

UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO

**Gênese, Caracterização e Comparação de Métodos
Analíticos de Solos de Natureza Calcária do Grupo
Bambuí, no Estado do Tocantins**

Deyvid Diego Carvalho Maranhão

2014



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**GÊNESE, CARACTERIZAÇÃO E COMPARAÇÃO DE MÉTODOS
ANALÍTICOS DE SOLOS DE NATUREZA CALCÁRIA DO GRUPO
BAMBUÍ, NO ESTADO DO TOCANTINS**

DEYVID DIEGO CARVALHO MARANHÃO

Sob a orientação do Professor
Marcos Gervasio Pereira

e Coorientação do Professor
Nelson Mazur

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo.

Seropédica, RJ
Março de 2014

631.4
M311g
T

Maranhão, Deyvid Diego Carvalho, 1986-
Gênese, caracterização e comparação de métodos analíticos de solos de natureza calcária do Grupo Bambuí, no estado do Tocantins / Deyvid Diego Carvalho Maranhão – 2014.
123 f.: il.

Orientador: Marcos Gervasio Pereira.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo.

Bibliografia: f. 91-101.

1. Ciência do solo – Teses. 2. Solos – Análise – Teses. 3. Solos – Composição – Teses. 4. Solos – Classificação – Teses. 5. Solos – Teor de fósforo – Teses. 6. Mineralogia do solo – Teses. I. Pereira, Marcos Gervasio, 1965-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

DEYVID DIEGO CARVALHO MARANHÃO

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 20/03/2014.

Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ
Orientador

Ademir Fontana. Dr. Embrapa Solos

Gustavo Souza Valladares. Dr. UFPI

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, Djalma Sousa Maranhão; aos meus irmãos, Cinthia, Luana e João Vitor; aos familiares, amigos e tutores.

OFEREÇO

Aos meus filhos, David e Diego, e em especial à minha mãe, Socorrinha (*in memoriam*).

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Leonardo Santos Collier pela amizade, ensinamentos e muita paciência ao longo desses anos e especialmente por ter sido meu primeiro mentor na pedologia.

À professora Lúcia Helena Cunha dos Anjos pela amizade, ensinamentos e contribuições no estudo.

Ao professor Nelson Mazur pela orientação e ensinamentos.

Aos amigos do Laboratório de Gênese e Classificação de Solos pela amizade, apoio, experiências e momentos de descontração.

Aos estagiários, Rafael Cavassani e Vanessa Vital, pela amizade e por contribuírem na realização de algumas análises.

Aos amigos, Sidnei, Khadidja, Wanderlei, Elias, Paula, Anderson, Sandra, Claudinha, Thaís, Alessandro, Deivid, Guilherme, Eloísa, Vanessa Vital, Rafael, Shirlei, Arcângelo, Daniel, Rodrigo, Iara, Celeste e os que sempre estiveram me apoiando e incentivando ao longo da minha trajetória no mestrado.

Aos técnicos, Maria Helena, Adriana e Jair, do Departamento de Solos da UFRRJ, pela amizade e por contribuírem para a realização de algumas análises.

Ao pesquisador, Ademir Fontana, pela amizade e por contribuir na interpretação de alguns resultados.

Aos funcionários da Secretaria de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, Marquinhos, Vagner e Michele, pelo empenho e eficiência nos trabalhos.

Ao CNPq pelo financiamento do projeto a CAPES pela concessão da bolsa.

Ao Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela estrutura.

Em especial,

Ao professor Marcos Gervasio Pereira pela amizade, confiança e paciência ao longo desses anos. Além do papel de orientador, assumiu o papel de um pai. Sei que em alguns momentos extrapolei, mas apesar dos pesares essa figura paternal sempre se fez presente. Diante disso, meu eterno agradecimento a essa pessoa tão especial, que foi o principal responsável pela execução desse trabalho e pelo meu desenvolvimento enquanto profissional e pessoa.

Meu eterno agradecimento.

BIOGRAFIA

Deyvid Diego Carvalho Maranhão, nascido na cidade de Xinguara, estado do Pará, filho de Djalma Sousa Maranhão e Maria do Socorro Pereira de Carvalho. Ingressou na Escola Agrotécnica Federal de Santa-ES atual IFES no ano de 2001, no curso Técnico em Agropecuária, e no ano de 2002 ingressou no curso de Técnico em Agroturismo na mesma instituição, concluindo ambos no ano de 2003. No ano 2007 iniciou o curso de Engenharia Agrônoma na Universidade Federal do Tocantins, concluindo no ano de 2011. Em março de 2012 ingressou no curso de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, concluindo em março de 2014.

RESUMO GERAL

MARANHÃO, D.D.C. **Gênese, caracterização e comparação de métodos analíticos de solos de natureza calcária do Grupo Bambuí, no estado do Tocantins.** 2014. 123 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

Os solos calcários representam uma parcela significativa das áreas agrícolas do planeta; comumente, apresentam elevados teores de cálcio, magnésio, carbonatos, associados a elevados valores de pH. De modo geral, embora haja poucas informações acerca de seus atributos, estão em áreas de grande potencial para a utilização agrícola. Esse estudo teve como objetivo avaliar aspectos envolvidos na gênese de solos calcários do Grupo Bambuí, nos municípios de Lavandeira e Aurora, sudestado estado do Tocantins, a partir de atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos, bem como comparar métodos analíticos para avaliação de atributos desses solos. Majoritariamente, esses solos apresentaram baixo grau de desenvolvimento pedogenético, destacando-se os processos pedogenéticos de melanização e calcificação, além de elevados teores da fração silte, o que está relacionado à ocorrência de lâminas de siltitos associadas ao calcário. A partir das avaliações realizadas, sugere-se que o caráter carbonático ou horizonte cálcico devem ser incluídos no nível de grande grupo na classe dos Luvisolos Háplicos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Neste estudo, os perfis P1 e P4 da topossequência T2 apresentaram elevados teores de carbonato de cálcio, porém foram classificados como “Lítico” e “Órtico”, respectivamente, omitindo-se essa característica que é de grande relevância no aspecto de manejo. Esse atributo deve ser ressaltado na classificação, visto que é determinante do pH, teor de fósforo e de micronutrientes disponíveis. A utilização do sufixo “r” deve ser revista no Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo, pois esse sufixo tem sido de uso exclusivo para o horizonte e/ou camada C, omitindo essa característica para os demais horizontes, assim como caracterizado no perfil P1 da topossequência T2. Quanto aos métodos analíticos, o método de determinação de fósforo (P) mais eficiente para solos calcários faz uso de uma solução extratora alcalina tamponada (Olsen et al., 1954), sendo que a utilização de extratores de natureza ácida (Mehlich-1) pode superestimar os teores de P disponível. Por outro lado, o método de determinação de carbonato de cálcio equivalente, com alterações da metodologia proposta pela Donagemma et al. (2011), quantificou maiores teores de carbonatos de cálcio (CaCO_3), sugerindo que os demais métodos têm subestimando os teores de CaCO_3 das amostras. Quanto à análise granulométrica da terra fina, o hidróxido de sódio, como dispersante químico, mostrou-se mais eficiente na determinação da fração argila do solo, por ter proporcionado maior dispersão dessa fração, quando comparado à solução de hexametáfosfato de sódio. Em contrapartida, o método de determinação de carbono orgânico proposto por Yeomans e Bremner (1988) mostrou-se mais eficiente em comparação ao método da Donagemma et al. (2011), apresentando valores mais próximos dos obtido na análise elementar (CHNS-O) em amostras pré-tratadas com solução ácida.

Palavras-chave: Ambiente cárstico. Pedogênese. Análises de solos.

GENERAL ABSTRACT

MARANHÃO, D.D.C. **Genesis, characterization and comparison of analytical methods for calcareous soils from Group Bambuí, in the state of Tocantins.** 2014. 123 p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

Calcareous soils represent a significant portion of agricultural areas of the planet; commonly have high contents of calcium, magnesium, carbonates, associated with high pH values. In general, although there is little information about their attributes, they are located in areas with great potential for agricultural use. This study aimed to evaluate aspects involved in the genesis of calcareous soils of the Bambuí Group in the municipalities of Lavandeira and Aurora, southeast of Tocantins state, using morphological, physical, chemical and mineralogical attributes, and to compare methods for analytical evaluation of this soil attributes. Mostly, these soils have a low degree of pedogenetic development, highlighting the pedogenic processes of melanization and calcification, as well as high levels of silt fraction, which are related to the occurrence of siltstone layers associated with the limestone. From the evaluations, it is suggested that the carbonate character or calcic horizon must be included in the large group level in the class of *Luvissolos Háplicos* in the Brazilian System of Soil Classification. In this study, the profile P4 of toposequence T2 showed high calcium carbonate content, but were classified as "Órtico" respectively; thus omitting a feature of great importance in the management aspect. This attribute should be emphasized in the classification, since it influences the soil pH, available phosphorus content and micronutrients. The use of the suffix "r" should be reviewed in the Manual for Soil Description and Sampling in the Field, as this suffix has been used exclusively to the horizon and / or layer C, omitting this feature to other horizons, as it is featured in profile P1 of toposequence T2. As for the analytical methods, the phosphorus (P) determination more efficiently to calcareous soils uses a buffered alkaline solution extraction (Olsen et al., 1954), and the use of acidic nature extractors (Mehlich 1) may overestimate the values of available phosphorus. Moreover, the method for determining calcium carbonate equivalent, with the changes proposed by Donagema et al. (2011), quantified higher concentrations of calcium carbonate (CaCO_3), suggesting that other methods have underestimated the CaCO_3 content of the samples. As for the particle size analysis of fine earth, the usage of sodium hydroxide as chemical dispersant was more efficient in determining the clay fraction, with better dispersion of this fraction compared to the sodium hexametaphosphate solution. In contrast, the method for organic carbon measurement proposed by Yeomans and Bremner (1988) was more efficient, when compared to the method of Donagema et al. (2011), as shown by the values similar to the ones obtained from elemental analysis (CHNS-O) in samples pretreated with an acid solution.

Keywords: Karst environment. Pedogenesis. Soil analysis.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principais crátons no território brasileiro e sua expressão no relevo.....	2
Figura 2. Localização do Cráton São Francisco.....	3
Figura 3. Mapa geológico simplificado com indicação de estudos básicos do Neoproterozoico, indicando em vermelho a localização da região do estudo.....	4
Figura 4. Distribuição Global das principais coberturas de rochas carbonáticas.	5
Figura 5. Afloramento de calcário no sudeste do estado do Tocantins.....	6
Figura 6. Marcas da dissolução do calcário em São Domingos-GO.....	6
Figura 7. Feições cársticas resultante da dissolução do calcário (margas).....	6
Figura 8. Perfil de solo sob contato lítico (rochas pelíticas carbonáticas).	6
Figura 9. Mapa geológico regional do nordeste do Goiás e sudeste do Tocantins.	7
Figura 10. Situação geográfica do estado do Tocantins com identificação das principais cidades.	20
Figura 11. Afloramento de calcário no sudeste do estado do Tocantins.	21
Figura 12. Afloramento de calcário em associação com “mata seca” em Aurora-TO.	21
Figura 13. Topossequência (T1) de solos no município de Aurora, estado do Tocantins.	22
Figura 14. Topossequência (T2) de solos no município de Lavandeira, estado do Tocantins.....	22
Figura 15. Difração de raios-X da fração areia fina (AF) da topossequência.	50
Figura 16. Difração de raios-X da fração areia grossa (AG) da topossequência T1.....	50
Figura 17. Difração de raios-X da fração areia fina (AF) da topossequência T2.....	51
Figura 18. Difração de raios-X da fração areia grossa (AG) da topossequência T2.	51
Figura 19. Difração de raios-X da fração argila do perfil P1(Bt \bar{k} 1) da topossequência T1.	54
Figura 20. Difração de raios-X da fração argila do perfil P2 (Bik1) da topossequência T1. ...	54
Figura 21. Difração de raios-X da fração argila do perfil P3 (Bik1) da topossequência T1. ...	55
Figura 22. Difração de raios-X da fração argila do perfil P4 (Bivk1) da topossequência T1. ...	55
Figura 23. Difração de raios-X da fração argila do perfil P5 (Bik1) da topossequência T1. ...	56
Figura 24. Difração de raios-X da fração argila do perfil P6 (Bik) da topossequência T1.	56
Figura 25. Difração de raios-X da fração argila do perfil P1 (ACrk) da topossequência T2. ...	57
Figura 26. Difração de raios-X da fração argila do perfil P2 (Bik) da topossequência T2.	57
Figura 27. Difração de raios-X da fração argila do perfil P3 (Bik) da topossequência T2.	58
Figura 28. Difração de raios-X da fração argila do perfil P4 (BAk2) da topossequência T2. ...	58
Figura 29. Teores de fósforo em função dos métodos analíticos utilizados.	72
Figura 30. Diagrama de dispersão entre os métodos de determinação de fósforo.	73
Figura 31. Análise dos componentes principais dos métodos de determinação de fósforo e alguns atributos do solo.	74
Figura 32. Diagrama de dispersão entre os métodos da Embrapa modificado (recalculado) e Donagemma et al. (2011).	77
Figura 33. Diagrama de dispersão entre os métodos da Embrapa com amostra macerada (recalculado) e Donagemma et al. (2011).....	77

Figura 34. Diagrama de dispersão entre os métodos da Embrapa com TFSA (2 mm) (recalculado) e Donagemma et al. (2011).....	77
Figura 35. Diagrama de dispersão entre os métodos da Embrapa com amostra macerada e Embrapa modificado, ambos recalculados.	77
Figura 36. Diagrama de dispersão entre os métodos da Embrapa com TFSA (2 mm) e Embrapa modificado, ambos recalculados.	78
Figura 37. Diagrama de dispersão entre os métodos da Embrapa com TFSA (2 mm) e Embrapa com amostra macerada, ambos recalculados.....	78
Figura 38. Nódulo de calcita na amostra após o ataque ácido na determinação do carbonato de cálcio.	78
Figura 39. Teores de carbonato de cálcio em função dos métodos utilizados.	79
Figura 40. Teores de argila em função dos dispersantes químicos utilizados.....	79
Figura 41. Diagrama de dispersão dos entre o hexametáfosfato de sódio e o hidróxido de sódio.....	80
Figura 42. Teores de carbono em função dos métodos analíticos utilizados..	83
Figura 43. Diagrama de dispersão entre o CT e PT.	85
Figura 44. Diagrama de dispersão entre o CT e MPT.....	85
Figura 45. Diagrama de dispersão entre o CT e YB.	86
Figura 46. Diagrama de dispersão entre o CT e WB.....	86
Figura 47. Diagrama de dispersão entre MPT e PT.	86
Figura 48. Diagrama de dispersão entre YB e PT.	86
Figura 49. Diagrama de dispersão entre WB e PT.	87
Figura 50. Diagrama de dispersão entre YB e MPT.	87
Figura 51. Diagrama de dispersão entre WB e MPT.	87
Figura 52. Diagrama de dispersão entre WB e YB.	87
Figura 53. Análise de componentes principais dos métodos de determinação de carbono.....	88

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Atributos morfológicos de perfis da topossequência T1 no sudeste do Tocantins..	28
Tabela 2. Atributos morfológicos de perfis, em uma topossequência T2 no sudeste do Tocantins.....	29
Tabela 3. Atributos físicos de perfis em uma topossequência T1 no sudeste do estado do Tocantins.....	32
Tabela 4. Atributos físicos de perfis em uma topossequência T2 no sudeste do estado do Tocantins.....	34
Tabela 5. Atributos químicos de perfis, na topossequência T1 no sudeste do estado do Tocantins.....	36
Tabela 6. Atributos químicos de perfis, na topossequência T2 no sudeste do estado do Tocantins.....	38
Tabela 7. Fracionamento químico da matéria orgânica do solo da topossequência T1.	40
Tabela 8. Fracionamento químico da matéria orgânica do solo da topossequência T2.	42
Tabela 9. Composição química e relações moleculares k_i e k_r de solos na topossequencia T1.	44
Tabela 10. Composição química e relações moleculares k_i e k_r de solos da topossequência T2.....	45
Tabela 11. Formas de ferro extraíveis de na fração terra fina topossequência T1.	47
Tabela 12. Formas de ferro extraíveis de na fração terra fina topossequência T2.	48
Tabela 13. Ocorrência de minerais nas frações argila e areia.....	53
Tabela 14. Classificação de solos e processos pedogenéticos.....	59
Tabela 15. Classificação dos horizontes diagnósticos e dos solos.	62
Tabela 16. Matriz de correlação de métodos de determinação de fósforo e alguns atributos do solo.....	74
Tabela 17. Matriz de correlação de métodos de determinação de carbonato decálcio.....	76
Tabela 18. Matriz de correlação de dispersantes químicos e alguns atributos do solo.	82
Tabela 19. Matriz de correlação de métodos de determinação de carbono do solo.	88
Tabela 20. Análises físicas e químicas do perfil 1 da topossequência-T1 do município de Aurora-TO.	103
Tabela 21. Análises físicas e químicas do perfil 2 da topossequência-T1 do município de Aurora-TO.	105
Tabela 22. Análises físicas e químicas do perfil 3 da topossequência-T1 do município de Aurora-TO.	108
Tabela 23. Análises físicas e químicas do perfil 4 da topossequência-T1 do município de Aurora-TO.	111
Tabela 24. Análises físicas e químicas do perfil 5 da topossequência-T1 do município de Aurora-TO.	113
Tabela 25. Análises físicas e químicas do perfil 6 da topossequência-T1 do município de Aurora-TO.	115
Tabela 26. Análises físicas e químicas do perfil 1 da topossequência-T2 do município de Lavandeira-TO.....	117
Tabela 27. Análises físicas e químicas do perfil 2 da topossequência-T2 do município de Lavandeira-TO.....	119

Tabela 28. Análises físicas e químicas do perfil 3 da topossequência-T2 do município de Lavandeira-TO.....	121
Tabela 29. Análises físicas e químicas do perfil 4 da topossequência-T2 do município de Lavandeira-TO.....	123

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA GERAL	2
2.1. A Geologia do Grupo Bambuí – Formação Sete Lagoas	2
2.2. Ambientes Cársticos.....	5
2.3. Solos Calcários.....	8
2.4. Processos Pedogenéticos	9
2.5. Métodos Analíticos para a Caracterização de Solos Calcários	10
2.5.1. Métodos de determinação de fósforo	10
2.5.2. Método de determinação dos teores de carbonato de cálcio	11
2.5.3. Quantificação dos teores de argila em solos de natureza calcária	12
2.5.4. Determinação dos teores de carbono em solos de natureza calcária.....	13
3. CAPÍTULO I- GÊNESE, CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS CALCÁRIOS DO GRUPO BAMBUÍ, ESTADO DO TOCANTINS.....	16
3.1. RESUMO	17
3.2. ABSTRACT	18
3.3. INTRODUÇÃO.....	19
3.4. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.4.1. Localização da área de estudo.....	20
3.4.2. Amostragem	21
3.4.3. Caracterização analítica	22
3.4.4. Carbono orgânico e caracterização da matéria orgânica do solo	25
3.4.5. Análises mineralógicas.....	26
3.4.6. Classificação dos Solos	26
3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
3.5.1. Atributos morfológicos	27
3.5.2. Atributos físicos	30
3.5.3. Atributos químicos	34
3.5.4. Carbono e fracionamento químico da matéria orgânica do solo.....	39
3.5.5. Complexo de meteorização	43
3.5.6. Formas extraíveis de ferro na terra fina	45
3.5.7. Mineralogia do solo.....	48
3.5.8. Classificação dos solos.....	60
3.6. CONCLUSÕES	63

4. CAPÍTULO II- COMPARAÇÃO DE MÉTODOS ANALÍTICOS DE SOLOS CALCÁRIOS DO GRUPO BAMBUÍ, ESTADO DO TOCANTINS	64
4.1. RESUMO	65
4.2. ABSTRACT	66
4.3. INTRODUÇÃO.....	67
4.4. MATERIAL E MÉTODOS.....	68
4.4.1. Localização da área de estudo e amostragem	68
4.4.2. Determinação de fósforo disponível	68
4.4.3. Determinação de carbonato de cálcio	68
4.4.4. Análise granulométrica	70
4.4.5. Carbono orgânico e carbono total	71
4.4.6. Análise estatística.....	71
4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
4.5.1. Determinação dos teores de fósforo.....	72
4.5.3. Análise granulométrica	79
4.5.4. Determinação dos teores de carbono do solo.....	83
4.6. CONCLUSÕES	89
5. CONCLUSÕES GERAIS	90
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
7. ANEXO	102

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os solos formados a partir do intemperismo de rochas e/ou sedimentos de natureza calcária representam uma importante parcela das áreas agrícolas do planeta, justificando estudos no tocante a sua gênese, assim como a caracterização de seus atributos, no sentido de contribuir na recomendação de práticas de manejo e adubação de áreas agrícolas, bem como na conservação ambiental.

No Brasil, parte dos solos calcários encontra-se inserido no Grupo Bambuí. Alguns trabalhos apontam que esta formação geológica ocorreu há aproximadamente 600 milhões de anos, no Neoproterozoico, a partir da redução do nível de base. Sua primeira formação foi um conglomerado basal pouco representativo, seguido de calcários compostos por rochas pelíticas com diferentes graus de pureza e de natureza “clástica”, que aparecem associados a siltitos e argilitos.

A paisagem regional da região sudeste do Tocantins, naquela porção do Grupo Bambuí, apresenta feições geomorfológicas características de ambientes cárticos, ocorrendo afloramentos de rochas calcárias, associadas à vegetação de “mata seca”. A ocorrência de sumidouros e ressurgências são comuns, resultante da dissolução do calcário, a partir da ação da água naturalmente acidulada, o que condiciona solubilização de carbonatos, influenciando a alteração do nível de base.

