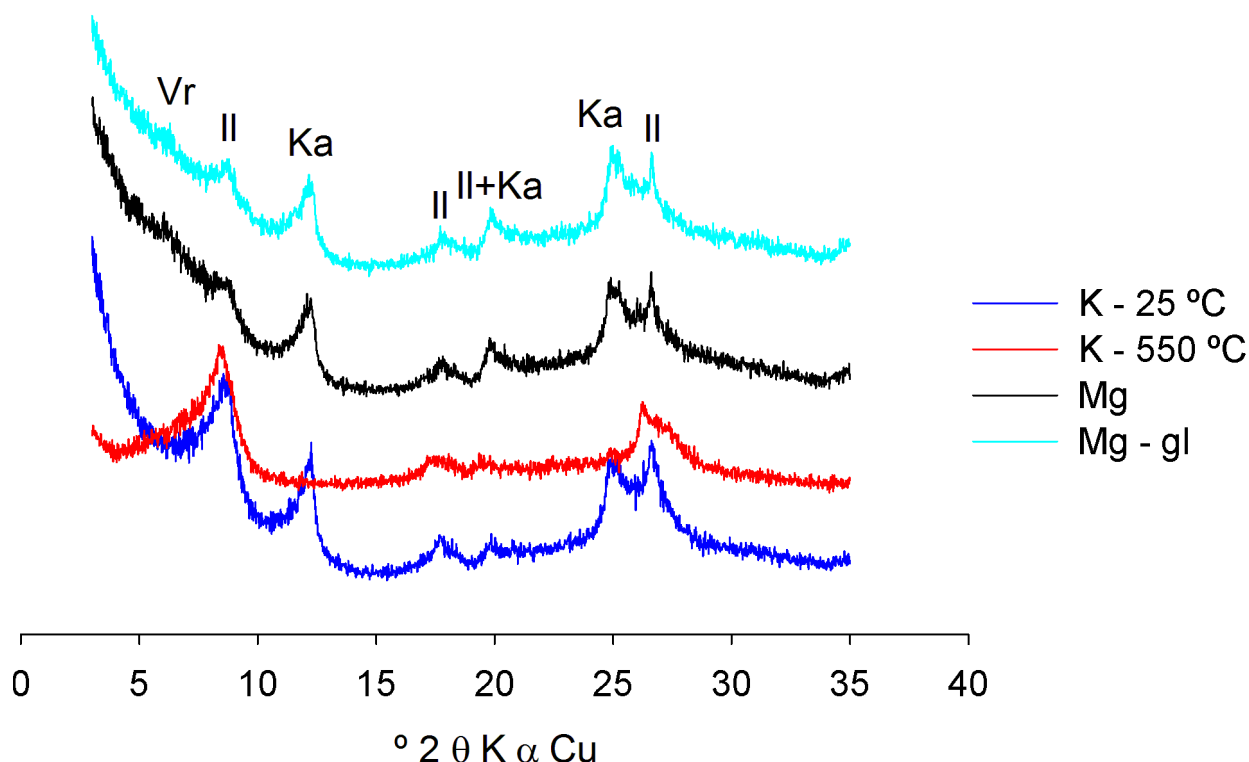
Legenda: Horiz. – Horizonte; Prof. – Profundidade; Ki = (SiO₂/Al₂O₃)*1,7. Fonte: O Autor

Desta forma, os valores de Ki encontrados nas diferentes superfícies, são condicionados por uma hidrodinâmica diferenciada, uma vez que os horizontes diagnósticos aumentam de espessura, os solos tornam-se mais profundos no sentido da superfície côncava. Portanto, nota-se que a pedogênese é mais intensa também neste sentido. Estudos passados mostraram que as formas de relevo são capazes de influenciar na dinâmica hídrica, portanto, condicionando os diferentes atributos do solo (MONTANARI, *et al.*, 2010; CAMARGO *et al.*, 2008, TROEH, 1965).

4.3.2 Mineralogia da Fração argila desferrificada

Os difratogramas da fração argila desferrificada e seus respectivos tratamentos encontram-se nas figuras 12 à 16. Na figura 12 encontram-se os difratogramas do perfil 1, localizado na superfície convexa. Observa-se que a fração argila deste solo é composta principalmente por caulinita e ilita. Traços de anatásio também foram identificados nos difratogramas à 0,352 nm. A presença da caulinita na fração coloidal do solo é confirmada pelo desaparecimento do pico característico da caulinita com o tratamento térmico à 550 °C. Identificou-se também um provável pico de vermiculita à 14,6 nm no tratamento com Mg. No tratamento com glicerol não foi observado o deslocamento do pico, desta forma descartando a possibilidade de presença de esmectita.

Figura 19 – DRX da fração argila desferriçada do perfil (Bick2) CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático Saprólítico gleissólico (Superfície convexa). Fonte: O Autor



Estudos realizados em outras partes do mundo em solos tendo como substrato rochoso o calcário, e condições de clima semiárido apresentaram na fração argila além da caulinita e illita, outros minerais compondo a assembléia como paligorsquita, clorita, quartzo, gypsum e minerais interestratificados (KHORMALI; ABTAHI, 2003; OWLIAIE *et al.*, 2006; YASSOGLOU *et al.*, 1997).