Os solos que compõem esse ambiente apresentam elevados teores de cálcio e magnésio, associados a elevados valores de pH. Contudo, podem apresentar restrições quanto à disponibilidade de micronutrientes e fósforo, resultado das reações decorrentes dos elevados valores de pH e teores de cálcio. Mediante as peculiaridades dos solos formados a partir desse tipo de material de origem, são necessárias pesquisas que contemplem aspectos relacionados à caracterização e determinação de nutrientes, no sentido de aperfeiçoar sua quantificação e as recomendações de adubação.

Nesse sentido, buscou-se estudar solos formados a partir de rochas e/ou sedimentos calcários com o intuito de compreender sua gênese, bem como testar métodos analíticos para avaliação de atributos químicos e físicos de solos do sudeste do Estado do Tocantins. Deste modo, a dissertação foi composta por dois capítulos, os quais foram intitulados:

I- Gênese, caracterização e classificação de solos calcários do Grupo Bambuí, Estado do Tocantins.

II- Comparação de métodos analíticos de solos calcários do Grupo Bambuí, Estado do Tocantins.

Os objetivos gerais do estudo foram:

- a) Caracterizar os atributos morfológicos, físicos e químicos dos solos;
- b) Identificar os minerais constituintes das frações areia e argila;
- c) Realizar o fracionamento químico da matéria orgânica;
- d) Comparar os métodos de determinação de fósforo disponível em solos calcários;
- e) Avaliar o emprego de métodos de determinação de carbonato de cálcio em solos calcários;
- f) Comparar dispersantes químicos utilizados na determinação da fração argila em solos calcários; e
- g) Avaliar métodos de determinação de carbono em solos calcários.

2. REVISÃO DE LITERATURAGERAL

2.1. A Geologia do Grupo Bambuí – Formação Sete Lagoas

O cráton São Francisco (Figura 1) é constituído por uma crosta Arqueana-Paleoproterozoica com cobertura Neoproterozoica no Supergrupo São Francisco; composta por sequências de diamictitos glaciomarinhos, onde está incluído o Grupo Bambuí, com sedimentos siliclásticos marinhos e carbonatos (Uhelein et al., 2004).

O Grupo Bambuí, ocupa a porção leste da faixa de Dobramentos Brasília (Figura 2), com extensa cobertura do Cráton São Francisco (Dardenne, 2000). Representa uma associação de litofácies siliciclásticas, químicas e bioquímicas, formadas pelo acúmulo de sedimentos depositados sobre extensiva plataforma epicontinental, onde o mar recobriu parte do paleocontinente São Francisco no final do Neoproterozoico (Monteiro, 2009).

A estratigrafia do Grupo Bambuí foi definida por Dardenne (1978), sendo propostas seis formações geológicas: Jequitaiá, Sete Lagoas, Serra da Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias.

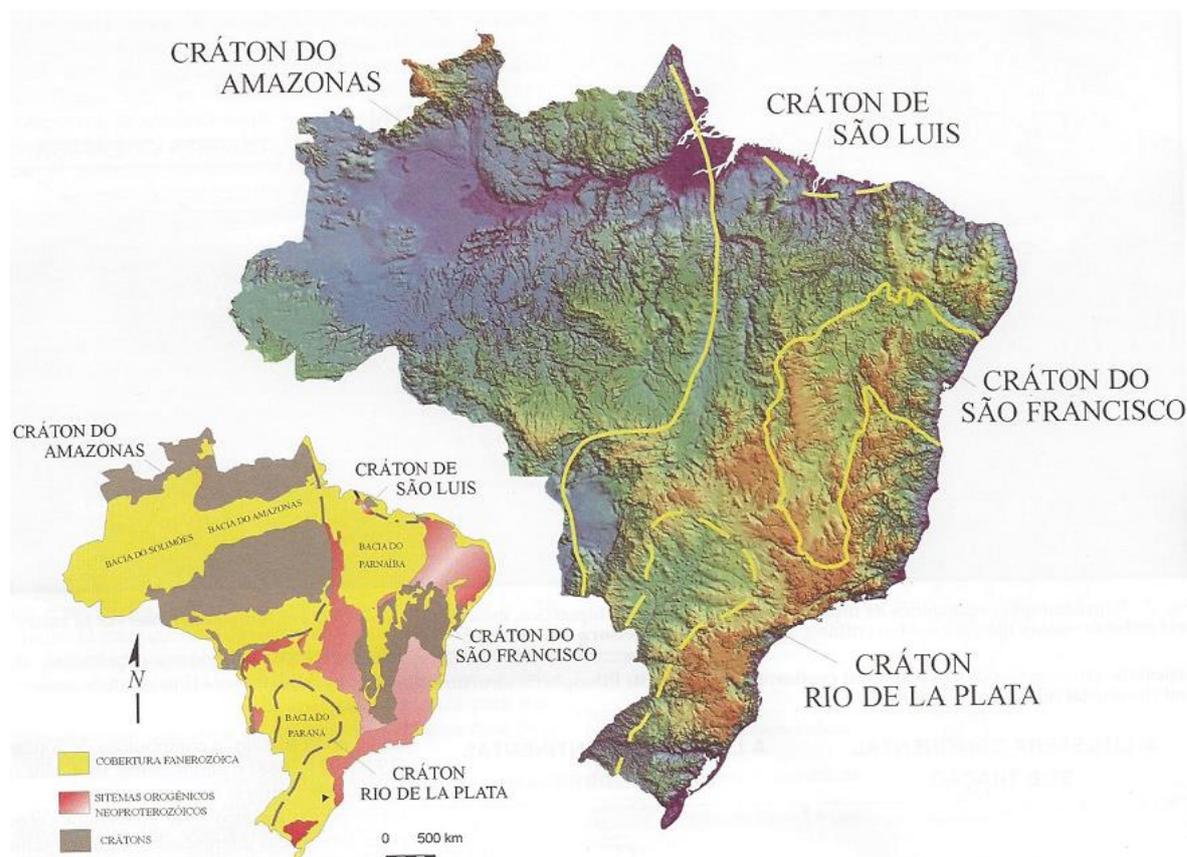


Figura 1. Principais crátons no território brasileiro e sua expressão no relevo. Fonte: Adaptado de Alkmim (2004).

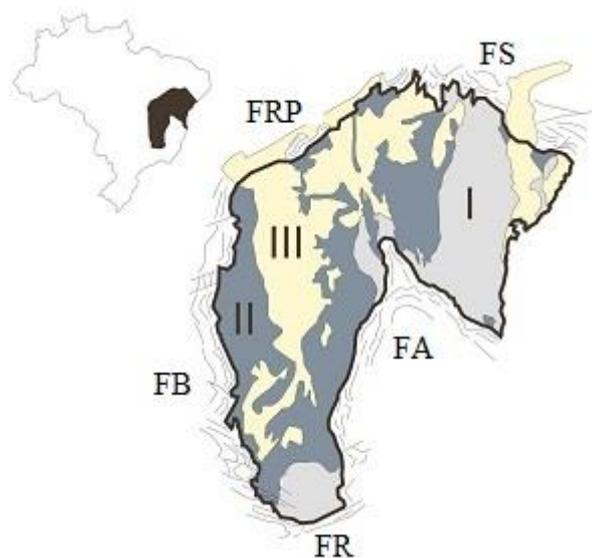


Figura 2. Localização do Cráton São Francisco. (I) Embasamento (> 1.8 Ga); (II) Bacia do São Francisco; (III) Cobertura Fanerozoica; FA – Faixa Araçuaí; FR – Faixa Ribeira; FB – Faixa Brasília; FRP – Faixas Rio Preto e Riacho do Pontal; FS – Faixa Sergipana. Fonte: Compilado de Kuchenbecker (2010).

O Grupo Bambuí ocupa uma área superior a 300.000 km² sobre o Cráton São Francisco (Dardenne, 1978). Os dados geocronológicos apontam que os sedimentos foram depositados durante a inversão tectônica da bacia, cerca de 790-600 Ma (Santos et al., 2000), iniciando com sedimentos de carbonato-pelíticos, seguido por sedimentação siliciclástica (Dardenne, 1978). A constituição básica dessa unidade é caracterizada por apresentar argilitos, calcários, siltitos e estromatólitos fossilizados (Santos et al., 2000).

A Formação Sete Lagoas (Figura 3) compõe o Grupo Bambuí, e está presente na maior parte do cráton São Francisco, distribuindo-se a leste do embasamento granítico, e compreendem rochas pelíticas carbonáticas e fosfatadas, localizadas na porção basal do grupo (Monteiro, 2009). Os calcários, que ocorrem estratificados nessa porção, têm granulação variando de muito fina a fina, coloração cinzenta, constituídos por calcita, tangenciados com inclusões de hematita e material carbonático disseminado (Embrapa, 1983).

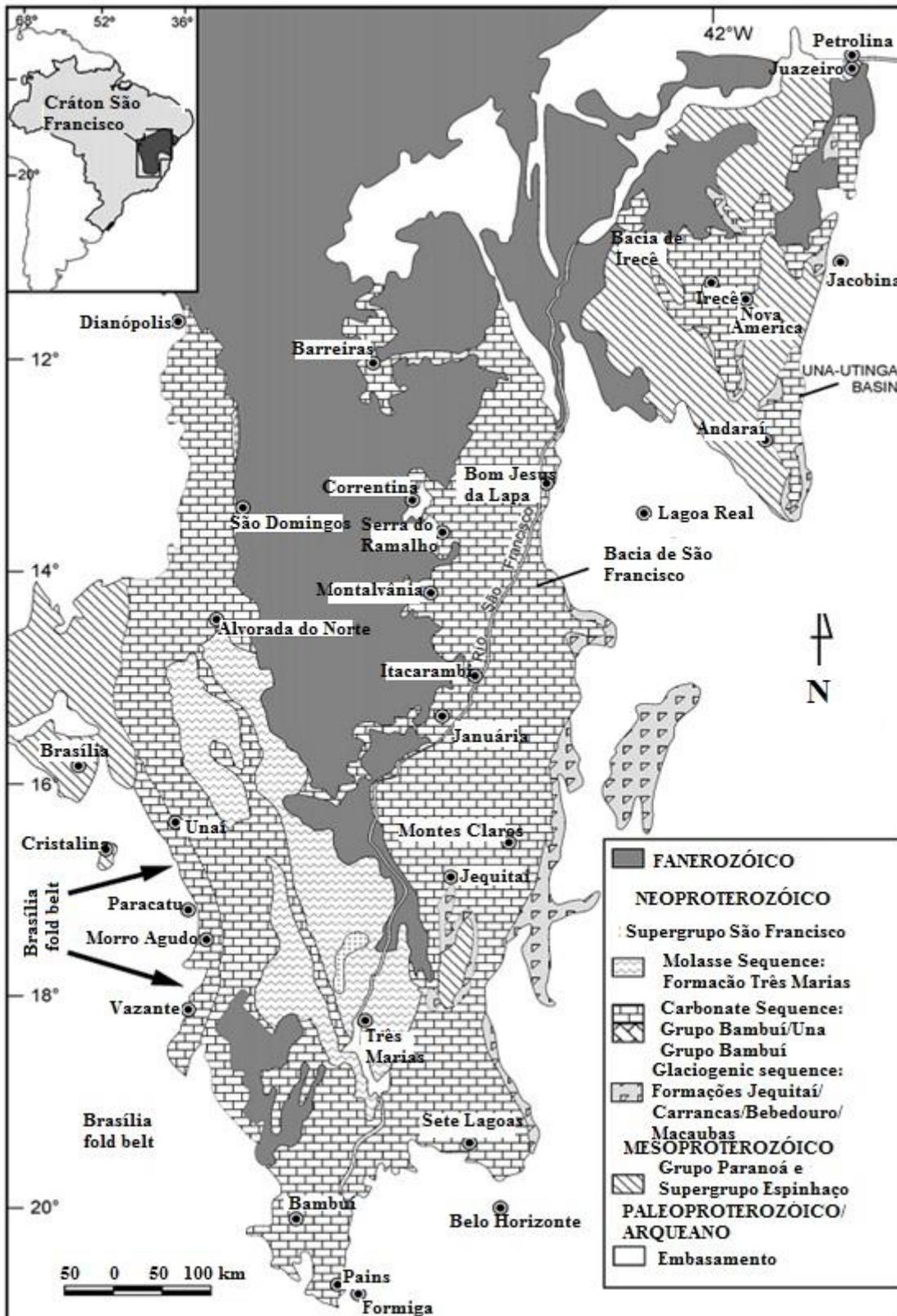


Figura 3. Mapa geológico simplificado com indicação de estudos básicos do Neoproterozoico, indicando em vermelho a localização da região do estudo. Fonte: Adaptado de Misi et al. (2007).

2.2. Ambientes Cársticos

Os ambientes cársticos (Figura 4) compreendem de 10% a 15% do território mundial (Ford e Williams, 2007); assentando 25% da população global. No território brasileiro, têm distribuição geográfica de 7%, sendo que os estudos desses ambientes normalmente são direcionados à espeleologia.

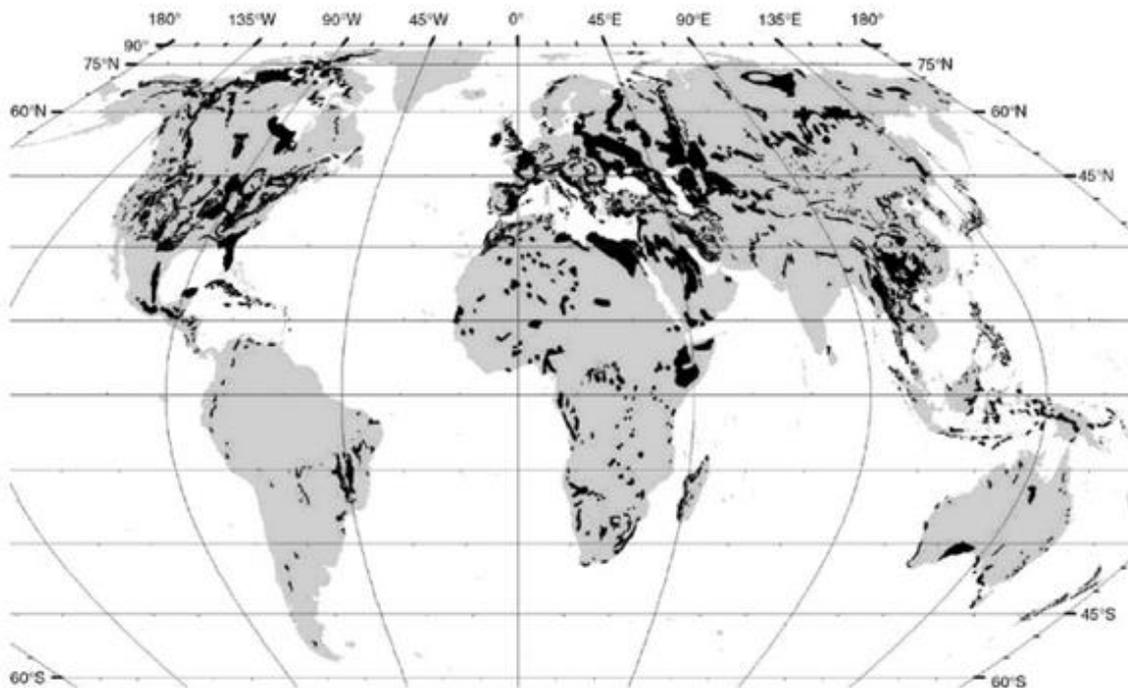


Figura 4. Distribuição Global das principais coberturas de rochas carbonáticas. Fonte: Compilado de Ford e Williams (2007).

A palavra carste é a versão portuguesa da palavra alemã *karst*, termo originado do Planalto de Kras, Noroeste dos Balcãs, na região da Eslovênia e da Itália (Travassos et al., 2008). A paisagem regional do carste normalmente apresenta afloramentos calcários (Figura 5), dolinas, poljes e cavernas (Travassos et al., 2008).

Esse tipo de ambiente foi inicialmente estudado na Sérvia, a partir de pesquisas conduzidas por Jovan Cvijić, dando início à Carstologia (Ćalić, 2007).

Para Williams e Fong (2008), o carste é encontrado sob rochas solúveis, citando o calcário, mármore, dolomitos e evaporitos. Esse termo levanta diversas discussões, sobretudo quando utilizado para ambientes formados a partir de litologias diferentes do calcário (Travassos, 2010), mesmo que algumas rochas não carbonáticas possam apresentar feições semelhantes às observadas em rochas carbonáticas.

O ambiente cárstico apresenta formas bem características, tais como: muralhas abruptas, rios em vales apertados, longos e profundos, paredes escarpadas perfuradas por grutas, onde ocorrem surgência e ressurgências de água límpida, com cursos d'água subterrâneos em virtude das fendas criadas pela solubilidade das rochas (Shinzato, 1999).

As rochas carbonáticas dissolvem-se (Figura 6) naturalmente pela ação da água acidulada, favorecendo os processos morfogenéticos responsáveis pela dinâmica e evolução da paisagem. A abertura de condutos por dissolução pode ser atribuída a dissolução da calcita, resultante da reação de H_2O , CO_2 e $CaCO_3$, onde soluções próximas do equilíbrio são capazes

de percolar a rocha por grandes distâncias sem atingir saturação total do carbonato (Piló, 2000).

A região da Lagoa Santa é um exemplo de um denso conjunto de feições dissolutivas, desenvolvidas em calcarenitos puros da Formação Sete Lagoas no Grupo Bambuí, os quais estão cobertos por significativas formações pedológicas (Berbert-Born, 2002).

A evolução da paisagem cárstica sobre rochas carbonáticas sem porosidade é resultado da disponibilidade de água, que percorre sobre discontinuidades geológicas dentro das rochas carbonáticas, resultando em dissolução e lixiviação de íons carbonáticos (Silva, 2002).

As cavernas, parte importante desse sistema paisagístico, são testemunhos da ação erosiva ao longo de milhares de anos. Acredita-se que esses ambientes já eram utilizados pelo homem pré-histórico, confirmado pelas assinaturas rupestres, encontradas sob rochas e cavernas (Travassos et al., 2008).



Figura 5. Afloramento de calcário no sudeste do estado do Tocantins. Fonte: Marcos Gervasio Pereira



Figura 6. Marcas da dissolução do calcário em São Domingos-GO. Fonte: Deyvid Diego Carvalho Maranhão



Figura 7. Feições cársticas resultante da dissolução do calcário (margas). Fonte: Deyvid Diego Carvalho Maranhão

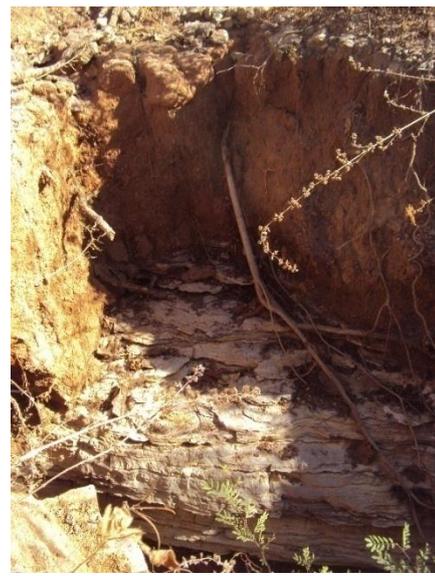


Figura 8. Perfil de solo sob contato lítico (rochas pelíticas carbonáticas). Fonte: Deyvid Diego Carvalho Maranhão

No Brasil, as feições cársticas são constatadas nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Bahia, Ceará (Lladó, 1970), Tocantins e Goiás, conforme descrito por Dardenne (1978), Martínez (2007) e Embrapa (1983). Sobre as rochas pelíticas e carbonáticas do Grupo Bambuí (Figura 7 e Figura 8), ocorrem discordantes depósitos colúviais argilosos. Trata-se de uma cobertura detrítica correspondente às superfícies de aplainamento, que apresentam relevo suave ondulado e extensas superfícies rebaixadas planas (Shinzato, 1999).

Existem no Brasil diversos carstes cobertos ou parcialmente cobertos por espessas coberturas pedológicas como a Lagoa Santa, Ijaci e Pains, no estado de Minas Gerais (Figura 9). O grupo Bambuí apresenta certa particularidade, pois os carbonatos aparecem associados a rochas pelíticas (filitos, siltitos, entre outras), resultando em solos argilosos e profundos; nesses casos, a participação do produto residual da rocha carbonática dissolvida é discreto na pedogênese (Piló, 2000).

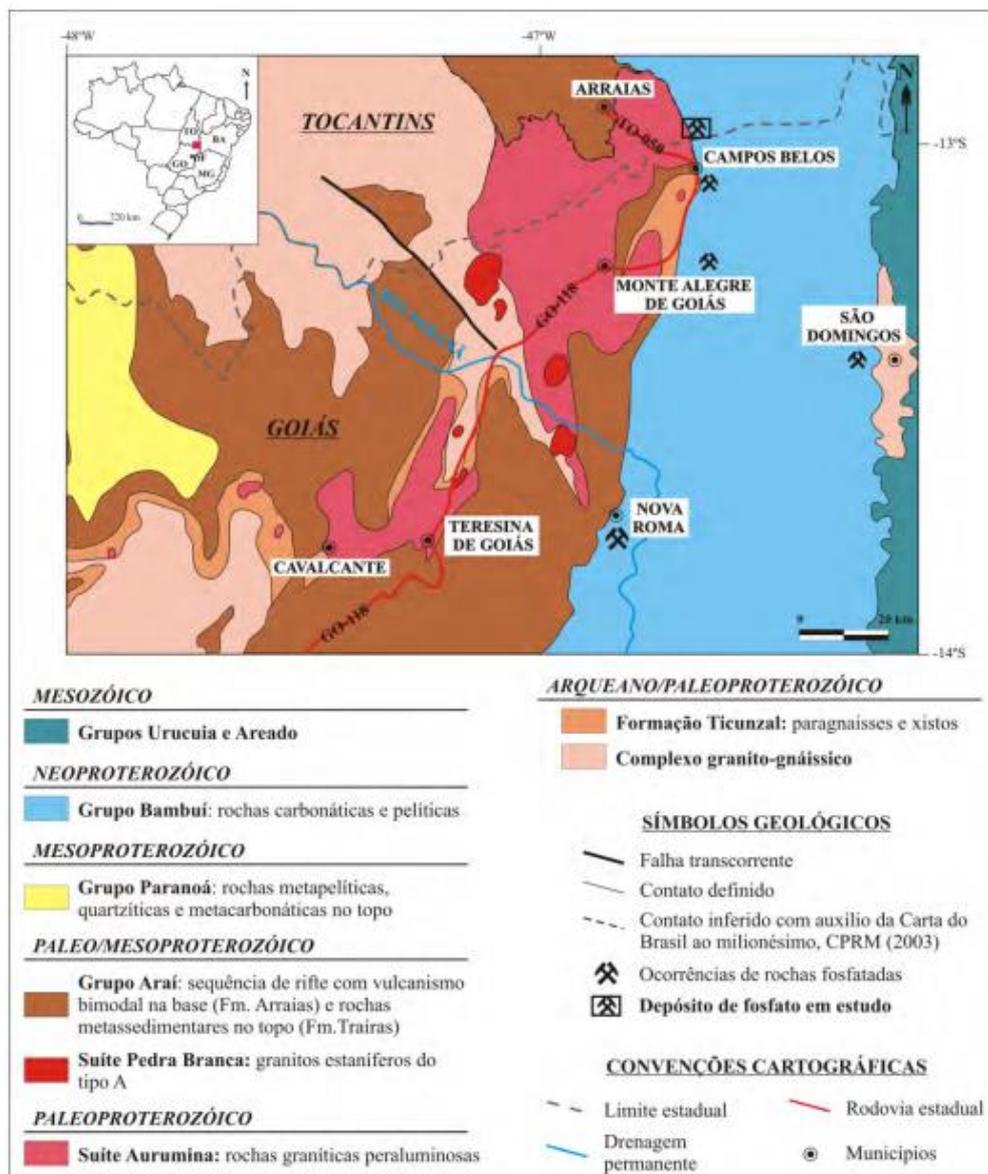


Figura 9. Mapa geológico regional do nordeste do Goiás e sudeste do Tocantins. Fonte: Compilado de Monteiro (2009).

2.3. Solos Calcários

Os solos calcários recobrem significativa parcela de áreas agrícolas no planeta (Chen e Barak, 1982), e têm sido utilizados desde a idade Pré-paleolítica, muito provavelmente por apresentarem boa capacidade produtiva e localizarem-se próximos a áreas ricas em mananciais hídricos.

Como consequência da quantidade e distribuição das rochas calcárias, solos de grande importância agrícola são formados a partir do intemperismo desse material de origem. Sendo que, dependendo das condições de clima, a ocorrência e distribuição dos carbonatos são variáveis.

À medida que aumenta a precipitação pluviométrica, ocorre progressiva dissolução dos carbonatos (Melo et al., 2009), ocasionando mobilização seguida de acumulação nas áreas mais baixas da paisagem e/ou nos horizontes subsuperficiais do solo, conforme observado por Pereira et al. (2013), ao estudarem uma topossequência na Serra da Bodoquena, estado do Mato Grosso do Sul.

Na região Norte do estado de Minas Gerais, Oliveira et al. (2000) observaram a ocorrência de nódulos carbonáticos em horizontes subsuperficiais de Cambissolo, formados a partir da precipitação dos carbonatos.

Em regiões de clima árido, características por apresentarem baixas taxas de precipitação e altas taxas de evaporação, os carbonatos de origem primária são mais preservados, coincidindo com a ocorrência de carbonatos de origem secundária em superfície (Melo et al. 2009), resultado da menor precipitação e perda da água contida no solo. São comuns em solos de regiões áridas e semi-áridas, elevados teores de carbonatos (Ferreira, 2012; Silva, 2012) em função das condições de clima, assim como da natureza do material de origem.

Ao realizar um estudo de solos calcários, Chaves (2010) verificou que os atributos dos solos variaram em função do material de origem de natureza calcária.

Nessa mesma ocasião, ao estudar solos da bacia do Mapou, no Haiti, Chaves (2010) observou a ocorrência de Neossolos Litólicos, Cambissolos Háplicos, Chernossolo Rêndzico, Luvisolos Crômicos, Argissolo Vermelho e Vermelho-Amarelo, todos com o caráter eutrófico e teores de carbonato de cálcio variáveis, sendo superiores a 80 g kg^{-1} .

No Brasil, ocorrem várias classes de solos formadas a partir de rochas e/ou sedimentos calcários. Em levantamentos de solos realizados no país, foi verificada a ocorrência de Chernossolo Rendzico, Vertissolos, Cambissolos com caráter vértico e/ou caráter carbonático, Neossolo Litólico, Chernossolos Háplicos e Argissolos com caráter eutrófico (Shinzato, 1999).

Estudando solos dos planaltos baixos no nordeste do Brasil, Lemos et al. (1997) verificaram a ocorrência de Cambissolos e Vertissolos, derivados de rochas calcárias, apresentando elevados teores de cálcio, valores de pH acima de 7 e saturação por bases superior a 90 %. Enquanto no norte do estado de Minas Gerais, na área do Projeto Jaíba, foram constatados Latossolos, Cambissolos e Podzólico, todos com caráter eutrófico (Oliveira et al., 2000).

Entretanto, na região da Serra do Paranoá, Lynch (2009) verificou perfis de Latossolos Vermelhos com caráter eutrófico e valores de pH de 6,1 em subsuperfície. Contudo, no sopé da encosta, foi observado um Chernossolo Ebânico com argila de atividade alta, associado a elevados valores de saturação por bases e pH.

No estado do Tocantins sob calcários do grupo Bambuí, foram descritos Gleissolos, Nitossolos, Cambissolos com elevada saturação por bases, pH ligeiramente ácido, elevados teores de cálcio e magnésio e com saturação por bases superior a 50% (Embrapa, 1983). Já no

estado do Goiás, foram descritos Cambissolos, Vertissolos e Argissolos, todos com caráter eutrófico e textura média a argilosa (Brasil, 1982).

Os solos sob influência calcária apresentam elevados teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , saturação por bases superiores a 50% e pH elevado, o que pode resultar na indisponibilidade de alguns micronutrientes, tal como: ferro, zinco e manganês (Oliveira, 2008). Os teores de fósforo são variáveis, mas de modo geral apresentam restrições, em decorrência da formação de fosfatos, a partir da associação com cálcio e magnésio, em valores de pH elevados. Entretanto, essas formas, apesar de apresentarem baixa solubilidade, poderão ser lentamente disponibilizadas para os vegetais (Freitas et al., 2013).

2.4. Processos Pedogenéticos

A compreensão da variabilidade espacial do solo, da sua gênese e suas relações funcionais para recentes processos na paisagem são desafios da ciência do solo (Sommer, 2006). Os processos pedogenéticos fornecem informações essenciais para a compreensão de algumas feições pedológicas, assim como da gênese.

Alguns solos formados a partir de rochas calcárias apresentam processos pedogenéticos peculiares, influenciados pelos teores de carbonatos e alguns cátions. Especialmente, os processos pedogenéticos específicos de calcificação e melanização.

O processo de calcificação ou carbonatação se dá a partir da acumulação de CaCO_3 em horizontes subsuperficiais, formando desde nódulos a horizonte petrocálcico (Arnold, 1983; Fanning e Fanning, 1989; Kämpf e Curi, 2012), processo resultante da remoção de carbonato para os horizontes subjacentes ou cotas mais baixas da paisagem e precipitação em superfície, por consequência da baixa precipitação pluviométrica e alta evaporação, associados a uma fonte de bases.

O processo de melanização trata-se de uma reação de complexação, seguida dos processos múltiplos de adição da matéria orgânica e transformação para formas mais humificadas, caracterizado pelo escurecimento do horizonte, resultando em um A espesso (Arnold, 1983; Kämpf e Curi, 2012). A transformação da matéria orgânica foi caracterizada por Arnold (1983) como processo pedogenético de decomposição, contemplando também a transformação de materiais de natureza mineral.

Os solos sujeitos à melanização são enriquecidos por cálcio e/ou magnésio, o que resultará no acúmulo de húmus (Bockheim e Gennadiyev, 2000), levando à formação de humatos de cálcio, produto da interação da fração orgânica com a fração mineral do solo (Duchaufour, 1970).

Alguns processos pedogenéticos específicos são verificados em solos que compõem a paisagem do Grupo Bambuí, dentre os quais os de rubeificação, brunificação, silificação, elutriação, vertilização e pedoturbação podem ser citados.

Os processos de rubeificação e brunificação são resultados da liberação de ferro na forma divalente, a partir de minerais primários, seguida da formação de óxido ferro com hidratação progressiva (Arnold, 1983; Kämpf e Curi, 2012), conferindo cores brunadas quando ocorre a formação da goethita (Almeida et al., 2000), e cores avermelhadas devido à presença da hematita (Schwertmann e Taylor, 1989; Silva e Vidal Torrado, 1999).

O processo de silificação consiste da migração e acumulação da sílica secundária, podendo ocasionar cimentação dos pedos, assim como de toda a matriz do solo (Kämpf e Curi, 2012).

O processo de vertização ou vertilização (Duchaufour, 1998) é caracterizado pela formação de fendas, agregados na forma de cunhas (cuneiformes), slinkensides e um micro relevo denominado gilgai, resultante da expansão e contração das argilas expansivas, quando submetidas aos ciclos de umedecimento e secagem (Bockheim e Gennadiyev, 2000; Kämpf e

Curi, 2012), associados ao processo de argilopedotubação (Fanning e Fanning, 1989). Solos que apresentam valores mínimos de 60% de argila esmectítica estão sujeitos a esses processos (Bockheim e Gennadiyev, 2000).

2.5. Métodos Analíticos para a Caracterização de Solos Calcários

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) utiliza atributos morfológicos, químicos, físicos e mineralógicos, além de horizontes diagnósticos para o emprego da hierarquização.

A maioria dos métodos de análises utilizados no Brasil segue o que é preconizado no Manual de Métodos de Análises de Solos, Donagemma et al. (2011), enquanto a descrição morfológica segue critérios descritos no Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos et al., 2013a).

O Manual de Métodos de Análises de Solos não apresenta métodos analíticos para solos com características diferenciadas, tais como: solos com elevados conteúdos de matéria orgânica, sódio, sais e carbonato de cálcio.

Os solos de natureza calcária estão associados a elevados teores de carbonato de cálcio; dessa forma, torna-se indispensável o estudo de métodos analíticos para fins de classificação, recomendação de adubação e manejo ambiental. Dentre as principais limitações de métodos, destacam-se a determinação dos teores de P disponível, de carbonato de cálcio equivalente, de carbono orgânico e a quantificação dos teores de argila.

2.5.1. Métodos de determinação de fósforo

O fósforo (P) é um dos nutrientes mais limitantes no desenvolvimento dos vegetais, apesar da sua grande abundância na crosta terrestre. Mesmo que o teor total de P no solo seja elevado em relação ao necessário para os vegetais, somente uma pequena fração tem baixa energia de ligação para ser desorvida dos colóides e disponibilizada para os vegetais (Silva et al., 2008). Em todas as suas formas naturais, inclusive as formas orgânicas, o P é muito estável e pouco solúvel, com uma pequena proporção na solução do solo (Novais et al., 2007).

A avaliação do P disponível é realizada mediante o uso de soluções extratoras com características e princípios diversos, nas quais é comum a divergência quanto ao tipo de extrator utilizado (Raij et al., 1984; Braida et al., 1996; Silva et al., 2008; Freitas et al., 2013).

Na revisão de literatura realizada por Silva e Raij (1999), é descrito que desde o século passado, os conteúdos de P determinados nas análises laboratoriais não servem como um bom indicador da disponibilidade desse nutriente para as plantas. Mesmo que alguns avanços no sentido da fisiologia vegetal e química do solo tenham balizado parte dos estudos no aspecto metodológico, ainda há muito para ser compreendido quanto a real labilidade desse elemento no solo.

Uma característica importante na seleção de um método de análise de P é a sua aplicabilidade em diferentes tipos de solos, principalmente no que se refere ao pH (Silva e Raij, 1999). Nesse aspecto, sugeriu-se o método de resina (Raij et al., 1984), por atuar numa ampla faixa de pH, extraíndo o fósforo lábil, simulando com maior eficácia a absorção do vegetal. Esse método permite a determinação dos teores de P, K, Ca e Mg no mesmo extrato (Raij e Quaggio, 1983). Entretanto, ainda não tem sido largamente utilizado na rotina dos laboratórios brasileiros, enquanto o método que utiliza solução Mehlich-1 (Donagemma et al., 2011) tem sido mais empregado.

O extrator de Mehlich-1 é composto por uma solução duplo-ácida, que desloca uma parcela do fósforo que se encontra adsorvido, assim como dissolve forma insolúveis de

fosfatos de cálcio, superestimando avaliações em solos que receberam aplicações de fosfato natural (Braidá et al., 1996; Bortolon et al., 2009).

O método Mehlich-1 apresentou elevada capacidade de extração sob solos tratados com fosfatos de rocha, promovendo a remoção de formas de P não disponível para os vegetais (Brasil e Muraoka, 1997), superestimando a quantidade de fósforo disponível para as plantas.

O método de determinação de P proposto por Olsen et al. (1954) utiliza uma solução extratora alcalina tamponada, composta por bicarbonato de sódio (NaHCO_3) a 0,5 mol L⁻¹. A solução de bicarbonato de sódio atua na liberação do P ligado a Fe e Al em condições de pH elevado, na qual o íon HCO_3^- substitui o fósforo adsorvido na superfície do coloide, reduzindo a atividade de Ca^{+2} na solução.

O extrato obtido a partir da solução de Olsen necessita de filtração, pois apresenta um extrato de cor amarelada, em decorrência da dissolução de compostos orgânicos, o que pode interferir na quantificação dos teores de P (Raij et al., 1984). Enquanto o extrato obtido a partir da solução de Mehlich-1 é translúcido (Perez e Naptune, 1987), porém, pode superestimar o teor de fósforo disponível do solo (Silva e Raiji, 1999)

Na maioria dos trabalhos que contemplam o estudo de métodos de determinação de fósforo, compara-se a quantidade extraída com a solução extratora, a partir de curvas de respostas, destacando o que é absorvido pelo vegetal. Entretanto, numa fase anterior a essa etapa, é necessário que sejam realizados ensaios para compreensão dos padrões de cada solução em solos com atributos químicos diferenciados, partindo do princípio de que alguns atributos do solo podem controlar o conteúdo de fósforo em solução (Holford, 1997).

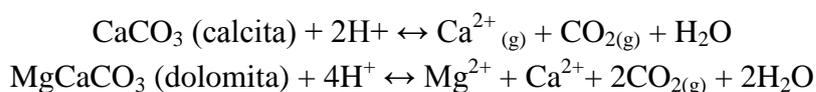
2.5.2. Método de determinação dos teores de carbonato de cálcio

O acúmulo de carbonato de cálcio no solo é indicativo do processo pedogenético específico de calcificação ou carbonatação (Kämpf e Curi, 2012), comum em solos de natureza calcária, podendo ser potencializado em condições de baixa precipitação e alta evaporação de água.

Os carbonatos resultam da combinação do CO_3^{-2} com metais e metaloides, assim como da reação do ácido carbônico (Zanardo e Marques Jr, 2009). O radical CO_3^{-2} em condições onde há presença de prótons torna-se instável, resultando na produção de CO_2 , uma vez que essa forma é mais estável (Zanardo e Marques Jr, 2009).

A dissolução de um mineral no sistema solo pode ser irreversível, quando os produtos da reação são retirados do meio, a partir dos processos de lixiviação e volatilização, diferente de quando os produtos da reação ainda permanecem no sistema e precipitam na forma de minerais (Mello e Perez, 2009). Sendo que, a partir das reações de dissolução e precipitação, ocorre a formação de minerais de natureza secundária em função da transformação de outros minerais (Zanardo e Marques Jr, 2009).

O cálcio precipita na forma de carbonatos, resultando na formação de minerais como calcita e aragonita (CaCO_3) (Mello e Perez, 2009), apresentando diferentes graus de cristalinidade (Zanardo e Marques Jr, 2009). De mesmo modo, o magnésio precipita na forma de magnesita (MgCO_3), também podendo precipitar na forma de dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) (Mello e Perez, 2009), tal como ilustrado nas reações a seguir:



Em condições de pH elevado e baixa pressão de gás carbônico (pCO_2), o cálcio e o magnésio assumem formas menos solúveis e precipitam na forma de carbonatos e

bicarbonatos. Quando o pH da solução atinge 6,36, predominam os ânions bicarbonatos, enquanto quando os valores de pH ultrapassam 10,33, predominam-se os carbonatos, de modo que determinam a disponibilidade de cálcio e magnésio em solução. Mello e Perez (2009) destacam que tanto em solos quanto em sedimentos de natureza alcalina, os carbonatos tornam-se estáveis em pH elevado.

Pereira et al. (2013) observaram evidências do processo pedogenético de calcificação em todos os perfis estudados em duas toposequências na Serra da Bodoquena-MS. À medida que reduz a $p\text{CO}_2$, ocorre redução na solubilidade da CaCO_3 (Can, 1988; Pereira et al., 2013). Entretanto, a remoção de carbonato de cálcio é comum em áreas onde a precipitação excede a evaporação (Can, 1988).

Estudando solos ao longo de uma toposequência na Serra da Bodoquena, Silva et al. (2013) constataram feições de carbonato de cálcio secundário. Yaalon (1997) descreve que, em alguns solos da região do Mediterrâneo, é verificada a ocorrência dos processos de dissolução e reprecipitação de carbonatos, o que resulta na formação de horizontes cálcicos em Xerolls e Calcisols nas regiões Semi-áridas, e há desenvolvimento de Vertisols nas áreas de baixada. Esse padrão observado na baixada é resultante da acumulação de carbonato de cálcio em áreas com drenagem imperfeita (Can, 1988; Pereira et al., 2013).

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) utiliza o conteúdo de carbonato de cálcio equivalente para estabelecer os caracteres carbonático e hipocarbonático e os horizontes cálcico e petrocálcico (Santos et al., 2013b). Entretanto, o método proposto pela Donagemma et al. (2011) subestima o teor de carbonato, pois a quantidade ou a normalidade do ácido proposto como titulante é insuficiente, assim como o tempo de aquecimento da amostra.

2.5.3. Quantificação dos teores de argila em solos de natureza calcária

A textura do solo representa a proporção relativa das partículas minerais menores que 2 mm, composta pelas frações areia, silte e argila (Santos et al., 2013a). Determinada a partir de análise laboratorial, envolvendo dispersão da amostra, separação e quantificação das frações granulométricas, podendo em algumas situações ser realizados pré-tratamentos para remoção de agentes cimentantes e flocculantes (Tavares-Filho e Magalhães, 2008; Donagemma et al., 2008).

A textura é um dos principais atributos do solo, exercendo grande influência na dinâmica de água, densidade do solo, densidade das partículas, agregação, capacidade de troca de cátions, sendo considerada nas recomendações de calagem e adubação, além do estudo de caracterização e classificação de solos.

Segue uma grande discussão quanto à padronização dos métodos de análise granulométrica, visando técnicas para maior eficiência e acurácia, principalmente no sentido da dispersão das amostras.

A acurácia da análise granulométrica depende da obtenção de suspensões completamente dispersas e estáveis, o que possibilita a separação das frações (Mauri et al., 2011; Corá et al., 2009; Donagemma et al., 2003).

A condição essencial para a realização da análise granulométrica é a individualização das partículas (Sousa-Neto et al., 2009), sendo necessário à dispersão total destas e sua manutenção durante toda a etapa analítica (Oliveira et al., 2002). Sendo que, a dispersão das partículas é realizada mediante a utilização de processos físicos e químicos (Sousa-Neto et al., 2009).

O processo físico é baseado na desagregação dos pequenos agregados, a partir da utilização de métodos de agitação lenta ou rápida, assim como ultra-som (Ruiz, 2005).

A dispersão química consiste na repulsão de partículas, a partir do aumento no potencial zeta, processo baseado na saturação do complexo de troca com um cátion altamente eletronegativo (Rodrigues, 2011). Para tanto, têm sido utilizados dispersantes à base de sódio, que apresentam alto raio iônico hidratado, resultando no aumento da dupla camada iônica difusa, a partir da saturação do complexo de troca pelo incremento das cargas negativas, em resposta ao aumento do pH (Ruiz, 2005).

Alguns procedimentos realizados durante a fase de dispersão das partículas podem resultar em falhas. Os solos que apresentam micro agregados de alto grau de desenvolvimento, formados a partir de agentes cimentantes, reduzem a acurácia do método, superestimando os valores de silte e areia fina da amostra (Corá et al., 2009; Donagemma et al., 2003). Erros experimentais dessa magnitude podem resultar em grandes consequências na utilização desses resultados, seja para fins de manejo, classificação ou modelagem.

Daí a necessidade de aperfeiçoamento da técnica de separação das frações menores que 2 mm, quanto ao processo de desagregação e dispersão química, no sentido de aumentar a eficiência do método.

O dispersante químico mais utilizado na análise granulométrica tem sido o hidróxido de sódio (Donagemma et al., 2011), indicado de forma generalizada para todos os solos brasileiros. Esse método é recomendado considerando que uma grande parcela dos solos brasileiros é ácida, com predomínio de cargas variáveis, na qual o elevado pH da solução favorece a dispersão das partículas, além do baixo custo e facilidade de aquisição desse produto.