Estudos recentes desenvolvidos em três distintas classes de solo (Cambissolo, Latossolo e Argissolo) na região da Chapada do Apodi nos estados do Rio Grande do Norte e Ceará, observaram que a assembléia mineralógica da fração argila destes solos era essencialmente constituída por caulinita, contrastando com as condições climáticas atuais (MOTA *et al.*, 2007; ALENCAR, 2002).

Os DRX da fração argila dos perfis 2 e 3, localizados na superfícies convexa e retilínea respectivamente, encontram-se nas figuras 13 e 14.

Figura 20 - DRX da fração argila desferrificada do perfil 2 (Bick3) CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático saprolítico (Superfície convexa). Fonte: O Autor

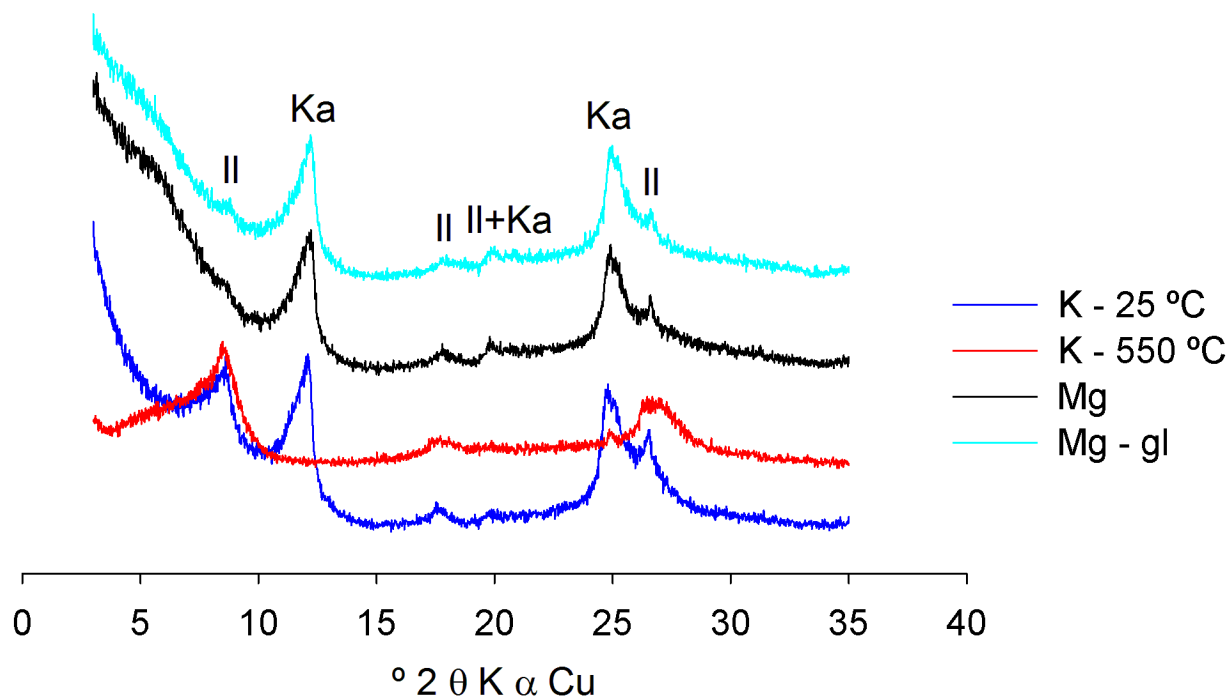
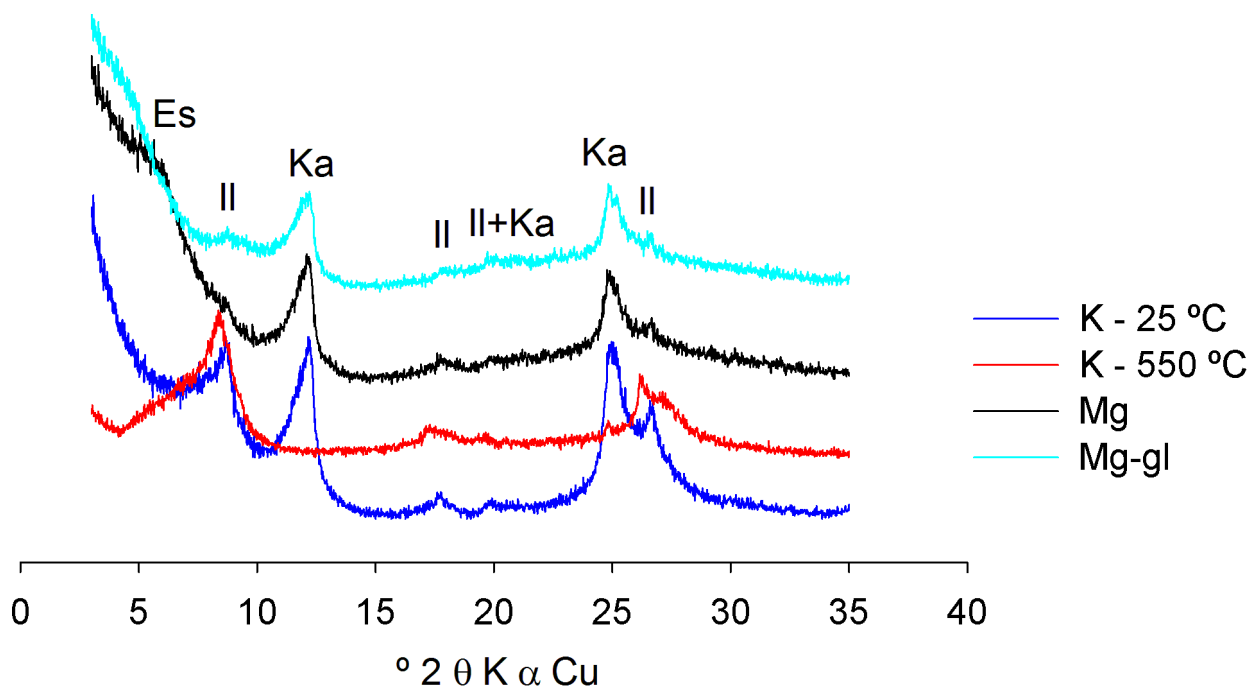