Além disso, sabe-se que solos com elevados teores de cálcio e magnésio trocáveis apresentam restrições quanto à estabilização da suspensão, sendo recomendado o uso de hexametáfosfato de sódio como dispersante (Cunha, 2010; Viana et al., 2010).

2.5.4. Determinação dos teores de carbono em solos de natureza calcária

O carbono (C) do solo pode estar na forma orgânica, derivado da transformação da matéria orgânica e inorgânica na forma de carbonatos e bicarbonatos (Tedesco et al. 1995).

Diferentes métodos de determinação de carbono foram propostos e ajustados ao longo do tempo, mas ainda existe a dependência de produtos químicos e equipamentos com elevado custo. De acordo com Conceição et al. (1999) e Segnini et al. (2008), há a necessidade de estudos metodológicos para determinação de C do solo. No tocante aos estudos de gênese e classificação de solos, o teor de carbono orgânico é imprescindível na definição de alguns horizontes diagnósticos e definição de classes de solos. Assim como ocorre para o monitoramento da qualidade do solo e planejamento de práticas agrícolas.

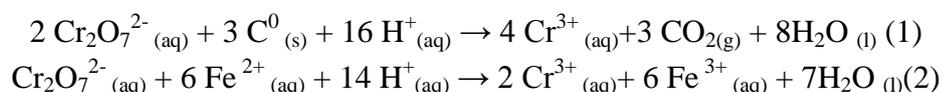
Outro aspecto que deve ser ressaltado corresponde a emissões de gases, o que segundo estudiosos podem condicionar uma mudança climática global, tornando imprescindível o monitoramento do C contido no compartimento solo (Cresser et al., 2007).

A eficiência do método de determinação dos teores de C depende de alguns atributos do solo; nesse sentido, os procedimentos metodológicos também podem variar em função desses atributos.

A determinação de C é baseada em dois princípios, sendo de oxidação úmida, a partir da utilização de dicromato de potássio na oxidação do carbono; e oxidação seca, que utiliza o analisador elementar (CHNS-O) ou mufla.

No princípio da combustão úmida, os principais métodos utilizados são Walkley e Black (1934), Yeomans e Bremner (1988) e Donagemma et al. (2011).

O carbono orgânico da amostra é oxidado a CO₂, enquanto o cromo é reduzido a Cr³⁺, em seguida titula-se o excesso de dicromato de potássio com sulfato ferroso amoniacal (Donagemma et al., 2011), de acordo com a seguinte reação:



Na equação 1, o dicromato reduzido equivale ao carbono orgânico existente na amostra. O excesso de dicromato é titulado com íons Fe²⁺ derivados da solução de sulfato ferroso amoniacal. O carbono é determinado a partir da diferença entre a quantidade de Fe²⁺ gasta na titulação na prova do branco quando o Cr⁶⁺ foi adicionado, pela quantidade gasta na titulação do dicromato remanescente após a oxidação do carbono da amostra, assumindo que todo o carbono da matéria orgânica está no estado de oxidação zero (Equação 2) (Donagemma et al., 2011; Sato, 2013).

Ao estudarem métodos de determinação de C em solos calcários no nordeste da China, Wang et al. (2012) verificaram que o método baseado em oxidação úmida (Walkley e Black, 1934) apresenta boa precisão na determinação do carbono orgânico do solo. A análise pelo método de Walkley-Black pode ser realizada sem a necessidade de equipamento sofisticado de laboratório (Chan et al., 1995). Contudo, é demorado e tem elevado potencial para causar poluição ambiental, devido ao destino de ácidos e do cromo (Rheinheimer et al., 2008; Salehi et al., 2011).

Segnini et al. (2008) mencionam que o método de oxidação úmida é o mais empregado em laboratórios de rotina, devido à simplicidade e baixo custo, porém apresenta problemas analíticos e ambientais. Os métodos de combustão seca e úmida apresentam alguns inconvenientes, principalmente o de combustão úmida, que exige grande quantidade de reagentes, gerando quantidades significativas de resíduos tóxicos (Rheinheimer et al., 2008).

O método da combustão a seco mais utilizado é o analisador elementar de C, no qual são quantificados o carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N), enxofre (S) e oxigênio (O). Nesse método, as amostras são submetidas a $\approx 1000^\circ\text{C}$, após serem tamisadas em peneira de 100 mesh, em seguida colocadas em cápsula de estanho. Após a combustão total, os gases são separados, e as concentrações, medidas por diferentes tipos de detectores, que variam de acordo com o equipamento ou fabricante. A combustão da amostra promove a emissão de gases (N₂, CO₂, H₂O e SO₂), que são separados por uma coluna cromatográfica e detectados por meio de um sensor de termo-condutividade, gerando sinal elétrico proporcional à quantidade de cada gás, em seguida convertidos em teores percentuais dos elementos (Sato, 2013).

A utilização de analisador elementar permite análises rápidas, confiáveis, além de ser automatizada (Segnini et al. 2008). A análise elementar gera baixa quantidade de resíduos tóxicos e possibilita a análise de um grande número de amostras a um curto período de tempo (Sato, 2013). Entretanto, apresenta elevado custo de análise e da manutenção dos equipamentos.

Os métodos de oxidação úmida são os mais utilizados em pesquisas e análises de rotina dos laboratórios, por serem facilmente executados (Sato, 2013; Gatto et al., 2009), requerem instrumentação simples, baixo custo e apresentam bons resultados analíticos (Sato, 2013; Rheinheimer et al., 2008). Em contrapartida, os analisadores elementares são dispendiosos (Chan et al., 1995) e de difícil manutenção.

No Brasil, tem sido utilizado o método de Walkley-Black modificado, descrito no Manual de Métodos de Análises de Solos (Donagemma et al., 2011), e em raros os casos, o

método de Yeomans e Bremner (1988), que também é baseado na oxidação úmida do C a partir da utilização do dicromato de potássio.

O método Yeomans e Bremner (1988) utiliza-se de uma menor quantidade de dicromato e tem apresentado uma boa eficiência na determinação de carbono orgânico, assim como alta correlação com os resultados obtidos a partir do analisador elementar (Rheinheimer et al. 2008), sugerindo uma boa opção para laboratórios que não dispõem do CHNS/O, partindo do princípio de que será reduzida a quantidade de dicromato. Considera-se também que esse resíduo pode causar vários problemas de saúde para os seres vivos (Pimentel et al., 2006), além de apresentar grandes riscos ao meio ambiente (Brunetto et al., 2006).

Ao comparar três métodos de determinação de carbono em solos calcários da Bacia do Yanqi, no noroeste da China, Chan et al. (1995) verificaram que o método Walkley-Black pode fornecer estimativas precisas de carbono orgânico. Diferencia-se, portanto, do método a partir do analisador elementar, que determina o carbono total, o que corresponde ao somatório do carbono orgânico e o inorgânico. Tal fato pode limitar a utilização do CHNS-O para solos com elevados teores de carbonatos. Ao realizar estudo com solos calcários na bacia do Guadix-Baza no sudeste da Espanha, Díaz-Hernández et al. (2003) observaram elevados teores de carbono inorgânico obtidos a partir do CHNS-O, bem característicos de solos formados a partir de rochas ou sedimentos ricos em carbonatos.

Apesar de os trabalhos de Gatto et al. (2009) e Rheinheimer et al. (2008) apontarem a utilização de fatores de correção a serem aplicados na transformação de resultados de métodos de combustão úmida para a análise elementar, Schumacher (2002) discorda dessa técnica, alegando que tais fatores podem superestimar ou subestimar os valores de carbono do solo. Isso justifica a necessidade de pesquisas direcionadas a técnicas que podem auxiliar na determinação de carbono do solo.

3. CAPÍTULO I

GÊNESE, CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS CALCÁRIOS DO GRUPO BAMBUÍ, ESTADO DO TOCANTINS.

3.1. RESUMO

O Grupo Bambuí foi formado a partir do acúmulo de sedimentos siliciclásticos, depositados sobre extensiva plataforma epicontinental, no final do Neoproterozoico. Apresenta calcários estratificados, que têm granulação muito fina a fina, coloração cinzenta, constituídos principalmente por calcita. No Brasil, são escassos os trabalhos referentes a solos formados a partir de rochas e/ou sedimentos de natureza calcária. Tocantins detém uma fração dos solos do estado formados a partir do intemperismo desses materiais de origem. O objetivo deste estudo foi contribuir para o desenvolvimento do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) e avaliar aspectos envolvidos na gênese de solos calcários do Grupo Bambuí, sudeste do estado do Tocantins, a partir da avaliação de atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos. Foram utilizados 10 perfis ao longo de duas topossequências, sendo 6 perfis localizados no município de Aurora (topossequência T1) e 4 perfis em Lavandeira (topossequência T2). O relevo, material de origem e o clima foram os fatores de formação mais determinantes na pedogênese, os quais apresentaram baixo grau de desenvolvimento e, na maioria dos casos, pouca espessura do solo. Os processos pedogenéticos mais expressivos foram a calcificação e a melanização. Todos os solos apresentaram elevados teores da fração silte, possivelmente relacionados com camadas de resíduos que compõem o calcário do Grupo Bambuí. Adicionalmente, verificaram-se elevados teores de cálcio e magnésio, associados a altos valores de pH. O caráter carbonático ou horizonte cálcico devem ser incluídos no nível de grande grupo na classe dos Luvisolos Háplicos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, pois neste estudo o perfil P4 da topossequência T2 apresentou elevado teor de carbonato de cálcio, sendo classificado como “Órtico” nesse nível, omitindo esse atributo de grande relevância no aspecto de manejo. Esse atributo deve ser ressaltado na classificação, visto que é determinante no pH, teor de fósforo disponível e na dinâmica de micronutrientes no solo. A utilização do sufixo “r” deve ser revista no Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo, pois esse atributo tem sido descrito como de uso exclusivo para o horizonte ou camada C, o que exclui esta característica de ser representada em outros horizontes, assim como caracterizado no perfil P1 da topossequência T2.

Palavras-chave: Ambientes cársticos. Carste. Pedogênese. Carbonatos.

3.2. ABSTRACT

The Bambuí Group was formed from the accumulation of siliciclastic sediments, deposited on extensive epicontinental platform at the end of the Neoproterozoic. It presents stratified limestone, which have very fine-grained thin, gray color, consisting mainly of calcite. In Brazil, there is little study on the soils formed from calcareous rocks and/or sediments. The Tocantins has a fraction of the soils in the state formed from the weathering of these parent materials. The objective of this study was to contribute to the development of the Brazilian System of Soil Classification (SiBCS) and to assess aspects involved in the genesis of calcareous soils from the Bambuí Group, in the Southeast of Tocantins State, by evaluating morphological, physical, chemical and mineralogical soil attributes. Ten profiles located in two toposequences were used, with 6 profiles located in the municipality of Aurora (toposequence T1) and 4 profiles in Lavandeira (toposequence T2). The relief, parent material and the climate were the most crucial factors in the pedogenesis, which showed a low level of development with common small thickness of soil profiles. The most significant pedogenic processes were the calcification and melanization. All soils showed high levels of the silt fraction, possibly related to residues that form layers in the Bambuí Group limestone. In addition, high levels of calcium and magnesium were combined with high pH values. The carbonate or calcium horizon character should be included in the large group level in the class of *Luvisolos Háplicos* in the Brazilian System of Soil Classification, since in this study P4 profile of toposequence T2 showed high calcium carbonate content and were classified as "Órtico" at this level, thus omitting this important attribute in the management aspect. This attribute should be emphasized in the soil classification, since it influences the pH and availability of phosphorus and micronutrients in the soil. The use of the suffix "r" should be reviewed in the Manual for Description and Sampling of Soils in the Field, because this attribute has been described as exclusive use for C horizon or layer, thus exclude this feature of being represented in other horizons, as characterized in the profile P1 of toposequence T2.

Keywords: Karst environments. Karst. Pedogenesis. Carbonates.

3.3. INTRODUÇÃO

O Grupo Bambuí está inserido no Cráton São Francisco. Alguns trabalhos apontam que essa formação geológica ocorreu há aproximadamente 600 milhões de anos, a partir do acúmulo de sedimentos de natureza “clástica e bioclástica”, depositados sobre extensiva plataforma epicontinental, onde o mar recobriu parte do paleocontinente São Francisco no final do Neoproterozoico.

No Brasil, parte dos solos formados a partir de rochas e/ou sedimentos de natureza calcária encontra-se nessa formação geológica; entretanto, com poucos estudos relacionados a aspectos pedológicos.

O estado do Tocantins detém uma fração dos solos carbonáticos do país, resultante do intemperismo de rochas calcárias em associação com siltitos e argilitos, que compõem a geologia do Grupo Bambuí.

Os solos calcários representam uma fração das áreas agrícolas no mundo, o que reforça a necessidade de estudos no aspecto de pedogênese e caracterização, no sentido de comparar características e atributos relacionados a esses tipos de solos, visando à classificação do solo, aptidão das terras, elaboração de mapas pedológicos, planejamento de práticas de manejo e adubação.

Esses solos apresentam elevados valores de pH, associados a altos teores de cálcio, magnésio e carbonatos. Entretanto, podem apresentar algumas restrições quanto à disponibilidade de micronutrientes e fósforo disponível.

O objetivo geral desse trabalho é ampliar os conhecimentos quanto aos solos de natureza calcária, assim como compreender sua pedogênese a partir de atributos morfológicos, físicos, químicos, mineralógicos e da matéria orgânica, avaliando perfis de solos localizados ao longo de duas topossequências no sudeste do estado do Tocantins, sob calcários que compõem o Grupo Bambuí.

Os objetivos específicos são:

- a) Caracterização de atributos morfológicos, físicos e químicos dos solos;
- b) Identificação dos minerais constituintes das frações areia e argila; e
- c) Fracionamento químico da matéria orgânica.

3.4. MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1. Localização da área de estudo

O estado do Tocantins (Figura 10) é uma das 27 unidades federativas do Brasil, sendo o mais novo Estado da federação. Situa-se a sudeste da região Norte do país, tendo como limites os estados do Maranhão a Nordeste, o Piauí a Leste, a Bahia a Sudeste, Goiás ao Sul, Mato Grosso a Sudoeste e o Pará a Noroeste, ocupa uma área correspondente a 277.620 km². O Tocantins tem reservas de rochas calcárias na região sudeste do Estado, correspondente a calcários do Grupo Bambuí, sobretudo é uma região caracterizada por apresentar baixos índices de desenvolvimento humano.

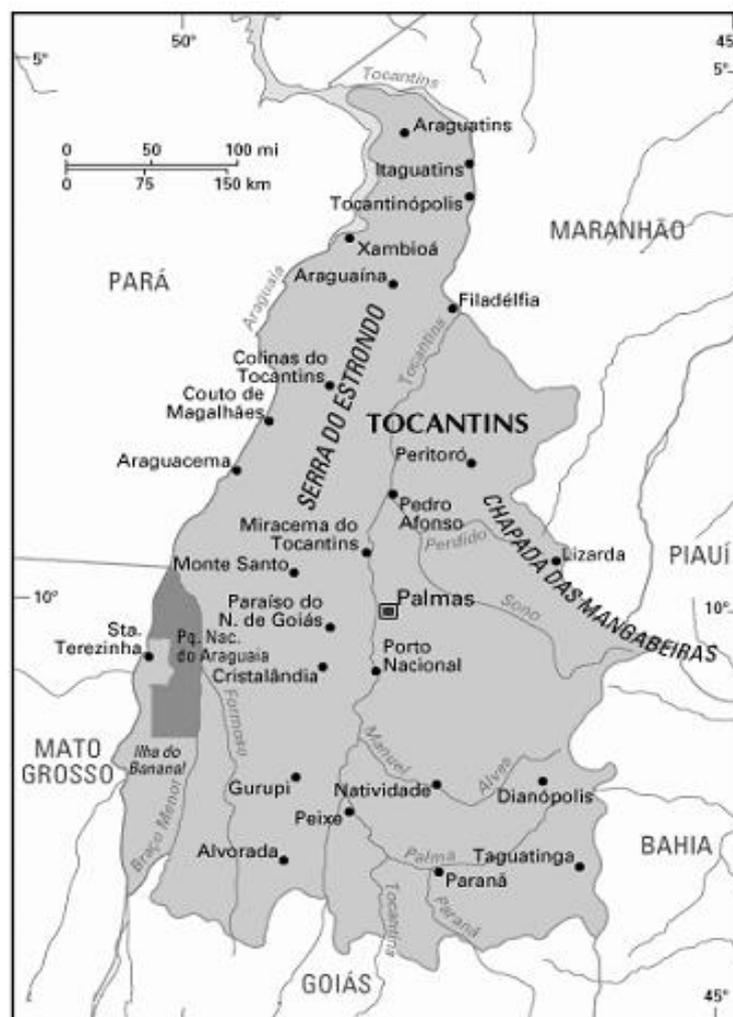


Figura 10. Situação geográfica do estado do Tocantins com identificação das principais cidades. Fonte: Compilado de Moraes (2009).

Uma parcela do estado do Tocantins está inserida no “Domínio dos Cerrados”, apresentando flora arcaica, composta de cerradões, cerrados, campestres e campos gerais (Ab’Saber, 1977). O Cerrado ocupa uma área de 244.359,9 km², correspondente a 87,8% de

toda região fitoecológica do Estado. A vegetação predominante ao sudeste do Tocantins é do tipo Floresta Tropical Decidual, com área de 5.272,0 km², correspondente a 1,9% do Estado, com predomínio de fanerófitas com gemas foliares protegidas da seca por escamas (Seplan, 2008).

O clima regional é classificado como C2wA'a', caracterizado por Köppen como subúmido seco com moderada deficiência hídrica e precipitação pluviométrica anual de 1500 mm. O relevo regional apresenta declividade entre 15% a 30 % (Seplan, 2008), com feições cársticas aparentes, afloramentos de calcários (Figura 11) marcados por processos de dissolução, em associação com vegetação de “mata seca” (Figura 12).



Figura 11. Afloramento de calcário no sudeste do estado do Tocantins. Fonte: Marcos Gervasio Pereira.

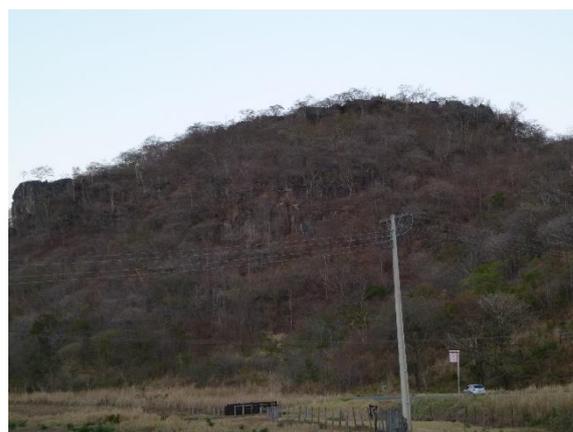


Figura 12. Afloramento de calcário em associação com “mata seca” em Aurora-TO. Fonte: Marcos Gervasio Pereira.

3.4.2. Amostragem

Foram selecionadas duas topossequências (Figura 13 e Figura 14) em áreas de ocorrência de rochas calcárias, onde foram abertas trincheiras no topo, terço superior, terço médio, terço inferior e baixada da encosta. Em cada uma das trincheiras, os perfis de solo foram descritos segundo o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos et al., 2013a). Posteriormente foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, sendo as últimas coletadas com o auxílio de um anel de Kopeck, para a determinação da densidade do solo (Ds).

As amostras deformadas foram expostas ao ar, destorroadas e tamisadas em peneira de 2 mm, que em seguida foram utilizadas para as análises químicas e físicas.



Figura 13. Toposequência (T1) de solos no município de Aurora, estado do Tocantins.
Fonte: Google Earth (2015).



Figura 14. Toposequência (T2) de solos no município de Lavandeira, estado do Tocantins.
Fonte: Google Earth (2015).

3.4.3. Caracterização analítica

a) Análises químicas

Todos os procedimentos seguiram os métodos propostos por Donagemma et al. (2011), exceto a extração de fósforo, que foi determinado a partir do método de Olsen et al. (1954).

pH em água e em KCl 1 mol L⁻¹

Determinado a partir leitura da concentração de íons H⁺ na suspensão solo: solução (1:2,5).

Cálcio e magnésio trocáveis

O cálcio e o magnésio foram extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹ (1:10) e determinados por complexometria, com emprego do EDTA 0,0125 mol L⁻¹ e negro de eriocromo, o Ca²⁺ segue o mesmo princípio, porém determinado em presença de KOH a 10% e murexida. O Mg²⁺ foi determinado por diferença entre a soma de Ca²⁺+Mg²⁺ e o teor de Ca²⁺.

Potássio e sódio trocáveis

Foram extraídos com solução duplo-ácida (Mehlich-1) constituída pela mistura de HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹, com relação solo:extrato de 1:10, em seguida determinados por leitura direta no fotômetro de chama.

Acidez extraível (H⁺ + Al³⁺) e hidrogênio extraível (H⁺)

Foi utilizada a solução de acetato de cálcio 1 mol L⁻¹, ajustada a pH 7,0 na proporção de 1:15, seguida de titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹. O H⁺ é determinado pela diferença entre o valor de acidez extraível e o teor de alumínio trocável.

Alumínio trocável (Al³⁺)

Foi utilizada a solução extratora de KCl 1 mol L⁻¹, com relação solo:extrato 1:10, seguida de titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹.

Valor S, T, e V%

- O valor S foi determinado a partir da soma dos teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio.
- O valor T foi obtido a partir do somatório do valor S e acidez extraível da amostra.
- A saturação por bases (Valor V%) foi obtida a partir da expressão (Valor S/ Valor T) x 100.

Saturação por alumínio (Valor m).

A saturação por alumínio foi determinada a partir da expressão: 100 x [Al³⁺/ (Valor S + Al³⁺)].

Fósforo extraível (Melich-1)

Foi extraído com solução duplo-ácida (Mehlich-1) constituída pela mistura de HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹, seguido de leitura no espectrômetro digital, a partir do princípio de colorimetria após a redução do complexo fosfomolibídico com ácido ascórbico, em presença de sal de bismuto.

Fósforo extraível (Olsen)

Foi utilizada a solução extratora de NaHCO_3 a pH 8,5 com relação solo:extrato de 1:20, em seguida leitura no espectrômetro digital, após a redução do complexo fosfomolibídico com ácido ascórbico, em presença de sal de bismuto.

Equivalente de carbonato de cálcio

O carbonato de cálcio foi determinado a partir do ataque da amostra com excesso de solução de HCl, seguido de titulação do ácido excedente com solução de NaOH padrão. A diferença da quantidade adicionada e a titulada representa o percentual de CaCO_3 da amostra.

Teor de sílica (SiO_2)

A sílica foi solubilizada a partir do resíduo do ataque sulfúrico com solução de NaOH a 30%, sob fervura branda e refluxo, determinada colorimetricamente após tratamento com solução ácida de molibdato de amônio, ácido ascórbico e ácido fosfórico.

Teor de ferro total (Fe_2O_3)

O teor de ferro total foi determinado a partir de uma alíquota do extrato sulfúrico (ajustada a pH 1,5) por meio de titulação com EDTA $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, utilizando o ácido sulfossalicílico como indicador (Donagemma et al., 2011).

Teor de alumínio total (Al_2O_3)

O teor de alumínio total foi determinado a partir da alíquota, por meio da qual se obteve o Fe_2O_3 , após correção do pH com acetato de amônio. A dosagem do Al_2O_3 foi determinada da titulação do excesso de EDTA $0,031 \text{ mol L}^{-1}$ com ZnSO_4 $0,016 \text{ mol L}^{-1}$ e descontando-se o valor do TiO_2 na amostra (Donagemma et al., 2011).

Teor de titânio (TiO_2)

O teor de titânio foi determinado a partir de uma alíquota do filtrado do ataque sulfúrico, seguindo o princípio colorimétrico, após adição de ácido oxálico, ácido fosfórico e perhidrol.

Relação molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (ki)

A constante de intemperização (ki) foi determinada a partir da equação:
$$ki = 1,70 \times \text{SiO}_2 (\%) / \text{Al}_2\text{O}_3 (\%).$$

Relação molecular $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ (kr)

A constante de intemperização (ki) foi determinada a partir da equação:
$$kr = (1,70 \times \text{SiO}_2 \%) / \text{Al}_2\text{O}_3 \% + (0,64 \times \text{Fe}_2\text{O}_3 \%)$$

b) Análises físicas

Composição granulométrica da terra fina

As amostras foram dispersas com NaOH 0,1 mol L⁻¹ e agitadas durante 16 horas. O teor de argila foi determinado por suspensão, pelo método da pipeta (Day, 1965). As frações areia grossa e areia fina foram separadas por tamisação, com peneiras de malhas 0,2 e 0,053 mm, enquanto o silte, por diferença. Para determinação da argila dispersa em água (argila natural), o método é semelhante ao da argila total.

Densidade do solo (Ds) e das partículas (Dp)

A amostragem para determinação da Ds foi realizada com o auxílio de anel de Kopeck, em seguida determinada a partir da relação de massa seca por volume de solo. A densidade das partículas (Dp) foi determinada pelo método do balão volumétrico.

O valor da massa de solo foi determinado após secagem em estufa a 110° C durante 24 horas. Em seguida, a densidade das partículas foi obtida a partir da relação da massa e o volume das partículas.

Volume total de poros (VTP)

O volume total de poros (VTP) foi calculado a partir da densidade do solo (Ds) e da partícula (Dp), pela equação:

$$\text{VTP (\%)} = (1 - D_s/D_p) \times 100.$$

3.4.4. Carbono orgânico e caracterização da matéria orgânica do solo

a) Carbono orgânico

A determinação do carbono orgânico foi realizada via oxidação úmida, baseada na oxidação da matéria orgânica pelo dicromato de potássio 0,167 mol L⁻¹ em meio ácido (adição ácido sulfúrico), seguida de titulação com sulfato ferroso amoniacal (Yeomans e Bremner, 1988).

b) Extração e fracionamento químico da matéria orgânica

O fracionamento químico da matéria orgânica foi determinado a partir da diferença de solubilidade, segundo o método estabelecido por Benites et al. (2003).

As frações ácido fúlvico e húmico foram extraídas a partir de uma solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹, sendo adicionados 20 mL em tubo falcon, com uma amostra de 30 mg de carbono orgânico total, seguidas de agitação manual e repouso durante 24 horas, posteriormente centrifugadas a 5.000 rpm durante 30 minutos.

O sobrenadante foi separado em tubo falcon de 50 mL, e a ele adicionados 20 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹, sendo agitação manual até o desprendimento e suspensão do precipitado, permanecendo em repouso por 1 hora, seguido de outra centrifugação. Em seguida, o sobrenadante foi recolhido, misturado ao extrato já reservado, enquanto o precipitado permaneceu no tubo e foi seco em estufa a 50 °C, para determinação da fração húmica.

O pH do extrato alcalino foi ajustado com solução de H₂SO₄ 20% a 1,0, permanecendo em repouso durante 18 horas, em seguida foram separadas as frações ácido húmico (precipitado) e fúlvico a partir de centrifugação. O tubo com a fração ácido fúlvico foi aferido

a 50 mL utilizando água destilada, enquanto o tubo com ácido húmico na forma precipitada foi aferido com solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹ para total solubilização.

Humina

Os teores de carbono da amostra foram determinados a partir de oxidação úmida, com a utilização de dicromato de potássio em meio ácido e aquecido na chapa aquecedora.

Para determinação da fração humina, foi pesado 0,3 g e adicionados 5 ml de K₂Cr₂O₇ 0,1667 mol L⁻¹ e 10 mL de H₂SO₄, levados à chapa a 160°C durante 30 minutos sob exaustão. O mesmo procedimento foi realizado com dois dos quatro brancos utilizados como padrões, em seguida foram adicionadas 3 gotas de ferroin (indicador) e titulados por titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L⁻¹.

Ácidos húmicos e fúlvicos

Foram determinados a partir de uma alíquota de 5 ml de solução de ácido húmico e fúlvico, que foram transferidos para elermayer de 125 ml e adicionado 1 mL de K₂Cr₂O₇ mol L⁻¹ e 5mL de H₂SO₄ concentrado. Utilizando como padrões amostras contendo a mesma quantia de H₂O deionizada, nas quais dois dos quatro brancos foram aquecidos na chapa a 160° C durante 30 minutos, em seguida foram adicionadas 3 gotas de ferroin e titulados por titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L⁻¹.

Foram realizadas algumas adaptações no método proposto por Benites et al. (2003), no sentido de operacionalizar a análise, a partir dos seguintes procedimentos:

- Substituíram-se os tubos de vidro por elermayers.
- Foi alterada a fonte de aquecimento, utilizando chapa aquecedora em vez de bloco digestor.
- A filtragem das amostras foi substituída por centrifugação a uma rotação de 5.000 rpm durante 20 minutos.

3.4.5. Análises mineralógicas

a) Fração areia

As amostras foram passadas em moinho de bolas para obtenção do pó cristalino, precedida a difração de raio-X (DRX) em pó não orientado, com a utilização de um difratômetro Bruker AXS, modelo D8 Advance, empregando-se radiação de K α de λ 0,015405 nm, produzida por tubo de cobre de 40 kv e 40 mA, com amplitude de varredura de $^{\circ}2\theta$ por minuto (0,04 $^{\circ}$ /s) (Donagemma et al., 2011).

b) Fração argila

Após a separação da fração argila, foi realizada a difração de raio-X (DRX) em lâminas orientadas, montadas com suspensão de argila total, sem eliminação de óxidos de ferro. As análises foram realizadas em difratômetro Rigaku, modelo D-Max Π A, empregando-se radiação de K α de λ 0,015405 nm, produzida por tubo de cobre, 20 a 25 kv e 10 mA, com amplitude de varredura de $^{\circ}2\theta$ por minuto (Donagemma et al., 2011).

3.4.6. Classificação dos Solos

A classificação dos solos seguiu os critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Santos et al., 2013b).

3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1. Atributos morfológicos

Os horizontes superficiais apresentam cores escuras, resultantes da deposição de material orgânico oriundo da vegetação, fonte primária de carbono orgânico no solo.

Os horizontes superficiais foram caracterizados como A moderado. Somente os perfis P3 da T1 e P1 da T2 apresentaram horizonte A chernozêmico (Tabela 14), que se caracteriza por ser espesso, com alta saturação por bases, cores escuras, decorrentes do processo pedogenético de “melanização”, no qual o cálcio e/ou magnésio promovem uma maior estabilização da matéria orgânica e adicionalmente resulta no escurecimento do mesmo (Duchaufor, 1970; Lepsch e Buol, 1986; Fanning e Fanning, 1989; Silva e Vidal Torrado, 1999, Santos et al., 2013).

Os horizontes subsuperficiais (B e C) têm cor do matiz (Tabela 1) variando de 10R a 2,5Y. Essa faixa é condicionada pelas variações da drenagem, decorrentes da posição dos perfis ao longo da paisagem, assim como do conteúdo de ferro e carbono do solo. Os perfis P4, P5 e P6 localizados na parte mais baixa da encosta apresentam tons amarelos ao longo de toda a matriz do solo; esse atributo é indicativo da presença de goethita (Schwertmann, 1988; Beneditti et al., 2011).

A atividade da água, temperatura e o conteúdo de matéria orgânica controlam a formação dos óxidos, assim como determinam as formas de ferro presentes no solo (Schwertmann e Taylor, 1989). A localização dos perfis foi determinante na condição da drenagem, assim como no conteúdo de matéria orgânica, favorecendo a via de formação da goethita (Silva e Vidal Torrado, 1999), resultando em cores amarelas.

Os perfis P1 e P3 da T1 apresentaram matizes que variam de 2,5YR a 10R (Tabela 1), cores avermelhadas, características de solos com boas condições de drenagem, compostos predominantemente por hematita. A via de formação da hematita é favorecida pela condição de altos valores de pH, baixo conteúdo de matéria orgânica e baixa atividade do alumínio na solução (Silva e Vidal Torrado, 1999; Silva, 2013).

No estudo de gênese de solos calcários na Serra da Bodoquena no estado do Mato Grosso do Sul, Silva (2013) atribuiu a agregação e formação de estrutura do tipo bloco aos ciclos de umedecimento e secagem e ao conteúdo de argila superior a 280 g kg⁻¹.

O grau de desenvolvimento da estrutura varia de moderado a forte, possivelmente influenciado pelos elevados teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ que atuam como íons floculantes das partículas unitárias (areia, silte e argila). Outra possível explicação para esse padrão de estrutura pode ser os ciclos sucessivos de umedecimento e secagem (Moniz, 1980; Bastos et al., 2005), assim como a atividade da argila, os quais seriam determinantes na formação de estruturas do tipo blocos.

No perfil P4 da toposequência T2 (Tabela 2), foi observado aspecto brilhante e céreo, recobrando a superfície dos agregados, identificado como o atributo morfológico denominada de cerosidade (Santos et al., 2013a). O horizonte B apresenta cerosidade comum e moderada, resultante do processo pedogenético múltiplo de translocação de argila (Kämpf e Curi, 2012) ou formação “in situ” (Lacerda et al., 2000). Esse fenômeno pode ser decorrente dos processos de eluviação e iluviação de argila (Fanning e Fanning, 1989), nos quais a argila encontra-se ou torna-se dispersa, sendo translocada por ação de uma frente de molhamento (Silva, 2013); ou resultante das transformações de minerais primários (Lacerda et al., 2000), o que pode levar à formação de argila “in situ”, não descartando a hipótese dos horizontes

superficiais estarem perdendo argila pelo processo pedogenético de elutriação, considerando que esse solo apresenta alta dispersão da argila, característico de solos ricos em carbonatos.

Tabela 1. Atributos morfológicos de perfis da topossequência T1 no sudeste do Tocantins.

Hor ⁽¹⁾	Esp ⁽²⁾ (cm)	Cor			Estrutura ⁽⁴⁾	Classe Textural ⁽⁵⁾
		Seca	Úmida	Mosq ⁽³⁾		
Perfil - P1						
Ak	0-9	2,5 YR 3/2	2,5 YR 2,5/2		m, me e pq, bs	as
ABk	9-19	2,5 YR 3/2	2,5 YR 2,5/2		m, me e pq, bs e ba	as
Bt \bar{k} 1	19- 39		10 R 3/3		m, me e pq , pr ba	ma
Btk2	39- 69		10 R 3/4		m, gd a me, pr	ma
Perfil - P2						
Ak	0-9	5 YR 2,5/3	5 YR 2,5/2		m, me e pq, ba e gr	fa
ABk	9-15	5 YR 3/3	5 YR 2,5/2		m, me e pq, ba e gr	fa
BAk	15- 23		5 YR 3/3		m, me e pq, ba	fa
Bik1	23- 34		5 YR 3/4		m, me e pq, ba	as
Bik2	34- 46		5 YR 3/3		m, me e pq, ba e pr	a
BCK	46- 60		5 YR 3/3		m, me e pq, ba	a
Perfil - P3						
A1k	0-19	10 R 3/3	10 R 3/2		m, me e pq, ba e gr	fa
Ak2	19-29	10 R 3/3	10 R 3/2		m, me e pq, ba	a
AB \bar{k}	29- 44	10 R 3/3	10 R 3/2		m, me e pq, ba	as
BAk	44- 56		10 R 3/2		m, me e pq, ba	fas
Bik1	56- 69		10 R 3/2		m, me e pq, ba	a
Bik2	69-103		10 R 3/2		m, me e pq, ba	a
Bik3	103-126		10 R 3/2		m, me e pq, ba	fas
BCK1	126-156		10 R 3/2		m, me e pq, ba	a
BCK2	156- 200		10 R 3/2		m, me e pq, ba	a
Perfil - P4						
Apk	0-10	10 YR 4/2	10 YR 2/2		fo, pq, ba e gr	fas
AB \bar{k}	10-18	10YR 4/2	10 YR 3/2		mo, pq, ba	fa
BAk	18- 27		10YR 3/2		mo, me e pe, ba	fa
Bivk1	27-36		7,5 YR 3/1		fo, me e pq, ba e pr	fas
Bivk2	36-72		7,5 YR 3/1		fo, me e pq, ba e pr	fa
BCK	72- 90		10 YR 3/2	7,5 YR 4/6	fo, me e pq, ba	fas
Perfil - P5						
Ak	0-10	10 YR 4/4	10 YR 3/3		mo, me e pq, ba	fa
AB \bar{k}	10- 22	10 YR 4/4	10YR 3/3		mo, gd e me, ba	fa
BAk	22- 40		10YR 3/3		fo, gd e me, ba	as
Bik1	40- 59		10 YR 3/6		fo, gd e me, ba	fa

Continua...

Continuação da **Tabela 1.**

Hor ⁽¹⁾	Esp ⁽²⁾ (cm)	Cor			Estrutura ⁽⁴⁾	Classe Textural ⁽⁵⁾
		Seca	Úmida	Mosq ⁽³⁾		
Bik2	59- 80		10 YR 3/4		fo, gd e me, ba	fa
Bik2	59- 80		10 YR 3/4		fo, gd e me, ba	fa
Bi \bar{k} 3	80- 100		10 YR 4/4		mo, me, ba	a
Bck	100-120		2,5 Y 4/2		fo, me, ba	fa
Cgk	120 +			10 YR 5/6		-----
Perfil – P6						
Ak	0-12	10 YR 5/2	10 YR 3/2		m, me e pq, ba e gr	fas
ABk	12-20	10 YR 5/2	10 YR 3/2		m, me e pq, ba e gr	fa
Bik	20-44		10 YR 4/3		m, me e pq, ba	fas
Cvk1	44-59		10 YR 3/3		m, pq a mp, ba	fas
Cvk2	59-74		10 YR 3/3		m, pq a mp, ba	f
Cvk3	74-93 +		10 YR 3/4		m, pq a mp, ba	f

⁽¹⁾Hor: horizonte. ⁽²⁾Esp: espessura; ⁽³⁾Mosq: mosqueado; ⁽⁴⁾fo: forte; mo: moderado; pq: pequeno; me: médio; mp: muito pequeno; gd: grande; ba: blocos angulares; bs: blocos subangulares; gr: granular; pr: prismática.

⁽⁵⁾fas: franco-argilossiltosa; fa: francoargilosa; a: argila; as: argilossiltosa.

A classe textural dos horizontes varia de franco a muito argilosa para todos os perfis, destacando predomínio das frações silte e argila, resultante da natureza do material de origem (Lacerda et al., 2000) composto predominantemente de rochas carbonáticas com lâminas de argilitos e siltitos (Embrapa, 1983) e sedimentos supracitados de rochas calcárias.

Tabela 2. Atributos morfológicos de perfis, em uma toposequência T2 no sudeste do Tocantins.

Hor ⁽¹⁾	Esp ⁽²⁾ (cm)	Cor		Estrutura ⁽³⁾	Cerosidade ⁽⁴⁾	Classe Textural ⁽⁵⁾
		Úmida	Seca			
Perfil - P1						
A \bar{k}	0-8	7,5 YR 3/1	7,5 YR 4/3	fo., pq., gr		fa
ACrk	8- 25	7,5 YR 2,5/3	7,5 YR 4/3	fo., pq., gr. e mo, pe., bs		fa
R	25 ⁺	-----	-----	-----	-----	
Perfil – P2						
Ak	0-5	7,5 YR 3/2	7,5 YR 4/3	mo., me, ba. e gr		fa
ABk	5-10	7,5 YR 2,5/2	7,5 YR 4/3	mo., me/ pq, ba e gr		fa
BAk	10-18	7,5 YR 3/3		mo., pq e ba		fa
Bik	18-31	7,5 YR 3/3		mo., pq e ba		fas
Ck	31- 46	10 YR 2/2		f, pq , gr e g.s		a
Perfil – P3						
Ak	0-5	5 YR 3/2	5 YR 4/3	fo, me e pq, bs		fa
AB \bar{k}	5-10	5 YR 3/2	5 YR 4/3	fo, gd /me e ba		a

Continua...

Continuação da **Tabela 2.**

Hor ⁽¹⁾	Esp ⁽²⁾ (cm)	Cor		Estrutura ⁽³⁾	Cerosidade ⁽⁴⁾	Classe Textural ⁽⁵⁾
		Úmida	Seca			
Perfil – P3						
Bik	10- 33	5 YR 3/4		mo , me, pr e ba		fa
R	33- 50+	-----	-----	-----		-----
Perfil – P4						
Apk	0-8	5 YR 4/4	5 YR 3/3	mo, pq/mp, gr		fa
ABk	8- 13	5 YR 3/2	5 YR 4/4	mo, me/ pq, ba e bs		fa
BAk1	13- 18	2,5 YR 3/2		mo, me/ pq, ba e bs		fa
BAk2	18- 32	2,5 YR 3/3		mo, me/ pq, ba		fa
Btk1	32- 43	2,5 YR 3/2		fo, gr/ me, ba	co e md	fa
Btk2	43- 57	2,5 YR 3/4		mo, me, ba	co e md	a
BCK	57- 70	2,5 YR 3/4		f , pq/ mp, ba		a

⁽¹⁾Hor: horizonte. ⁽²⁾Esp: espessura; ⁽³⁾fo: forte; mo: moderado; f: fraca; pq: pequeno; me: médio; mp: muito pequeno; gd: grande; e g.s :grão simples; ba: bloco angulares; bs: blocos subangulares; gr: granular: ⁽⁴⁾co: comum; md: moderada. ⁽⁵⁾fr: franco; fas: franco-argilossiltosa; fs: francossiltosa; fa: francoargilosa; a: argila; as: argilossiltosa.

3.5.2. Atributos físicos

A amplitude de variação dos teores da fração areia dentro de cada perfil na topossequência T1 pode estar associada às características das rochas sedimentares ali formadas por sucessivos depósitos de sedimentos com diferentes características. Dardenne (1978), ao descrever a estratigrafia do Grupo Bambuí, menciona que o processo de deposição se iniciou com sedimentos carbonato-pelíticos, seguidos por sedimentação siliciclástica.

Os perfis P2, P4, P5 e P6 da T1 apresentaram variação da fração areia em profundidade, assim como da relação areia grossa e areia fina. Essa relação (Tabela 3) variou de 0,4 a 2,0 para o P2; 0,7 a 2,8; 0,8 a 3,6 para P4; 1,1 a 3,6 para P5 e 1,3 a 3,8 para o P6. A variação entre os horizontes é um indicativo de descontinuidade litológica nesses perfis.

Os resultados da relação areia grossa e areia fina corroboram com a posição dos perfis ao longo da paisagem, pois os perfis localizados abaixo do terço médio da encosta foram formados a partir de sucessivos depósitos aluvionares, pela proximidade com o rio Cana-Brava, que compõe a bacia do rio Paranã, assim como de depósitos coluvionares oriundos das áreas de maior cota.

Os perfis P2 e P3 da T1 apresentaram menor amplitude da relação areia grossa e areia fina, com valores de 1,0 a 1,7 e 0,5 a 1,1, coincidindo com os perfis de maior cota, sendo caracterizados como autóctones.

Na topossequência T2, foi observada uma variação da relação areia grossa e areia fina, o que descarta a possibilidade de descontinuidade litológica.

O silte representa predominantemente a maior parte das frações menores que 2 mm, com valores variando de 290 a 490 g kg⁻¹ para a topossequência T1 (Tabela 3) e 310 a 530 g kg⁻¹ na topossequência T2 (Tabela 4). Esses valores são próximos aos observados nos perfis 26 e 27 descritos no levantamento de solos à margem direita do rio Paranã (Embrapa, 1983) sob o mesmo material de origem, próximos à região do estudo.