Figura 21 - DRX da fração argila desferrificada do perfil 3 (Bick2) de um CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático típico (Superfície retilínea). Fonte: O Autor



Observa-se que, similarmente ao observada no perfil 1, a mineralogia é composta por caulinita, ilita e com menor intensidade anatásio, à 0352 nm. No perfil 3, também foi

identificada a presença de um mineral do tipo de 2:1, podendo ser uma esmectita, haja vista que ao ser tratada com glicerol houve deslocamento do pico para esquerda.

Nos difratogramas dos perfis 4, 5 e 6 representados nas figuras 15, 16 e 17 respectivamente, observa-se que a assembléia mineralógica é composta basicamente por caulinita, illita e anatásio, conforme constatado nos demais perfis, no entanto, não foi constatado a presença de argilominerais do tipo 2:1.

Analisando os DRX observa-se que entre os perfis estudados os picos de difração da caulinita aumentam de intensidade ao longo da topossequência. Outra característica observada é que os picos da caulinita e mica são assimétricos na superfície convexa enquanto ao longo da topossequência, tendem a uma melhor simetria.

Estes resultados corroboram a ocorrência de solos mais intemperizados na superfície côncava com uma assembléia mineralógica composta basicamente caulinita, sendo o oposto encontrado nas superfícies convexa e retilínea, caracterizadas por solos com maiores proporções de minerais 2:1. Sendo assim, pode-se inferir que as diferentes pedoformas em associação com o relevo de subsuperfície condicionam uma hidrodinâmica diferenciada, tornando a superfície côncava em um ambiente favorável a uma melhor alteração mineral para a formação da caulinita.

Figura 22 - DRX da fração argila desferrificada do perfil 4 (Bic2) de um CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático típico (Superfície retilínea). Fonte: O Autor

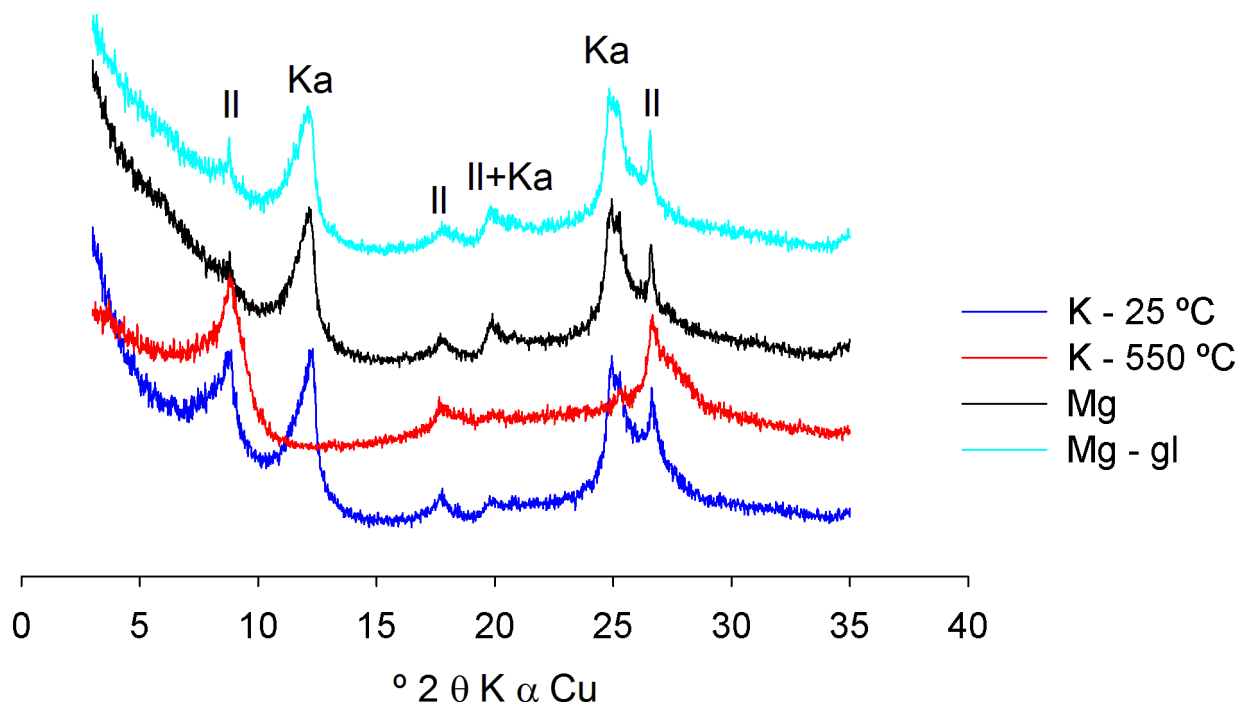


Figura 23 – DRX da fração argila desferrificada do perfil 5 (Bic2), de um CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico (Superfície côncava). Fonte: O Autor

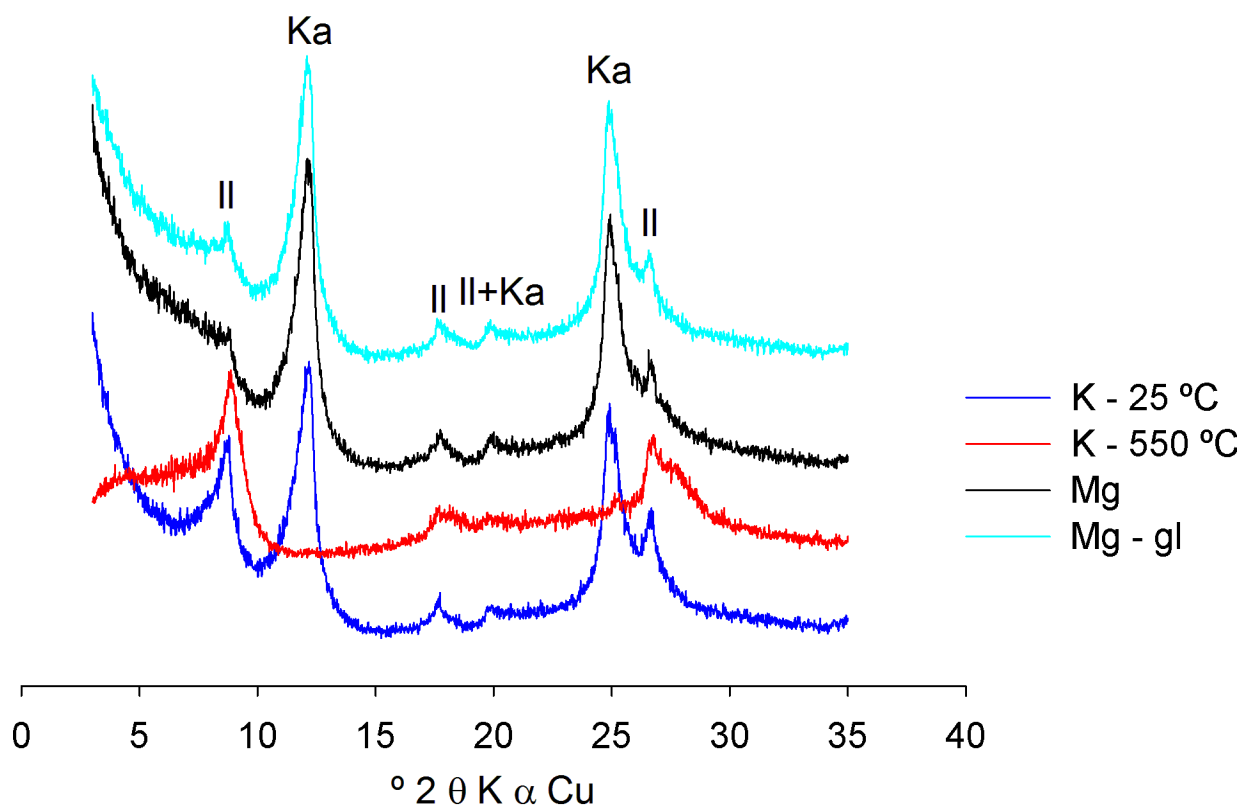
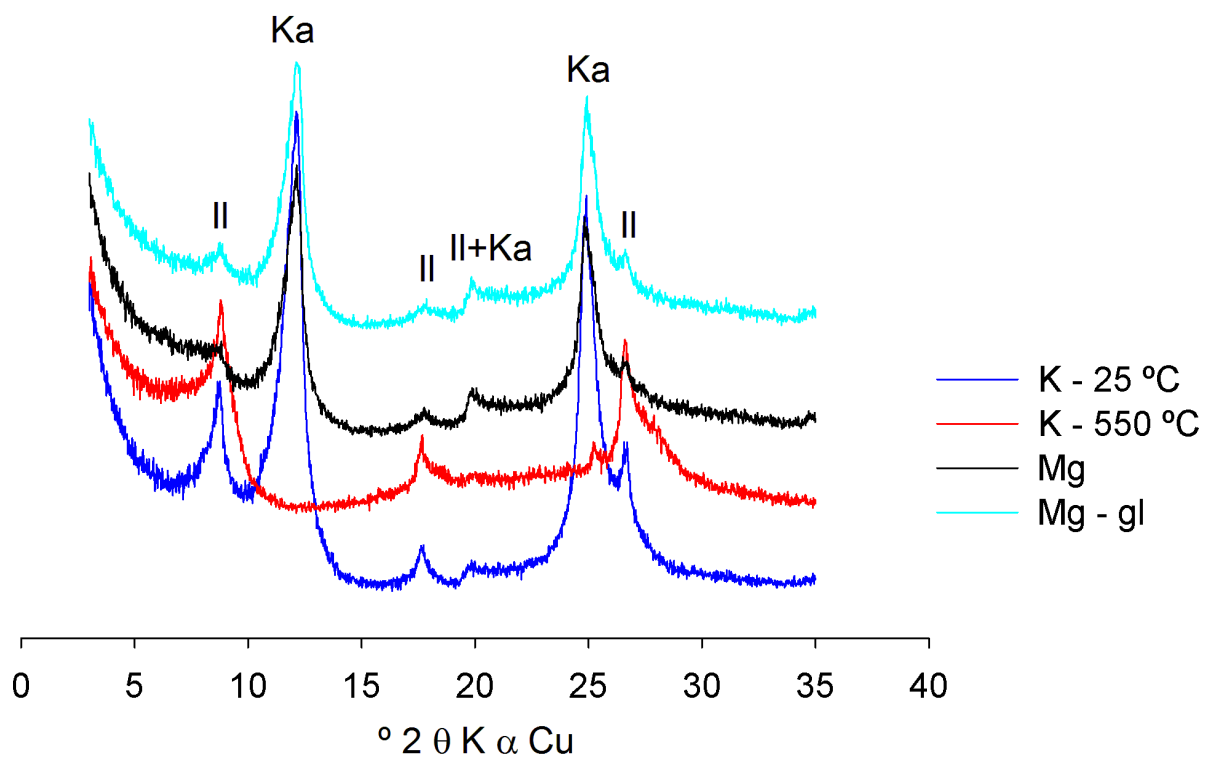