O predomínio da fração silte é decorrente da natureza do material de origem que compõe essa parcela do Grupo Bambuí, que apresenta lâminas de siltitos associado a rochas calcárias (Dardane, 1978; Embrapa, 1983; Santos et al., 2002; Monteiro, 2009).

Ao longo das duas topossequências, foi observado o predomínio das frações silte e argila, destacando que o somatório delas corresponde a 70% do total das frações menor que 2 mm.

O P1 da topossequência T1 apresentou incremento de argila no horizonte B, com conteúdos variando de 400 a 670 g kg⁻¹, atendendo para mudança textural abrupta (Santos et al., 2013b). Esse processo é decorrente do processo eluviação e iluviação de argila, resultando no acúmulo dessa fração no horizonte B.

No perfil P4 da topossequência T2, foi observado incremento do conteúdo argila no horizonte B, apresentando no horizonte Bt3 470 g kg⁻¹ de argila, enquanto o horizonte Bt2 sobrejacente 380 g kg⁻¹ de argila, resultante da translocação de argila dos horizontes superficiais para subsuperficiais, marcada pela presença de cerosidade comum e moderada.

Todos os perfis apresentaram baixo grau de floculação, coincidindo com os teores de cálcio trocável e pH, contribuindo para maior dispersão da argila, assim como observado por Pereira et al. (2013) em estudos na Serra da Bodoquena no estado do Mato Grosso do Sul.

Os valores da relação silte/argila foram superiores a 0,6, indicativo de baixo grau de intemperismo (Embrapa, 2006), porém Shinzato (1998) propõe que esse atributo não seja utilizado para solos formados de rochas sedimentares, assim como sedimentos, pois refletem o grau de intemperização dos sedimentos, e não a pedogênese.

Os valores de densidade (Ds) dos perfis da T1 variam de 1,03 a 1,74 Mg m⁻³, com valores mais elevados nos horizontes subsuperficiais, assim como os valores de porosidade total, coincidindo com os elevados conteúdos de matéria orgânica.

Tabela 3. Atributos físicos de perfis em uma topossequência T1 no sudeste do estado do Tocantins.

Hor ⁽¹⁾	Esp ⁽²⁾ cm	Areia ⁽³⁾		Silte	Argila	AN ⁽⁴⁾	GF ⁽⁵⁾ (%)	Silte	AG ⁽⁷⁾	Ds ⁽⁸⁾ --- Mg m-3 ---	Dp ⁽⁹⁾	VTP ⁽¹⁰⁾ %
		AG	AF					Argila ⁽⁶⁾	AF			
Perfil- P1												
Ak	0-9	80	70	450	400	370	8	1,13	1,1	1,44	2,41	40,18
ABk	9-19	50	50	430	470	440	6	0,91	1,0	-----	-----	-----
Btk̄1	19- 39	10	20	300	670	550	18	0,45	0,5	1,08	1,85	41,58
Btk2	39- 69	20	30	290	660	480	27	0,44	0,7	-----	-----	-----
Perfil- P2												
Ak	0-9	120	170	330	380	320	16	0,87	0,7	1,59	2,71	
ABk	9-15	80	220	360	340	330	3	1,06	0,4	-----	-----	
BAk	15-23	80	160	400	360	360	0	1,11	0,5	-----	-----	
Bik1	23-34	40	20	440	500	480	4	0,88	2,0	1,28	2,17	
Bik2	34-46	40	50	360	550	530	4	0,65	0,8	-----	-----	
BCK	46-60	50	40	340	570	550	4	0,60	1,3	-----	-----	
Perfil- P3												
Ak1	0-19	110	100	420	370	350	5	1,14	1,1	1,35	2,29	41,31
Ak2	19-29	100	90	390	420	360	14	0,93	1,1	1,45	2,45	40,87
ABk̄	29-44	60	60	470	410	390	5	1,15	1,0	1,44	2,44	41,16
BAk	44-56	80	60	490	370	370	0	1,32	1,3	1,28	2,20	41,71
Bik1	56-69	90	80	380	450	450	0	0,84	1,1	1,51	2,61	42,18
Bik2	69-103	100	60	400	440	430	2	0,91	1,7	1,49	2,57	41,99
Bik3	103-126	70	60	490	380	370	3	1,29	1,2	1,57	2,66	41,13
BCK1	126-156	100	90	380	430	420	2	0,88	1,1	1,51	2,58	41,70
BCK2	156-200	90	80	360	470	460	2	0,77	1,1	1,39	2,38	41,85
Perfil- P4												
Apk	0-10	60	80	460	400	250	38	1,15	0,8	1,03	1,74	41,38
ABk̄	10-18	160	50	460	330	310	6	1,39	3,2	1,52	2,59	-----

Continua...

Continuação da Tabela 3.

Hor ⁽¹⁾	Esp ⁽²⁾ cm	Areia ⁽³⁾		Silte	Argila	AN ⁽⁴⁾	GF ⁽⁵⁾ (%)	Silte Argila ⁽⁶⁾		AG ⁽⁷⁾ AF	Ds ⁽⁸⁾ --- Mg m ⁻³ ---	Dp ⁽⁹⁾	VTP ⁽¹⁰⁾ %
		AG	AF					Argila ⁽⁶⁾	AF				
Perfil- P4													
BAk	18-27	180	50	440	330	290	12	1,33	3,6	1,51	2,64	-----	
Bivk1	27-36	110	80	410	400	310	23	1,03	1,4	1,63	2,76	41,06	
Bivk2	36-72	100	110	410	380	370	3	1,08	0,9	1,41	2,37	-----	
BCK	72-90	90	80	470	360	250	31	1,31	1,1	1,49	2,55	-----	
Perfil- P5													
Ak	0-10	130	80	480	310	280	10	1,55	1,6	1,07	1,81	40,84	
AB \bar{k}	10-22	180	50	490	280	270	4	1,75	3,6	1,27	2,13	40,52	
BAk	22-40	80	70	470	380	270	29	1,24	1,1	1,57	2,69	41,53	
Bik1	40-59	70	60	460	410	400	2	1,12	1,2	1,61	2,80	42,63	
Bik2	59-80	130	120	420	330	320	3	1,27	1,1	1,51	2,62	42,10	
Bi \bar{k} 3	80-100	190	80	380	350	340	3	1,09	2,4	1,65	2,82	41,43	
BCK	100-120	110	80	370	440	380	14	0,84	1,4	1,74	2,95	41,43	
Cgk	120 +	190	80	380	350	350	0	1,09	2,4	-----	-----	-----	
Perfil- P6													
Ak	0-12	110	80	430	380	260	32	1,13	1,4	-----	-----	-----	
ABk	12-20	160	110	420	310	280	10	1,35	1,5	-----	-----	-----	
Bik	20-44	100	80	490	330	310	6	1,48	1,3	-----	-----	-----	
Cvk1	44-59	190	50	480	280	280	0	1,71	3,8	-----	-----	-----	
Cvk2	59-74	220	110	400	270	260	4	1,48	2,0	-----	-----	-----	
Cvk3	74-93 +	350	100	330	220	210	5	1,50	3,5	-----	-----	-----	

⁽¹⁾Hor: horizonte. ⁽²⁾Esp: espessura; ⁽³⁾AF: areia fina; AG: areia grossa. ⁽⁴⁾AN: argila natural. ⁽⁵⁾GF: grau de floculação. ⁽⁶⁾Silte/argila: relação silte/argila.

⁽⁷⁾Relação AG/AF; ⁽⁸⁾Ds: densidade do solo. ⁽⁹⁾Dp: densidade da partícula. ⁽¹⁰⁾VTP: porosidade total.

Tabela 4. Atributos físicos de perfis em uma topossequência T2 no sudeste do estado do Tocantins.

Hor ⁽¹⁾	Esp ⁽²⁾ cm	Areia ⁽³⁾		Silte g kg ⁻¹	Argila	AN ⁽⁴⁾	GF ⁽⁵⁾ %	Silte	AG ⁽⁷⁾
		AG	AF						
Perfil 1									
A \bar{k}	0-8	230	90	370	310	170	45	1,19	2,6
ACrk	8-25	210	90	390	310	220	29	1,26	2,3
R	25 ⁺								
Perfil 2									
Ak	0-5	160	140	380	320	170	47	1,19	1,1
ABk	5-10	100	110	480	310	140	55	1,55	0,9
BAk	10-18	180	190	310	320	260	19	0,97	0,9
Bik	18-31	90	100	490	320	210	34	1,53	0,9
Ck	31-46	100	80	530	290	250	14	1,83	1,3
Perfil 3									
Ak	0-5	150	190	290	370	280	24	0,78	0,8
AB \bar{k}	5-10	130	180	290	400	270	33	0,73	0,7
Bik	10-33	110	160	300	430	300	30	0,70	0,7
R	33-50 ⁺								
Perfil 4									
Apk	0-8	140	200	370	290	250	14	1,28	0,7
ABk	8- 13	150	190	330	330	240	27	1,00	0,8
BAk1	13- 18	120	180	330	370	280	24	0,89	0,7
BAk2	18- 32	120	170	390	320	300	6	1,22	0,7
Btk1	32- 43	120	150	350	380	370	3	0,92	0,8
Btk2	43- 57	90	80	360	470	430	9	0,77	1,1
BCK	57- 70	90	120	270	520	500	4	0,52	0,8

⁽¹⁾Hor: horizonte. ⁽²⁾Esp: espessura; ⁽³⁾AF: areia fina; AG: areia grossa. ⁽⁴⁾AN: argila natural. ⁽⁵⁾GF: grau de flocculação. ⁽⁶⁾Silte/argila: relação silte/argila. ⁽⁷⁾Relação AG/AF

3.5.3. Atributos químicos

Os perfis da topossequência T1 apresentaram classe de reação de neutra a fortemente alcalina (Santos et al., 2013b), com valores de pH determinados em água na faixa de 6,97 a 8,48, com ligeiro aumento em subsuperfície (Tabela 5), valores esses que demonstram a influência do carbonato na reação do solo (Esfandiarpour et al., 2013; Reintam e Köster, 2006). Padrão similar foi observado por Cunha (1985), estudando solos de natureza calcária na região de Corumbá, no estado do Mato Grosso do Sul, sob a Formação Bocaina.

Os perfis da topossequência T2 apresentaram classe de reação neutra, com variação para moderadamente ácida nos perfis P3 e P4, com valores 6,02 a 6,74 (Tabela 6). Valores próximo aos observados por Cunha et al. (2000) em um Vertissolo “Cromado” na região de Irecê, no estado da Bahia, formado sob rochas calcárias.

Os valores da soma de bases variaram de 14,2 a 29,16 cmol_c kg⁻¹ na T1, e 11,62 a 36,57 cmol_c kg⁻¹ na T2. A saturação por bases apresentou valores superiores a 90% em todos os perfis (Tabela 6), caracterizada como de caráter eutrófico (Santos et al., 2013b). Os teores de Ca²⁺ foram mais expressivos quando comparados aos demais elementos, variando de 6 a 26,2 cmol_c kg⁻¹ para T1, e 4,8 a 27,4 cmol_c kg⁻¹ na T2, seguido do Mg²⁺, com teores de 4,4 a 13,2 cmol_c kg⁻¹ na T1, e 5,3 a 11,1 cmol_c kg⁻¹ na T2. Esses resultados são semelhantes aos

observados em estudos realizados em solos sob influência de rocha calcária (Cunha e Ribeiro, 1998; Ferreira, 2013; Silva, 2013).

Os teores de K^+ variaram de 0,04 a 0,67 $cmol_c kg^{-1}$ na T1, e 0,05 a 0,33 $cmol_c kg^{-1}$ na T2, apresentando teores mais elevados nos horizontes superficiais, coincidindo com o maior teor de carbono orgânico. Os teores de Na^+ foram de 0,02 a 0,08 $cmol_c kg^{-1}$ na T1, e 0,02 a 0,04 $cmol_c kg^{-1}$ na T2, sendo pouco expressivos quando comparados aos dos demais cátions.

Os teores de alumínio trocável (Al^{3+}) são próximos de zero, concordantes com os altos valores de pH, assim como verificados por Vasconcelos et al. (2013), estudando Paleossolos do Grupo Bambuí. O grau de acidez do solo determina a atividade do alumínio em solução; a partir de pH 5,6, o Al assume formas pouco solúveis (Mello e Perez, 2009).

Os valores da capacidade de troca de cátions a pH 7,0 variaram de 17,25 a 37,43 $cmol_c kg^{-1}$ para a T1, e 13,13 a 27,88 $cmol_c kg^{-1}$ na T2, com a capacidade de troca catiônica (CTC) da fração argila superior a 27,0 $cmol_c kg^{-1}$, indicando alta atividade da argila (Santos et al., 2013b). Esses resultados corroboram com os observados por Khresat (2001), ao estudar solos que apresentam horizonte cálcico do norte da Jordânia. Outrossim, os perfis (P7, P11) apresentados na X-Reunião Brasileira de Classificação de Correlação de Solos-RCC (2012) no município de Corumbá, estado do Mato Grosso do Sul, revelaram valores semelhantes de CTC da fração argila ao observados nesse estudo, indicando argilomineral do tipo 2:1.

Os teores de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) são superiores a 77,73 $g kg^{-1}$, exceto para horizonte Bi2 do perfil P1, com teores de 12 $g kg^{-1}$, atendendo a critérios para o caráter carbonático e hipocarbonático (Santos et al., 2013b). Os perfis P4, P5 e P6 da T1 apresentaram maiores teores de carbonato de cálcio, com teores mínimos de 197,45, 239,43 e 259,58 $g kg^{-1}$, considerados expressivos para solos brasileiros. Esses perfis estão localizados na parte baixa da paisagem, zona de acúmulo, que possibilita a formação de carbonato de cálcio secundário (Khresat, 2001).

Os resultados são concordantes com o Pereira et al. (2013), em estudo na Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul, onde Gleissolos na baixada apresentam valores de $CaCO_3$ superiores a 150 $g kg^{-1}$, resultantes do processo de solubilização das rochas da parte alta da paisagem, adicionando íons nas áreas de menor cota, que permanecem em solução, pela drenagem impedida. Pereira et al. (2013) atribuíram os valores de carbonato de cálcio à condição de drenagem, justificando que boa condição de drenagem favorece a solubilização e lixiviação de bicarbonato, o que corrobora com os resultados dos perfis P1, P2 e P3 da T1.

Na topossequência T2, os perfis P1 e P3 apresentam contato lítico abaixo de 50 cm de profundidade, associados aos elevados teores de carbonato de cálcio, decorrentes da influência do material de origem e da condição de drenagem “restrita”, que dificulta a lixiviação de carbonatos, justificando os valores de 209,2 $g kg^{-1}$ e 220,56 $g kg^{-1}$, apresentados acima da camada de impedimento.

Os perfis P1, P2 e P3 da topossequência T1 estão sob vegetação nativa, resultando na deposição de resíduos vegetais e, portanto, teores mais elevados de carbono orgânico (C), na ordem de 43,5 $g kg^{-1}$, 52,8 $g kg^{-1}$, 41,1 $g kg^{-1}$. O teor de C dos demais perfis, possivelmente está relacionado à drenagem, assim como da interação das frações orgânicas com a mineral, resultando em formas mais estáveis da matéria orgânica (Duchaufour, 1970; Cunha et al., 1998; Fontana et al., 2010). Essa estabilidade pode estar associada ao cálcio, magnésio e à mineralogia do solo (Duchaufour, 1970; Lepsch e Buol, 1986; Kämpf e Curi, 2012).

Os teores de C nos horizontes superficiais das duas topossequências são mais elevados, em função do aporte de serapilheira depositada pela vegetação, apresentando decréscimo em profundidade. Os teores de carbono orgânico dos perfis da T2 seguem o mesmo padrão da T1, apresentando teores mais elevados nas áreas de vegetação nativa.

Tabela 5. Atributos químicos de perfis, na topossequência T1 no sudeste do estado do Tocantins.

Hor ⁽¹⁾	C ⁽²⁾ g kg ⁻¹	pH		Δ pH ⁽³⁾	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺	T ⁽⁴⁾	V ⁽⁵⁾ %	P ⁽⁶⁾ mg kg ⁻¹		Eq. CaCO ⁽⁷⁾ g kg ⁻¹
		H ₂ O	KCl											Mehlich	Olsen	
Perfil – P1																
Ak	41,1	7,07	7,40	-0,33	19,6	7,40	0,39	0,05	27,44	0,05	1,19	28,68	96	0	17	158,0
ABk	26,2	7,10	6,80	-0,88	17,2	6,80	0,22	0,03	24,25	0,05	1,19	25,49	95	0	8	116,0
Btk1	9,00	7,46	6,10	-1,37	18,5	6,10	0,14	0,03	24,77	0,05	0,36	25,18	98	0	10	80,00
Btk2	6,40	7,60	6,20	-1,44	18,6	6,20	0,10	0,03	24,93	0,05	1,19	26,17	95	0	4	12,00
Perfil– P2																
Ak	43,4	7,08	6,29	-0,79	14,8	10,30	0,67	0,02	25,79	0,05	0,36	26,20	98	86	8	81,09
ABk	29,2	6,97	6,00	-0,97	13,7	7,10	0,36	0,02	21,18	0,00	0,41	21,59	98	34	4	82,77
BAk	22,6	7,08	5,64	-1,44	13,5	5,40	0,23	0,03	19,16	0,00	1,24	20,40	94	7	3	86,13
Bik1	23,7	7,29	5,40	-1,89	12,4	5,90	0,18	0,03	18,51	0,00	2,06	20,57	90	4	3	87,81
Bik2	17,7	7,54	5,28	-2,26	12,7	4,70	0,14	0,03	17,57	0,00	1,24	18,81	93	1	2	79,41
BCK	15,5	7,95	5,38	-2,57	11,3	6,10	0,13	0,03	17,56	0,05	1,19	18,79	93	1	2	97,88
Perfil– P3																
Ak1	43,5	7,15	6,53	-0,62	16,4	7,60	0,57	0,04	24,61	0,05	1,19	25,85	95	95	20	204,22
Ak2	30,3	7,16	6,40	-0,76	15,6	9,60	0,31	0,03	25,54	0,05	0,36	25,95	98	82	33	204,22
AB \bar{k}	28,8	7,20	6,28	-0,92	15,7	6,50	0,29	0,03	22,52	0,05	1,19	23,75	95	74	20	207,49
BAk	24,8	7,20	6,22	-0,98	14,9	7,70	0,32	0,04	22,96	0,05	0,36	23,37	98	72	20	96,20
Bik1	13,9	7,16	6,14	-1,02	14,5	5,80	0,57	0,03	20,90	0,05	0,36	21,32	98	87	20	81,09
Bik2	15,1	7,06	6,20	-0,86	13,7	6,60	0,54	0,02	20,86	0,05	0,36	21,27	98	78	17	79,41
Bik3	12,6	7,36	6,18	-1,18	13,4	5,20	0,36	0,04	19,00	0,05	1,19	20,23	94	82	13	77,73
BCK1	8,60	7,60	6,20	-1,40	11,0	5,50	0,31	0,03	16,84	0,05	0,36	17,25	98	67	11	77,73
BCK2	8,60	7,39	6,27	-1,12	10,8	5,60	0,21	0,02	16,63	0,00	1,24	17,87	93	69	10	77,73
Perfil– P4																
Apk	29,8	8,25	6,93	-1,32	23,5	4,40	0,15	0,04	28,09	0,00	1,24	29,33	96	20	4	197,45
AB \bar{k}	19,9	8,28	7,00	-1,28	20,7	5,50	0,11	0,06	26,37	0,00	0,41	26,78	98	20	3	222,64

Continua...

Continuação da Tabela 5.

Hor ⁽¹⁾	C ⁽²⁾ g kg ⁻¹	pH		Δ pH ⁽³⁾	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺	T ⁽⁴⁾	V ⁽⁵⁾ %	P ⁽⁶⁾ mg kg ⁻¹		Eq. CaCO ⁽⁷⁾ g kg ⁻¹
		H ₂ O	KCl											Mehlich	Olsen	
Perfil – P4																
BAk	16,5	8,33	7,04	-1,29	19,5	5,70	0,09	0,06	25,35	0,00	0,41	25,76	98	15	3	276,38
Bivk ₁	19,7	8,27	7,11	-1,16	21,8	6,00	0,06	0,06	27,92	0,00	0,41	28,33	99	20	2	267,98
Bivk ₂	18,5	8,31	6,95	-1,36	26,2	10,4	0,12	0,30	37,02	0,00	0,41	37,43	99	9	2	243,44
BCK	10,7	8,37	7,24	-1,13	13,7	13,2	0,05	0,12	27,07	0,00	1,24	28,31	96	0	2	351,28
Perfil – P5																
Ak	31,5	7,91	7,24	-0,67	17,1	8,30	0,24	0,06	25,70	0,00	1,24	26,93	95	7	5	308,80
AB \bar{K}	19,2	8,32	7,16	-1,16	16,3	9,60	0,14	0,05	26,09	0,00	0,41	26,50	98	7	3	298,99
BAk	20,4	8,29	7,10	-1,19	16,3	8,30	0,11	0,07	24,78	0,00	0,41	25,19	98	18	3	239,43
Bik1	18,7	8,38	7,08	-1,30	16,1	12,9	0,10	0,06	29,16	0,00	0,41	29,57	99	21	2	239,43
Bik2	7,60	8,45	7,18	-1,27	15,0	5,90	0,06	0,07	21,03	0,00	1,24	22,26	94	1	2	436,25
Bi \bar{K} 3	9,30	8,48	7,21	-1,27	15,5	5,30	0,05	0,08	20,93	0,00	0,41	21,35	98	1	2	423,18
BCK	10,3	8,39	7,23	-1,16	18,2	7,40	0,07	0,08	25,75	0,00	0,41	26,16	98	1	2	351,28
Cgk	7,80	8,21	7,22	-0,99	10,5	10,3	0,08	0,08	20,96	0,10	1,14	22,19	94	0	2	426,44
Perfil – P6																
Ak	23,7	8,10	7,02	-1,08	12,5	12,9	0,18	0,04	25,62	0,00	0,41	28,68	96	4	4	259,58
ABk	15,4	8,34	7,13	-1,21	12,7	8,40	0,10	0,05	21,25	0,00	2,06	25,49	95	1	3	348,01
Bik	14,6	8,41	7,14	-1,27	11,0	9,60	0,10	0,06	20,76	0,00	0,41	25,18	98	2	2	328,41
Cvk1	11,1	8,32	7,21	-1,11	10,3	10,7	0,06	0,05	21,11	0,00	0,41	26,17	95	2	2	334,94
Cvk2	9,10	8,41	7,28	-1,13	8,50	7,70	0,05	0,06	16,31	0,00	0,41	28,68	96	0	2	432,98
Cvk3	6,80	8,36	7,58	-0,78	6,00	8,10	0,04	0,06	14,20	0,00	0,41	25,49	95	0	3	619,25
Ak	23,7	8,10	7,02	-1,08	12,5	12,9	0,18	0,04	25,62	0,00	0,41	28,68	96	4	4	259,58
ABk	15,4	8,34	7,13	-1,21	12,7	8,40	0,10	0,05	21,25	0,00	2,06	25,49	95	1	3	348,01
Bik	14,6	8,41	7,14	-1,27	11,0	9,60	0,10	0,06	20,76	0,00	0,41	25,18	98	2	2	328,41

⁽¹⁾Hor: horizonte. ⁽²⁾C: carbono orgânico total. ⁽³⁾ Δ pH: diferença do pH em KCl pelo pH em H₂O. ⁽⁴⁾T: capacidade de troca catiônica em pH 7. ⁽⁵⁾V%: Saturação por base. ⁽⁶⁾P: fósforo disponível. ⁽⁷⁾Eq. CaCO₃: equivalente de carbonato de cálcio.

Tabela 6. Atributos químicos de perfis, na topossequência T2 no sudeste do estado do Tocantins.

Hor ⁽¹⁾	C ⁽²⁾ g kg ⁻¹	pH		Δ pH ⁽³⁾	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺	T ⁽⁴⁾	V ⁽⁵⁾ %	P ⁽⁶⁾ mg kg ⁻¹		Eq. CaCO ⁽⁷⁾ g kg ⁻¹
		H ₂ O	KCl											Mehlich	Olsen	
Perfil – P1																
AK	74,6	7,30	6,55	-0,75	27,4	8,80	0,33	0,04	36,57	0,05	1,19	37,81	97	37	8	209,20
ACrk R	40,8	7,48	6,58	-0,90	19,9	11,1	0,13	0,04	31,17	0,05	1,19	32,41	96	39	4	102,92
Perfil – P2																
AK	45,5	7,15	6,38	-0,77	18,3	7,30	0,18	0,04	25,82	0,05	2,01	27,88	93	28	5	94,52
ABk	40,8	7,07	6,25	-0,82	14,6	10,9	0,11	0,02	25,63	0,05	2,01	27,69	93	20	3	94,52
BAk	28,2	7,18	6,22	-0,96	13,7	7,50	0,05	0,02	21,27	0,05	1,19	22,51	95	16	2	79,41
Bik	31,9	7,34	6,16	-1,18	14,0	7,70	0,05	0,03	21,78	0,05	2,01	23,85	91	18	3	91,17
Ck	37,0	7,00	6,15	-0,85	14,5	7,20	0,05	0,04	21,79	0,05	2,01	23,86	91	70	5	96,20
Perfil – P3																
AK	25,9	6,02	4,84	-1,18	5,80	6,40	0,30	0,02	12,52	0,05	3,66	16,23	77	1	3	87,81
ABk	22,7	6,28	4,80	-1,48	6,50	5,60	0,25	0,02	12,37	0,05	2,01	14,43	86	0	2	220,56
Bik	13,4	6,72	5,45	-1,27	6,00	5,50	0,10	0,02	11,62	0,05	2,01	13,68	85	0	2	81,09
Perfil – P4																
Apk	24,9	6,42	5,00	-1,42	6,30	9,20	0,14	0,02	15,66	0,05	2,84	18,55	84	0	4	81,09
ABk	27,8	6,06	4,86	-1,20	7,80	6,90	0,11	0,02	14,83	0,05	2,84	17,72	84	0	3	81,09
BAk1	20,4	6,18	4,86	-1,32	6,30	6,70	0,09	0,02	13,11	0,05	2,01	15,17	86	0	3	81,09
BAk2	18,9	6,17	4,93	-1,24	7,50	5,30	0,09	0,02	12,91	0,05	2,01	14,97	86	0	3	79,41
Btk1	12,8	6,11	4,94	-1,17	5,10	9,40	0,07	0,02	14,59	0,05	1,19	15,83	92	0	2	79,41
Btk2	8,4	6,74	5,28	-1,46	4,80	7,00	0,06	0,03	11,89	0,05	1,19	13,13	91	0	2	81,09
BCK	7,2	6,52	5,41	-1,11	5,70	6,10	0,09	0,04	11,93	0,05	1,19	13,16	91	0	2	82,77

⁽¹⁾Hor: horizonte. ⁽²⁾C: carbono orgânico total. ⁽³⁾ Δ pH: diferença do pH em KCl pelo pH em H₂O. ⁽⁴⁾T: capacidade de troca catiônica em pH 7. ⁽⁵⁾V%: Saturação por base. ⁽⁶⁾P: fósforo disponível. ⁽⁷⁾Eq. CaCO₃: equivalente de carbonato de cálcio.

O fósforo (P) foi extraído com solução duplo-ácida (Mehlich-1) e solução de bicarbonato de sódio (Olsen et al., 1954). O teor de P extraído pelo método de Mehlich-1 foi superior ao quantificado com bicarbonato de sódio, exceto para o perfil P1 da topossequência T1 (Tabela 5). O emprego da solução Mehlich-1 não é adequado para solos com valores de pH elevados ou naturalmente ricos em cálcio, pois podem superestimar os teores de P disponíveis para as plantas (Van Raij et al., 1984; Novais et al., 2007). Os extratores de natureza ácida dissolvem predominantemente o P ligado ao cálcio e quantidades menos expressivas de P ligado a Fe e Al, em função das características de solubilidade do fosfato (Silva e Van Raij, 1999).

Entretanto, o princípio do método de extração com solução alcalina tamponada de bicarbonato de sódio baseia-se exclusivamente na dessorção do P ligado a Fe e/ou Al em pH elevado (Olsen et al., 1980). O íon HCO_3^- substitui o P adsorvido no solo e reduz a atividade do cálcio em solução (Holford, 1997; Silva e Van Raij, 1999), de modo que os resultados da extração condizem com a disponibilidade de P, porém são necessários estudos com maior nível de detalhamento.

3.5.4. Carbono e fracionamento químico da matéria orgânica do solo

O fracionamento químico da matéria orgânica foi determinado a partir da diferença de solubilidade (Kononova, 1961), e o carbono das frações por meio de oxidação com dicromato de potássio em meio ácido, segundo o método simplificado por Benites et al. (2003).

Os valores de carbono orgânico decrescem em profundidade (Tabela 7), apresentando teores que variaram de 6,4 a 43,5 g kg⁻¹ para a T1, e 7,2 a 50,7 g kg⁻¹ para a T2 (Tabela 8), com teores mais expressivos nos horizontes superficiais. A partir desses resultados, caracterizam-se todos os perfis como de constituição mineral (Santos et al., 2013b).

Alguns estudos sob solos de natureza calcária têm destacado a variabilidade dos teores de carbono orgânico, tais como os de Cunha e Ribeiro (1998), estudando solos na região de Irecê na Bahia; Corrêa et al. (2003), em solos de região de várzea no município de Souza no estado da Paraíba; Vasconcelos et al. (2013), em ambientes cárstico no norte de Minas Gerais; e Pereira et al. (2013), na Serra da Bodoquena, estado do Mato Grosso do Sul.

Os teores de carbono das frações da matéria orgânica da T1 e T2 variam de 0,4 a 3,4 g kg⁻¹; 1,4 a 8,2 g kg⁻¹ para ácido fúlvico; 0,1 a 11,6 g kg⁻¹ e 0,5 a 13,1 g kg⁻¹ para ácido húmico; 3,6 a 33,4 e 5,1 a 38,2 g kg⁻¹ para a fração humina.

A humina representa a maior parte do carbono entre as frações. Os valores de carbono desta fração variaram de 3,6 a 33,4 g kg⁻¹ na T1 e de 5,10 a 38,2 g kg⁻¹ na T2.

A humina é um aglomerado de substâncias húmicas e não húmicas; é considerada complexa e heterogênea, e mais transformada por meios biológicos, físicos e químicos (Duchaufour, 1970). Essa fração tem alta estabilidade, por ser altamente polimerizada e intimamente associada à fração mineral (Duchaufour, 1970). Alguns estudos de solos calcários confirmam o predomínio da fração humina (Cunha e Ribeiro 1998; Corrêa et al., 2003; Pereira et al., 2013; Silva, 2013).

O C-FAF apresentou os menores valores de carbono, seguido de C-FAH (Tabelas 7 e 8). Essas frações representam a porção solúvel em meio alcalino (EA), apresentando maior reatividade e conseqüentemente polaridade (Benites et al., 2003); desse modo, são as frações que influenciam as reações químicas do solo. O EA que constitui o somatório das frações C-FAF e C-FAH variou de 0,9 a 15 g kg⁻¹ para a T1 e de 2,6 a 16,7 g kg⁻¹ para T2, com alternância nos valores ao longo dos horizontes, padrão semelhante ao observado por Cunha e Ribeiro (1998) em solos de Irecê no Estado da Bahia.

Tabela 7. Fracionamento químico da matéria orgânica do solo da topossequência T1.

Horiz ⁽¹⁾	-----g kg ⁻¹ -----					-----%-----			<u>C-FAH</u>	<u>EA</u>	<u>EA</u>
	C ⁽²⁾	C-FAF ⁽³⁾	C-FAH ⁽⁴⁾	C-HUM ⁽⁴⁾	EA ⁽⁶⁾	C-FAF	C-FAH	HUMINA	C-FAF	C	HUMINA
Perfil 1											
Ak	41,1	1,9	7,9	30,6	9,8	4,6	19,2	74,5	4,2	0,2	0,3
ABk	26,2	1,4	5,2	21,4	6,6	5,3	19,8	81,7	3,7	0,3	0,3
Btk1	9,0	0,7	0,9	10,5	1,6	7,8	10,0	116,6	1,3	0,2	0,2
Btk2	6,4	0,5	1,3	6,2	1,8	7,8	20,4	97,3	2,6	0,3	0,3
Perfil 2											
Ak	43,4	3,4	11,6	33,4	15,0	7,8	26,7	77,0	3,4	0,3	0,4
ABk	29,2	1,9	9,8	26,5	11,7	6,5	33,5	90,6	5,2	0,4	0,4
BAk	22,6	1,9	9,0	18,5	10,9	8,4	39,9	82,0	4,7	0,5	0,6
Bik1	23,7	1,7	6,6	16,5	8,3	7,2	27,8	69,6	3,9	0,4	0,5
Bik2	17,7	1,5	2,2	13,4	3,7	8,5	12,4	75,7	1,5	0,2	0,3
BCK	15,5	1,2	0,7	11,6	1,9	7,8	4,5	74,9	0,6	0,1	0,2
Perfil 3											
Ak1	43,5	1,6	8,7	29,3	10,3	3,7	20	67,3	5,4	0,2	0,4
Ak2	30,3	0,8	5,5	24,2	6,3	2,6	18,2	79,9	6,9	0,2	0,3
ABk	28,8	0,7	6,6	21,4	7,3	2,4	22,9	74,2	9,4	0,3	0,3
BAk	24,8	0,9	6,2	20,6	7,1	3,6	25,0	83,1	6,9	0,3	0,3
Bik1	13,9	0,8	1,8	12,9	2,6	5,8	13,0	93,1	2,3	0,2	0,2
Bik2	15,1	0,8	1,7	11,6	2,5	5,3	11,3	76,9	2,1	0,2	0,2
Bik3	12,6	0,7	1,2	11,1	1,9	5,5	9,5	87,8	1,7	0,2	0,2
BCK1	8,6	0,8	1,9	8,5	2,7	9,3	22,1	98,8	2,4	0,3	0,3
BCK2	8,6	1,0	1,2	6,4	2,2	11,6	14,0	74,4	1,2	0,3	0,3
Perfil 4											
Apk	29,8	1,4	1,4	27,3	2,8	4,7	4,7	91,5	1,0	0,1	0,1
ABk	19,9	1,1	0,2	18,8	1,3	5,5	1,0	94,3	0,2	0,1	0,1
BAk	16,5	0,7	0,4	16,0	1,1	4,2	2,4	97,0	0,6	0,1	0,1

Continua...

Continuação da Tabela 7.

Horiz ⁽¹⁾	C ⁽²⁾	C-FAF ⁽³⁾	C-FAH ⁽⁴⁾	C-HUM ⁽⁴⁾	EA ⁽⁶⁾	C-FAF	C-FAH	HUMINA	<u>C-FAH</u>	<u>EA</u>	<u>EA</u>
	-----g kg ⁻¹ -----					-----%-----			C-FAF	C	HUMINA
Perfil 4											
Bivk1	19,7	0,9	0,0	15,7	0,9	4,6	0,0	79,6	0,0	0,0	0,1
Bivk2	18,5	0,4	0,7	14,8	1,1	2,2	3,8	80,0	1,8	0,1	0,1
BCK	10,7	0,7	0,1	8,5	0,8	6,5	0,9	79,4	0,1	0,1	0,1
Perfil 5											
Ak	31,5	2,9	1,5	28,6	4,4	9,2	4,8	90,8	0,5	0,1	0,2
AB \bar{k}	19,2	2,0	0,3	18,5	2,3	10,4	1,6	96,6	0,2	0,1	0,1
BAk	16,8	1,0	0,2	14,7	1,2	6,0	1,2	87,5	0,2	0,1	0,1
Bik1	14,8	1,0	0,1	10,3	1,1	6,8	0,7	69,6	0,1	0,1	0,1
Bik2	7,6	0,6	0,3	7,2	0,9	7,9	3,9	94,5	0,5	0,1	0,1
Bi \bar{k} 3	9,3	1,1	0,4	6,4	1,5	11,9	4,3	69,1	0,4	0,2	0,2
BCK	10,3	0,4	0,8	6,2	1,2	3,9	7,8	60,2	2,0	0,1	0,2
Cgk	7,8	0,5	0,2	3,6	0,7	6,4	2,6	46,0	0,4	0,1	0,2
Perfil 6											
Ak	23,7	1,8	0,7	21,1	2,5	7,6	3,0	89,1	0,4	0,1	0,1
ABk	16,1	1,3	1,1	15,4	2,4	8,1	6,8	95,7	0,8	0,1	0,2
Bik	14,6	1,0	0,3	12,3	1,3	6,8	2,1	84,1	0,3	0,1	0,1
Cvk1	11,1	0,4	0,3	12,1	0,7	3,6	2,7	108,8	0,8	0,1	0,1
Cvk2	9,1	1,3	0,9	9,3	2,2	14,3	9,9	102,6	0,7	0,2	0,2
Cvk3	6,8	0,6	0,3	6,7	0,9	8,8	4,4	98,6	0,5	0,1	0,1

⁽¹⁾Horizonte; ⁽²⁾C: Carbono orgânico total; ⁽³⁾C-FAF: Carbono orgânico da fração ácidos fúlvicos; ⁽⁴⁾C-FAH: Carbono orgânico da fração ácidos Húmicos; ⁽⁵⁾C-HUM: Carbono orgânico da fração humina; ⁽⁶⁾FAF; FAH; HUM; e EA(extrato alcalino): Percentual de cada fração em relação ao carbono orgânico total.

Tabela 8. Fracionamento químico da matéria orgânica do solo da topossequência T2.

Horiz ⁽¹⁾	C ⁽²⁾	C-FAF ⁽³⁾	C-FAH ⁽⁴⁾	C-HUM ⁽⁵⁾	EA ⁽⁶⁾	C-FAF	C-FAH	HUMINA	C-FAH	EA	EA
	-----g kg ⁻¹ -----					-----%-----			C-FAF	COT	HUMINA
Perfil 1											
A \bar{k}	50,7	2,7	5,4	38,2	8,1	5,3	10,7	75,3	2,0	0,2	0,2
ACrk	40,8	8,2	0,5	35,1	8,7	20,1	1,2	86,0	0,1	0,2	0,2
R	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Perfil 2											
Ak	45,5	5,6	8,8	33,9	14,4	12,3	19,3	74,5	1,6	0,3	0,3
ABk	40,8	3,1	6,7	33,7	9,8	7,6	16,4	82,6	2,2	0,2	0,2
BAk	28,2	2,7	3,6	21,9	6,3	9,6	12,8	77,7	1,3	0,2	0,2
Bik	33,8	2,6	7,5	28,6	10,1	7,7	22,2	84,6	2,9	0,3	0,3
Ck	37,9	2,8	12,9	28,0	15,7	7,4	34,0	73,9	4,6	0,4	0,4
Perfil 3											
Ak	25,9	2,0	12,7	16,5	14,7	7,7	49,0	63,7	6,4	0,6	0,6
AB \bar{k}	22,7	2,6	10,8	15,4	13,4	11,5	47,6	67,8	4,2	0,6	0,6
Bik	13,4	2,1	3,4	9,3	5,5	15,7	25,4	69,4	1,6	0,4	0,4
R	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Perfil 4											
Apk	24,9	2,8	12,2	17,5	15,0	11,2	49,0	70,3	4,4	0,6	0,6
ABk	27,8	3,6	13,1	17,0	16,7	12,9	47,1	61,2	3,6	0,6	0,6
BAk1	20,4	4,0	8,5	14,2	12,5	19,6	41,7	69,6	2,1	0,6	0,6
BAk2	18,9	2,8	8,8	12,1	11,6	14,8	46,6	64,0	3,1	0,6	0,6
Btk1	13,2	1,9	4,2	9,8	6,1	14,4	31,8	74,2	2,2	0,5	0,5
Btk2	9,3	1,4	1,3	7,7	2,7	15,1	14,0	82,8	0,9	0,3	0,3
BCK	7,2	1,9	0,7	5,1	2,6	26,4	9,7	70,8	0,4	0,4	0,4

⁽¹⁾Horizonte; ⁽²⁾C: Carbono orgânico total; ⁽³⁾C-FAF: Carbono orgânico da fração ácidos fúlvicos; ⁽⁴⁾C-FAH: Carbono orgânico da fração ácidos Húmicos; ⁽⁵⁾C-HUM: Carbono orgânico da fração humina; ⁽⁶⁾FAF; FAH; HUM; e EA(extrato alcalino): Percentual de cada fração em relação ao carbono orgânico total.

Os resultados da relação C-FAH / C-FAF variam de 0,1 a 9,4 na T1 e de 0,1 a 6,4 na T2, com valores mais expressivos nos perfis P1, P2 e P3 da T1; P2 e P4 na T2, indicando maior mobilidade do carbono ao longo do perfil, maiores relações indicam a perda seletiva da fração mais solúvel (C-FAF) (Benites et al., 2003).

Os valores da relação EA/Humina variam entre 0,1 a 0,6 nas toposequências, indicando alta estabilidade da matéria orgânica e a matriz mineral do solo (Fontana et al., 2010; Pereira et al., 2013). A estabilidade da matéria orgânica do solo já era mencionada por Duchaufour (1970), o qual descreve a íntima relação da matéria orgânica com certas argilas, assegurada pelo cálcio e ferro. Alguns trabalhos sugerem que a estabilidade da matéria orgânica é decorrente da interação entre os minerais de argila 2:1 e os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} com os grupos funcionais COOH e OH ionizados (Duchaufour, 1976; Cunha e Ribeiro, 1998; Corrêa et al., 2003; Pereira et al., 2013; Silva, 2013).

3.5.5. Complexo de meteorização

Os teores de SiO_2 representam maior parte da composição química da terra fina nas duas toposequências, com teores de 120,2 a 328,9 g kg^{-1} para T1 (Tabela 11) e de 123,7 a 219,3 g kg^{-1} para T2 (Tabela 12).

Os teores de Fe_2O_3 dos solos da T1 variaram de 31,4 a 104,4 g kg^{-1} , o que sugere diferenciação do material de origem, possivelmente decorrente dos eventos ocorridos durante a formação da rocha calcária. Corrêa et al. (2003) relacionam a amplitude dos teores de ferro a possíveis mudanças pedoambientais.

Os perfis P4, P5 e P6 da T1 estão localizados na parte mais baixa da paisagem e apresentaram menores teores de Fe_2O_3 , sugerindo perdas por redução e remoção do ferro (Schwertmann, 1988).

Na T2, a amplitude de variação nos teores de Fe_2O_3 foi menor, apresentando teores da ordem de 60 a 102 g kg^{-1} . Os perfis P1 e P2 apresentaram teores ligeiramente mais baixos, sendo solos menos espessos e com maior conteúdo de matéria orgânica, se mantendo mais úmidos durante maior período ao longo do ano, o que condiciona a redução, seguida da complexação do ferro, podendo favorecer sua remoção. Corrêa et al. (2003), ao estudarem solos da região de Sousa, no estado da Paraíba, atribuíram a remoção do ferro aos processos de redução e complexação.

Os baixos valores de Fe_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5 refletem a natureza do material de origem. Silva et al. (2013), ao estudarem solos calcários da Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul, observaram os baixos teores de Fe_2O_3 e TiO_2 , atribuindo esses resultados ao material de origem.