Figura 24 – DRX da fração argila desferrificada do perfil 6 (Bic1), de um CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico (Superfície côncava). Fonte: O Autor



Conforme já comentado anteriormente, observa-se nos difratogramas de todos os perfis a presença de mica, que possivelmente pode estar se intemperizando e originando argilominerais presente no solo, como vermiculita, esmectita e caulinita. A presença de minerais expansivos no solo da superfície convexa, indica uma condição de pedogênese distinta dos solos situados na superfície côncava.

A rota para gênese de argilominerais expansíveis no solo geralmente está associada a processos de transformação/alteração de minerais primários como muscovita, paligorskita e clorita (OWLIAIE, ABTAHI, HECK, 2006; ERNESTO SOBRINO, 1980). Outra rota para presença de argilominerais como esmectita no solo seria a neoformação, neste caso seriam necessárias algumas condições como: drenagem restrita, retirada de potássio e alumínio do sistema e alta atividade de $\text{Si}(\text{OH})_4$ (KHORMALI; ABTAHI, 2003). No caso dos solos em questão uma provável explicação para a presença de minerais expansivos, seria a transformação/alteração de micas (ERNESTO SOBRINHO, 1980) originando minerais expansivos no solo.

Analisando os picos de caulinita (001e 002) nas figuras 12 à 16 observa-se uma nítida diferença no formato, que no perfil 1 (001), tende a ser mais alargado e de baixa intensidade, já no perfil 5 (Fig. 16) apresenta-se mais intenso e também mais estreito. Estas características dos difratogramas apresentados indicam a presença de caulinitas com características estruturais e morfológicas distintas, indicando estrutura desorganizada e mal cristalizada, no caso das argilas do perfil 1. Nos demais perfis observam-se um o aumento da cristalinidade em direção da superfície côncava, indicando provavelmente partículas com forma hexagonal, e provavelmente maior conteúdo de caulinita (MELO; WYPYCH, 2009; ERNESTO SOBRINHO, 1980).

De fato, os dados de quantificação de caulinita que foram determinados com base nos teores de óxidos do ataque sulfúrico e com dados do ataque total (dados não apresentados), realizada pelo método da alocação química (RESENDE et al., 1987) indicam que o conteúdo de caulinita nos perfis 4 e 5 são superiores ao valor observado no perfil 1 (Tabela 7).

O conteúdo proporcional de caulinita encontrado nos perfis 2 e 3, estão em desacordo com a tendência observada nos perfis 1, 4 e 5, provavelmente isto se deva a alguma imprecisão na determinação dos óxidos.

5.3.4 – Óxidos de ferro

Na tabela 8 encontram-se os dados relativos às dissoluções seletivas com DCB e oxalato ácido de amônio para o elemento ferro, nota-se o que o conteúdo de óxidos de baixa cristalinidade tende a ser maior em superfície, como resultado de interações organo-metálicas (McKEAGUE; DAY, 1966) o que dificulta a estabilização do Fe em formas mais estáveis (COELHO; VIDAL-TORRADO, 2003).

Tabela 13 – Conteúdo de argila e teores de ferro cristalino (Fed), ferro de baixa cristalinidade (Feo) e sua relação Feo/Fed em Cambissolos da Chapada do Apodi-Ce.

CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático saprolítico gleissólico					
Horiz.	Prof. (cm)	Argila	Fed	Feo	Feo/Fed
		g / kg			
Perfil 1 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático saprolítico gleissólico (Superfície convexa)					
Apc	0-12	194.36	26.89	3.92	0.15
Bic1	12-24	225.6	37.68	3.70	0.10
Bic2	24-47	210.36	43.22	4.06	0.09
CBk	47-70	-	7.93	1.54	0.19
Ck1	70-95	-	3.72	1.24	0.33
Crkg2	95-119	-	3.00	1.30	0.43
2Crgk1	119-154	-	2.61	1.79	0.69
2Crgk2	154-173+	-	3.12	1.64	0.52
Perfil 2 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático saprolítico (Superfície convexa)					
Apc	0-16	237.56	53.14	4.18	0.08
Bic1	16-32	271.96	51.34	3.93	0.08
Bick2	32-50	292.96	48.50	2.48	0.05
Bick3	50-73	247.76	44.44	2.31	0.05
BCck	73-93	213.76	38.09	6.86	0.18
CBtk	93-117+	-	4.68	1.69	0.36
Perfil 3 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático típico (Superfície retilínea)					
Apck	0-13	291.6	25.97	3.73	0.14
Bick1	13-52	283.6	22.43	2.87	0.13
Bick2	52-68	296	19.17	2.20	0.11
Bick3	68-83	298.56	27.78	3.21	0.12
CBkc	83-105+	-	3.56	1.54	0.43

Fonte: O Autor

Tabela 13 – Conteúdo de argila e teores de ferro cristalino (Fed), ferro de baixa cristalinidade (Feo) e sua relação Feo/Fed em Cambissolos da Chapada do Apodi-Ce. (Conclusão)

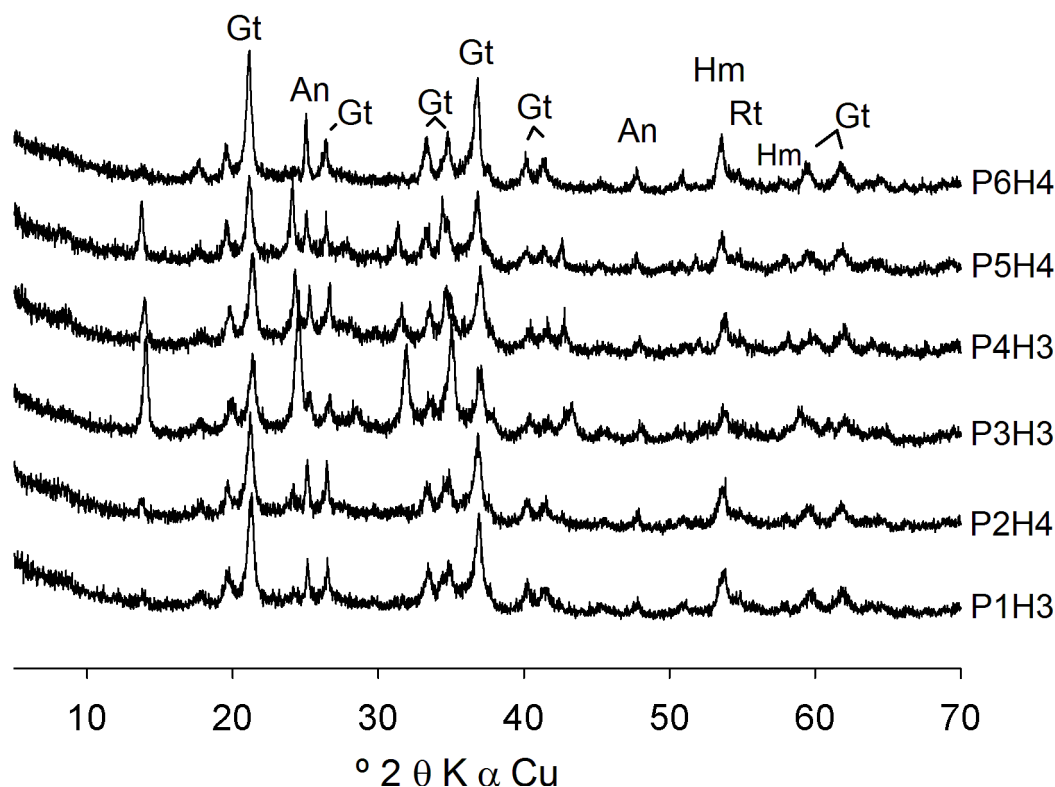
Horiz.	Prof. (cm)	Argila	Fed	Feo	Feo/Fed
Perfil 4 - CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático típico (Superfície retilínea)					
ApK	0-19	362.96	37.17	4.06	0.11
Bic1	19-39	428.16	45.53	3.95	0.09
Bic2	39-57	479.96	35.50	4.23	0.12
C/R	57-82	468.16	38.62	4.47	0.12
CrK	82-120+	-	3.75	2.12	0.57
Perfil 5 - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico (Superfície convexa)					
Apc1	0-6	330.56	38.39	4.55	0.12
Apc2(ABc)	jun/31	404.76	36.41	4.17	0.11
Bic1	31-56	543.56	32.88	3.15	0.10
Bic2	56-92	551.96	40.51	3.54	0.09
Bic3	92-119	500.56	47.91	3.14	0.07
Bic4(BC)	119-149+	398.96	42.42	2.96	0.07

Fonte: O Autor

Quanto aos óxidos de ferro pedogênicos (Tabela 8), os valores são superiores aos valores observados determinados para o Feo. Quanto a relação Feo/Fed, observa-se que os valores variaram de 0,07 à 0,15 no solum. Os valores encontrados denotam uma maior presença de óxidos cristalinos como hematita e goethita, confirmada pela DRX. Segundo Oliveira et al. (1998) valores encontrados são normais para os solos brasileiros. Em linhas gerais não houve diferença nas distintas formas de ferro entre as superfícies. Estes resultados corroboram o observado na macromorfologia, a qual não indicou diferenças significativas na coloração dos solos estudados.

Conforme análise dos difratogramas concentrados em óxidos de ferro (Fig. 20), os resultados confirmam a presença de goethita nos solos estudados. Em todos os horizontes diagnósticos analisados observa-se uma maior relação goethita/hematita. Esta maior participação da goethita explica a dominância de matizes amarelados nos solos da topossequência.

Figura 20 – DRX da fração argila de horizontes diagnósticos de Cambissolos na Chapada do Apodi-CE. Amostras tratadas com NaOH 5 mol L⁻¹ fervente



Legenda: Gt – Goetita; An – Anatásio; Hm – Hematita; Rt – Rutilo; P1H3 – Perfil 1, Horizonte 3; P2H4 – Perfil 2, Horizonte 4; P3H3 – Perfil 3, Horizonte 3; P4H3 – Perfil 4, Horizonte 3, P5H4 – Perfil 5, Horizonte 4; P6H4 – Perfil 6, Horizonte 4. Fonte: O Autor

Analisando os picos de goethita e hematita, observa-se um comportamento similar ao observado para caulinita, no que se refere à intensidade de difração e a simetria dos picos. Os picos da goethita são bem mais intensos do que os da hematita, no entanto, ambos apresentam assimetria em todos os perfis analisados, indicando não só minerais de baixa cristalinidade (tanto a hematita como goethita), como também desorganização estrutural destes óxidos. Isto provavelmente esteja associado a uma intensa substituição isomórfica de ferro por alumínio. (FITZPATRICK; SCHWERTMANN, 1982)

Os resultados encontrados pela DRX contrastam com a maioria dos solos calcários encontrados em outras partes do mundo. Isto porque estes solos desenvolvidos de calcário são caracterizados por apresentar condições que favorecem a presença da hematita em detrimento da goethita, essas condições são: pH elevado, alta ciclagem de matéria orgânica, solos bem drenados, altas temperaturas e boas condições de aeração (MERINO; BANERJEE, 2008; MIKO *et al.*, 1999; YASSOGLOU *et al.*, 1997; SCHWERTMANN *et al.*,

1988b). Da mesma forma, estudos realizados no sudoeste da Bahia em solos derivados do calcário observaram que solos situados em pedoformas convexas eram vermelhos enquanto, solos situados em pedoformas côncavas eram amarelos.

Sendo assim, dadas as condições climáticas atuais da região, pode-se inferir que os Cambissolos estudados estão submetidos a condições pedológicas que favorecem a presença da goethita e não a hematita, inclusive nas pedoformas convexas. Neste caso a superficialidade do material de origem, a reduzida espessura do solum (Tabela 6) e a ausência de fraturas no material de origem (dados apresentados no tópico 3), podem estar favorecendo uma condição de maior umidade e conseqüentemente a uma maior presença da goethita (OLIVEIRA *et al.*, 1998; ERNESTO SOBRINHO, 1980).

Outra provável explicação para a presença de goethita em detrimento da hematita nos Cambissolos do presente trabalho é herança do material de origem, uma vez que estudos pretéritos identificaram a presença deste óxido no substrato rochoso (ERNESTO SOBRINHO, 1980).

4.4 CONCLUSÕES

A mineralogia da fração argila é fortemente condicionada pelo relevo de superfície, assim como pelo relevo de subsuperfície, desta forma, a assembléia mineralógica da superfície côncava indica que os solos situados nesta pedoforma são mineralógicamente mais evoluídos do que os demais solos, apresentando ausência de minerais expansivos e maiores proporções de caulinita. A goethita, é o principal óxido de ferro dos solos da região de estudo, cuja gênese pode estar associada a uma herança do material de origem e ao regime hídrico mais úmido controlado principalmente pela posição do material de origem em subsuperfície.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, E. L. L. **Química e mineralogia de três pedons originários de calcário da Chapada do Apodi – CE**. 2002. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002

BELLANCA et al. Mineralogy and geochemistry of terra rossa soils, western Sicily: insights into heavy metal fractionation and mobility. **The Science of the Total Environment**. v. 193, p. 57-67, 1996.

BOERO, V. & SCHWERTMANN, U. Iron oxide mineralogy of Terra Rossa and its genetics. **Geoderma**, v.44,p. 319-327, 1989.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. LEVANTAMENTO EXPLORATÓRIO RECONHECIMENTO DE SOLOS DO ESTADO DO CEARÁ. Vol.1. RECIFE. 297p, 1973.

CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, 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.

CAMARGO *et al.* **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Instituto Agrônomo, Boletim técnico, 106, 77 p. 2009.

CEARÁ. Comissão de Planejamento Agrícola. Projeto de desenvolvimento rural integrado do Ceará -Situação Geográfica, Recursos Humanos e Recursos Naturais. Fortaleza: CEPA, v.1, n.32, 272 p, 1980.

COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização de gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru. I – química. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v.27, p. 483-494, 2003.

CPMR. Serviço Geológico do Brasil. Atlas dos recursos hídricos subterrâneos do Ceará. Fortaleza, Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará, 1999. **CD-ROM**.

CHEN, P. Y. Table of key lines in x-ray powder diffraction patterns of minerals in clays and associated rocks. DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES GEOLOGICAL SURVEY OCCASIONAL PAPER 21. Indiana, 67 p. 1977.

COLOMBO, C. P.; TORRENT, J. C. Relationships Between aggregation and iron oxides in Terra Rossa soils from southern Italy. **Catena**, v.18, p. 51-59, 1991.

DAVEY, B. G.; RUSSEL, J. D.; WILSON, M.J. Iron oxide and clay minerals and their relation to colours of red and yellow podzolic near Sydney, Australia. **Geoderma**, v.14, n. 2,

DURN, G.; OTTNER, F.; SLOVENEK, D. Mineralogical and geochemical indicators of the polygenetic nature of terra rossa in Istria, Croatia. **Geoderma**. v. 91, p. 125-150, 1999.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação do Solo**. Rio de Janeiro 2 ed, 306p. 2006

ERNESTO SOBRINHO, F. Caracterização, gênese e interpretação para uso de solos derivados de calcário da região da Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte. 1980. 133 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1980

FEITOSA, E. C. **A exploração do aquífero Açú na região de Mossoró – RN:** Caracterização da situação atual e perspectiva de atendimento da demanda futura (Programa de água subterrânea para a região nordeste – Série Hidrogeologia: Pesquisa e Desenvolvimento, 1). Brasília: CPRM, 1996. 44p, 1996

FITZPATRICK, R. W.; SCHWERTMANN, U. Al-substituted goethite-an indicator of pedogenic and other weathering environments in South Africa. **Geoderma**, v.27, p. 335 – 347, 1982.

KAMPF, N.; SCHWERTMANN U. The 5-M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. **Clay and Clays Minerals**. v. 36, n.6, p. 401-408, 1982.

KILMER, V.J. Silicon. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. Madison: **American Society of Agronomy**, 1965. v.2, p.959-962. (Agronomy, 9).

KHORMALI, F.; ABTAHI, A. Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semi-arid soils of Fars Province. **Clay Miner.**, v.38, 511– 527, 2003.

LEMOS et al. Evaluation of characteristics of cambisols derived from limestone in low tabelands in northeastern Brazil: Implication for management. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. n. 8, v. 32, p. 1997.

MELO, V. F.; WYPYCH, F. Caulinita e Halóisita. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds). **Química e Mineralogia do Solo. Parte I- Conceitos Básicos**. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo-SBCS.695p, 2009.

MERINO, E.; BANERJEE, A. Terra rossa genesis, implications for karst, and eolian dust: a geodynamic thread. **Journal of Geology**, v.116, p. 62–75, 2008.

McKEAGUE, J. A.; DAY, J. H. Dithionite- and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. **Canadian Journal Soil Science**. v.46, p.13-22, 1966

MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. (1960): Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate systems buffered with sodium bicarbonate **7th Nat. Conf. Clay Minerals**, 317-327.

MONTANARI, R *et al.* Caracterização mineralógica de Latossolos em diferentes feições do relevo na região de Jaboticabal, SP. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 191-199, 2010.

MOTA, J. C. A. *et al.* Atributos mineralógicos de três solos explorados com a cultura do melão na Chapada do Apodi – RN. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.31, p. 445-454, 2007

NOGUEIRA, F. C. C. *et al.* Radar de penetração no solo (GPR) aplicado ao estudo de estruturas tectônicas neógenas na Bacia Potiguar-NE do Brasil. **Revista de Geologia**, v.19, n.1, p. 23 – 33. 2006.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. 2º Ed. Piracicaba. FEALQ, 2005.

OLIVEIRA, D.P. *et al.* Geoestatística e modelo numérico de terreno em ciências do solo: estudo de caso na Chapada do Apodi - Ceará. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 4141-4147.

OLIVEIRA, C.V. *et al.* Química e mineralogia de solos derivados de rochas do grupo Bambuí no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v.22, p. 583-593, 1998.

OWLIAIE, H. R.; ABTAHI, A.; HECK, R. J. Pedogenesis and clay mineralogical investigation of soils formed on gypsiferous and calcareous materials, on a transect, southwestern Iran. **Geoderma**. v. 134, n. 1-2, p. 62-81, 2006.

RESENDE, M.; BAHIA FILHO, A. F.; C.; BRAGA, J. M. Mineraloiga da argila de Latossolos estimada por alocação a partir do teor total de óxidos do ataque sulfúrico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v.11, p. 17-23, 1987.

VISCARRA ROSSEL, R. A. *et al.* Colour space models for soil science. **Geoderma**. v.133, p. 320-337, 2006.

SANTOS *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5ª Ed., Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, 100p, 2005.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BENTO, M. J. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **R. Bras. de Eng. Agríc. e Ambiental**. v 8, n.1, p 51-58.2004.

TROEH, F. R. Landform equations fitted to contour maps. **American Journal Science**. v. 262, p. 616–627, 1965.