Os valores de k_r foram obtidos a partir da relação molecular $\text{SiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$, demonstrando o grau de desenvolvimento do solo. Os valores de k_i foram determinados a partir da relação molecular $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ (Curi e Kämpf, 2012).

Os valores da relação molecular k_i e k_r variam de 2,34 a 3,62 e de 1,68 a 2,61 em todos os solos da T1; porém, vale destacar que o perfil P3 apresenta redução nos valores de k_i e k_r , o que sugere maior grau de intemperismo, quando comparado com os demais perfis. Esse padrão é confirmado pelos resultados da análise mineralógica, na qual todos os perfis apresentaram predomínio do mineral ilita na fração argila. De acordo com Oliveira (2008), solos com valores de k_i na ordem de 2,5 a 3,0 apresentam predomínio de argilominerais do tipo 2:1.

Tabela 9. Composição química e relações moleculares ki e kr de solos na topossequencia T1.

Hor ⁽¹⁾	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	ki ⁽²⁾	kr ⁽³⁾	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
-----g kg ⁻¹ -----								
Perfil – P1								
Ak	228,6	141,4	83,7	6,62	4,85	2,75	1,99	2,65
ABk	253,9	154,0	85,4	5,03	4,05	2,80	2,07	2,83
Btk1	317,4	210,3	104,4	5,92	2,45	2,57	1,95	3,16
Btk2	328,9	206,9	98,8	6,35	1,12	2,70	2,07	3,29
Perfil – P2								
Ak	215,2	132,5	83,2	5,23	2,95	2,76	1,97	2,50
ABk	235,7	154,5	88,8	5,26	2,45	2,59	1,90	2,73
BAk	248,9	155,2	86,0	5,50	2,15	2,73	2,01	2,83
Bik1	266,3	160,1	92,1	6,62	1,80	2,83	2,07	2,73
Bik2	284,8	187,0	96,4	6,63	1,20	2,59	1,95	3,05
BCK	288,3	178,6	96,2	6,15	1,06	2,74	2,04	2,92
Perfil – P3								
Ak1	190,7	137,0	87,8	5,41	3,85	2,37	1,68	2,45
Ak2	204,7	131,7	87,8	4,98	3,85	2,64	1,85	2,36
ABk	198,3	131,4	92,8	3,96	3,65	2,57	1,77	2,22
BAk	208,5	123,6	92,8	5,40	3,65	2,87	1,94	2,09
Bik1	227,5	147,9	96,7	4,30	2,90	2,62	1,84	2,40
Bik2	227,2	165,0	92,5	4,96	2,95	2,34	1,72	2,80
Bik3	223,9	142,1	90,8	7,00	2,60	2,68	1,90	2,46
BCK1	231,2	137,0	97,1	9,07	2,45	2,87	1,97	2,21
BCK2	218,9	147,1	95,8	6,06	2,10	2,53	1,79	2,41
Perfil – P4								
Apk	227,4	119,2	62,3	3,60	1,54	3,24	2,43	3,00
ABk	208,7	102,5	72,1	4,15	1,32	3,46	2,39	2,23
BAk	194,8	99,6	63,8	3,18	1,10	3,32	2,36	2,45
Bivk1	201,6	94,6	62,9	3,00	1,04	3,62	2,54	2,36
Bivk2	260,8	144,6	68,2	3,44	0,80	3,07	2,36	3,33
BCK	215,3	110,7	61,0	3,20	0,59	3,30	2,44	2,85
Perfil – P5								
Ak	182,9	91,8	57,6	3,18	1,18	3,39	2,42	2,50
ABk	213,5	107,6	64,9	3,37	0,96	3,37	2,43	2,61
BAk	226,2	115,5	68,9	3,95	1,04	3,33	2,41	2,63
Bik1	233,5	134,1	69,1	3,96	1,04	2,96	2,23	3,05
Bik2	185,8	96,1	62,1	3,91	0,52	3,29	2,32	2,43
BiK3	210,8	109,6	63,4	4,32	0,45	3,27	2,39	2,71
BCK	212,8	104,6	67,7	3,36	0,26	3,46	2,44	2,43
Cgk	201,0	99,1	50,1	3,35	0,23	3,45	2,61	3,10
Perfil – P6								
Ak	198,2	105,3	61,9	3,96	1,18	3,20	2,32	2,67
ABk	180,6	91,6	57,5	2,99	0,90	3,35	2,39	2,50
Bik	201,0	109,5	58,3	6,01	0,80	3,12	2,33	2,95
Cvk1	181,5	91,3	63,4	3,73	0,80	3,38	2,34	2,26
Cvk2	168,6	91,0	48,9	4,71	0,62	3,15	2,34	2,92
Cvk3	120,2	64,5	31,4	2,42	0,58	3,17	2,42	3,23

⁽¹⁾Hor: horizonte. ⁽²⁾ki: (SiO₂/Al₂O₃) x 1,7. ⁽³⁾kr: (SiO₂ x 1,7)/(Al₂O₃ + (0,64 x Fe₂O₃)).

Os teores de SiO₂ são superiores aos de Al₂O₃ em todos os perfis, resultando em índice ki com valores mínimos de 2,34 para a T1 e de 1,91 para T2, o que indica menor solubilização, sobretudo com baixa perda de sílica. Esses valores sugerem que as duas

topossequências apresentam solos com um baixo grau de desenvolvimento pedogenético, com argilominerais predominantemente do tipo 2:1, exceto para os perfis P3 e P4 da T2, que apresentaram ki menor que 2,2. Esses resultados corroboram com os baixos valores da atividade da argila observados ao longo das duas topossequências. Entretanto, na análise mineralógica também foram observados reflexos de argilominerais do tipo 2:1 no P3 da T2.

Tabela 10. Composição química e relações moleculares ki e kr de solos da topossequência T2.

Hor ⁽¹⁾	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	ki ⁽²⁾	kr ⁽³⁾	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
-----g kg ⁻¹ -----								
Perfil - P1								
Ak	168,5	92,9	67,7	6,36	2,80	3,08	2,07	2,16
ACrk	160,1	87,7	65,6	5,68	2,80	3,10	2,10	2,10
R	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Perfil - P2								
Ak	152,1	80,5	60,0	4,04	2,65	3,21	2,18	2,11
ABk	157,9	95,0	72,4	4,99	2,60	2,83	1,90	2,06
BAk	167,3	110,6	74,4	4,98	2,30	2,57	1,80	2,34
Bik	163,8	97,4	72,3	6,77	2,30	2,86	1,94	2,12
Ck	163,9	94,4	67,8	4,96	2,45	2,95	2,02	2,18
Perfil - P3								
Ak	150,4	123,1	90,4	5,60	0,69	2,08	1,41	2,14
ABk	157,8	125,2	83,9	5,58	0,73	2,14	1,50	2,34
Bik	178,2	159,0	96,1	6,94	0,65	1,91	1,37	2,60
R	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Perfil - P4								
Apk	123,7	103,6	77,2	7,87	0,68	2,03	1,37	2,11
ABk	134,6	104,0	80,6	5,34	0,62	2,20	1,47	2,03
BAk1	133,0	111,5	83,4	8,40	0,55	2,03	1,37	2,10
BAk2	150,2	116,9	87,6	5,99	0,55	2,18	1,48	2,09
Btk1	175,2	137,7	88,6	5,55	0,51	2,16	1,53	2,44
Btk2	205,7	169,0	101,9	6,22	0,45	2,07	1,49	2,60
BCK	219,3	176,8	102,0	6,22	0,42	2,11	1,54	2,72

⁽¹⁾Hor: horizonte. ⁽²⁾ki: (SiO₂/Al₂O₃) x 1,7. ⁽³⁾kr: (SiO₂ x 1,7)/(Al₂O₃ + (0,64 x Fe₂O₃)).

Os perfis da topossequência T2 apresentaram valores de 1,34 a 2,10 para kr e de 1,91 a 3,10 para ki, indicando a intensidade do processo de intemperismo, fortalecido pela boa condição de drenagem, com valores superiores a 2,2, o que indica baixo grau de intemperismo (Anjos et al., 2007).

Os valores de ki e kr dos perfis P3 e P4 da T2 variaram de 1,91 a 2,2 e de 1,37 a 1,53, representando os menores teores de sílica. Esse padrão pode ser atribuído à natureza do material de origem (sedimentos colúviais), os quais teriam sido previamente intemperizados (Cunha et al., 1999) e posteriormente depositados nos terços médio e inferior da encosta.

Ao estudar solos da área de preservação do Carste Lagoa Santa, Shinzato (1998) observou valores de ki e kr próximos aos verificados neste estudo, atribuindo tal constatação à natureza do material de origem. Com isso, percebe-se concordância com o observado em Chernossolos, a partir de um levantamento pedológico exploratório realizado na bacia do rio Paranã, no Grupo Bambuí (Embrapa, 1983).

3.5.6. Formas extraíveis de ferro na terra fina

Para identificação das formas de ferro na terra fina (TFSA), foi utilizada extração com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Fed), no sentido de dissolver os óxidos de ferro com

estrutura cristalina definida, acrescida dos de baixa cristalinidade (Mehra e Jackson, 1960). Enquanto as formas de baixa cristalinidade foram extraídas a partir do uso do oxalato ácido de amônio (Feo) (Schwertmann, 1964), as formas solúveis (Fes) foram pela digestão sulfúrica (Donagemma et al., 2011).

Todos os perfis apresentaram teores de Fed e Fes mais expressivos, resultados concordantes com o observado por Lima et al. (2006) e Ferreira (2013) em estudos de pedogênese.

Os teores de Fed variaram de 6,73 a 58,8 g kg⁻¹ ao longo das duas toposequências (Tabela 11 e Tabela 12). Os teores de ferro são considerados baixos, possivelmente em decorrência da natureza do material de origem desses solos. Shankar e Achyuthan (2007) atribuem o baixo teor de ferro dos solos calcários de Coimbatore, Tamil Nadu a sudeste da Península Indiana ao processo de remoção do ferro na forma reduzida. Por outro lado, Cunha et al. (1999), ao estudarem solos calcários na região de Irecê, Estado da Bahia, atribuíram os baixos teores Fed à natureza dos sedimentos que foram previamente intemperizados.

Os valores da relação Feo/Fed ou ferro ativo (Coelho e Vidal-Torrado, 2003) são quase sempre superiores nos horizontes superficiais, coincidindo com os maiores teores de carbono orgânico. Esse padrão tem sido observado em alguns estudos, nos quais os autores justificam que os valores mais elevados dessa relação são decorrentes dos maiores teores de carbono orgânico apresentados nos horizontes superficiais (Kämpf e Schwertmann, 1983; Melo et al., 2001; Coelho e Vidal-Torrado, 2003; Lima et al., 2006; Anjos et al., 2007).

Os valores mais elevados da relação Feo /Fed são resultantes da complexação do ferro por grupos funcionais da matéria orgânica, reduzindo o grau de cristalinidade dos óxidos de ferro pedogênicos, o que acarreta teores mais elevado de Feo (Anjos et al., 2007).

No perfil P4 da T1, a relação Feo/Fed apresentou pouca variação em subsuperfície, decorrente de formas de ferro com baixa cristalinidade, condicionada pela influência do lençol freático, o que pode também ter promovido a redução do ferro (Coelho e Vidal-Torrado, 2003; Inda et al., 2013). Essa relação reflete o predomínio de formas de óxidos de baixo grau de cristalinidade ao longo de todo o perfil do solo.

No horizonte Bt3 do perfil P4 da T2, parte do Feo foi translocada a partir dos horizontes subjacentes. Alguns autores sugerem que as frações extraídas por oxalato ácido de amônio são as mais solúveis no solo, o que pode acarretar maior mobilidade do ferro ao longo do perfil (Coelho e Vidal-Torrado, 2003) e/ou paisagem, podendo ser considerada uma medida da atividade do ferro no sistema.

Tabela 11. Formas de ferro extraíveis de na fração terra fina topossequência T1.

Horiz.	Feo	Fed	Fes	Fed	Fes	Feo	Fed
	-----g kg ⁻¹ -----			Argila	Argila	Fed	Fes
Perfil-P1							
Ak	9,99	22,08	58,53	0,06	0,16	0,45	0,38
ABk	10,34	25,67	59,72	0,06	0,14	0,40	0,43
Btk1	10,78	29,47	73,01	0,05	0,13	0,37	0,40
Btk2	9,96	28,80	69,09	0,12	0,14	0,17	0,85
Perfil-P2							
Ak	6,79	19,34	58,18	0,06	0,18	0,35	0,33
Abk	6,60	23,42	62,10	0,07	0,17	0,28	0,38
BAk	8,01	24,61	60,14	0,07	0,17	0,33	0,41
Bik1	6,72	20,27	64,41	0,04	0,13	0,33	0,31
Bik2	7,02	25,68	67,41	0,05	0,13	0,27	0,38
BCK	7,03	25,95	67,27	0,05	0,12	0,27	0,39
Perfil-P3							
Ak1	9,90	11,96	61,40	0,03	0,18	0,83	0,19
Ak2	11,02	21,96	61,40	0,06	0,17	0,50	0,36
Abk	9,67	22,88	64,90	0,06	0,17	0,42	0,35
BAk	8,75	24,81	64,90	0,07	0,18	0,35	0,38
Bik1	10,56	26,53	67,62	0,06	0,15	0,40	0,39
Bik2	11,75	25,96	64,69	0,06	0,15	0,45	0,40
Bik3	9,98	24,26	63,50	0,05	0,14	0,41	0,38
BCK1	11,50	26,37	67,90	0,06	0,16	0,44	0,39
BCK2	10,13	25,82	66,99	0,06	0,15	0,39	0,39
Perfil-P4							
Apk	8,43	11,76	43,57	0,05	0,17	0,72	0,27
Abk	7,41	9,92	50,42	0,03	0,16	0,75	0,20
BAk	7,74	9,56	44,62	0,03	0,15	0,81	0,21
Bivk1	6,25	9,27	43,99	0,03	0,14	0,67	0,21
Bivk2	9,92	20,73	47,69	0,05	0,12	0,48	0,43
BCK	5,37	8,48	42,66	0,03	0,17	0,63	0,20
Perfil-P5							
Ak	5,59	9,77	40,28	0,03	0,14	0,57	0,24
ABk	6,89	11,43	45,39	0,03	0,12	0,60	0,25
BAk	7,36	12,13	48,18	0,03	0,12	0,61	0,25
Bik1	7,83	13,01	48,32	0,03	0,12	0,60	0,27
Bik2	2,64	12,23	43,43	0,03	0,12	0,22	0,28
Bik3	1,60	10,48	44,34	0,03	0,12	0,15	0,24
BCK	1,16	11,20	47,34	0,03	0,12	0,10	0,24
Cgk	0,90	6,73	35,04	0,02	0,10	0,13	0,19
Perfil-P6							
Ak	5,05	12,38	43,29	0,05	0,17	0,41	0,29
ABk	6,33	11,10	40,21	0,04	0,14	0,57	0,28
Bik	7,05	11,85	40,77	0,04	0,13	0,59	0,29
Cvk1	3,02	12,61	44,34	0,05	0,16	0,24	0,28
Cvk2	2,82	8,01	34,20	0,03	0,12	0,35	0,23
Cvk3	3,31	8,32	21,96	0,04	0,10	0,40	0,38

Feo: Ferro extraído com oxalato; Fed: ferro extraído com ditionito-citrato-bicarbonato; Fes: ferro total (Fe₂O₃) extraído por ataque sulfúrico.

Tabela 12. Formas de ferro extraíveis de na fração terra fina topossequência T2.

Horiz.	Feo	Fed	Fes	Fed	Fes	Feo	Fed
	-----g kg ⁻¹ -----			Argila	Argila	Fed	Fes
Perfil-P1							
A \bar{K}	5,79	9,53	47,34	0,06	0,28	0,61	0,20
ACrk	4,68	13,06	45,87	0,06	0,21	0,36	0,28
Perfil-P2							
Ak	6,11	14,17	41,96	0,08	0,25	0,43	0,34
ABk	5,85	16,36	50,63	0,12	0,36	0,36	0,32
BAk	5,47	16,11	52,03	0,06	0,20	0,34	0,31
Bik	7,22	14,18	50,56	0,07	0,24	0,51	0,28
Ck	7,11	13,54	47,41	0,05	0,19	0,53	0,29
Perfil-P3							
Ak	7,16	26,75	63,22	0,10	0,23	0,27	0,42
AB \bar{K}	8,16	21,73	58,67	0,08	0,22	0,38	0,37
Bik	7,35	27,21	67,20	0,09	0,22	0,27	0,40
Perfil-P4							
Apk	7,64	14,49	53,99	0,06	0,22	0,53	0,27
ABk	8,48	21,93	56,36	0,09	0,23	0,39	0,39
BAk1	7,72	20,75	58,32	0,07	0,21	0,37	0,36
BAk2	7,17	27,71	61,26	0,09	0,20	0,26	0,45
Btk1	6,70	24,46	61,96	0,06	0,16	0,27	0,39
Btk2	9,46	25,13	71,26	0,06	0,17	0,38	0,35
BCk	8,60	29,11	71,33	0,06	0,14	0,30	0,41

Feo: Ferro extraído com oxalato; Fed: ferro extraído com ditionito-citrato-bicarbonato; Fes: ferro total (Fe₂O₃) extraído por ataque sulfúrico.

Quanto à relação de Fed / argila, os valores variaram de 0,02 a 0,12, indicando pouca contribuição de óxidos na fração argila (Pereira e Anjos, 1999), possivelmente decorrentes do baixo teor de ferro do material de origem, corroborando com o teor de Fes, no qual variaram de 0,1 a 0,36.

A relação de Fed / Fes variou de 0,19 a 0,45, indicando uma reserva de Fe em outros grupos de minerais que pode ser liberada da estrutura cristalina a partir da ação do processo de intemperismo e transformar-se em óxidos (Cornell e Schwertmann, 1996). Os perfis P4, P5 e P6 da T1 apresentaram os menores valores dessa relação, o que sugere que a maior quantidade de Fe encontra-se na forma de minerais primários. Anjos et al. (2007), ao estudarem Plintossolos no estado do Maranhão, observaram valores da relação Fed / Fes na ordem de 0,51 a 1,00 para os horizontes plínticos, sugerindo que grande parte do Fe se apresenta sob a forma de óxidos, embora uma parcela ainda esteja inclusa na estrutura cristalina dos minerais primários.

Os valores da relação Fed/ Fes da T2 foram de 0,2 a 0,43, sendo que o perfil P1 apresentou menor relação, coincidindo com a menor espessura do solo e valor mínimo de 3,08 de ki, o que indica baixo grau de intemperismo, sugerindo uma eventual liberação do ferro contido na estrutura cristalina dos minerais a partir do processo de intemperismo.

3.5.7. Mineralogia do solo

a) Mineralogia da fração areia

A análise mineralógica foi realizada em amostras dos horizontes diagnósticos subsuperficiais, conforme apresentados nos difratogramas de raio-X (Figura 15 a Figura 18).

Os resultados das análises mineralógicas da fração areia fina e areia grossa apresentaram predomínio do mineral quartzo (Qz), o qual aparece em todos os perfis ao longo das duas toposequências, seguido do mineral calcita (Ca) em todos os perfis da T1.

De modo geral, o calcário do Grupo Bambuí apresenta impurezas, sendo comum a ocorrência do mineral quartzo (Resende et al., 2005). Além disso, as impurezas das rochas carbonatadas variam quanto ao tipo e quantidade e podem acompanhar o processo de deposição do CaCO_3 ou ocorrer em estágios posteriores à deposição (Vasconcelos, 2010). Alguns levantamentos pedológicos descrevem a ocorrência de impurezas dos tipos siltitos e argilitos (Embrapa, 1983), que aparecem intercaladas ao calcário.

Acredita-se que a ocorrência do quartzo esteja associada ao aporte de sedimentos provenientes de outras rochas, principalmente das partes mais altas da paisagem. O predomínio desse mineral na fração areia está associado à sua maior resistência ao processo de intemperismo, por apresentar estrutura tridimensional característica dos tectossilicatos. Alguns trabalhos confirmam o predomínio desse mineral em uma parcela dos solos brasileiros (Shinzatto, 1998; Miranda e Ferreira, 1999; Alencar et al., 2002; Anjos et al., 2007; Silva, 2012; Vasconcelos et al., 2013).

A calcita é um dos principais constituintes dos calcários, dissolve-se a baixos valores de pH e pode precipitar em pH elevado e baixa pCO_2 . Todos os perfis das T1 apresentaram calcita na fração areia. Entretanto, os perfis P4, P5, P6 apresentaram maior quantidade desse mineral (Figura 15 e Figura 16), coincidindo com o maior teor de carbonato de cálcio.

Na gênese de solos calcários, parte do carbonato de cálcio e/ou magnésio é removida, as impurezas contidas no calcário servirão de matéria prima na pedogênese (Durn, 2003). A menor ocorrência de calcita nos perfis P1, P2 e P3 da T1 está associada à dissolução do carbonato e transporte de íons, que em seguida se acumulam nas partes mais baixas da paisagem, favorecendo o aumento nas concentrações de cálcio, magnésio e carbonatos.

O aumento da concentração de cálcio, associado a altos valores de pH e redução da pressão parcial de CO_2 , favorecem a formação da calcita pedogênica. Isso pôde ser observado por Pereira et al. (2013) em Gleissolos localizados nas áreas de menor cota ao longo de uma toposequência na Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul.

A fração areia na T2 é composta somente por quartzo, diferindo do observado na T1. A ausência de calcita possivelmente está associada à maior suavidade da pendente, facilitando a lixiviação, ocorrendo a perda de bases e dissolução dos carbonatos.

Os perfis P1 e P2 da T2 apresentaram quartzo com menor cristalinidade, possivelmente em função do menor teor de sílica condicionado pelo processo de intemperismo. Novamente, esse foi o principal mineral constituinte da fração areia, assim como reportado em outros trabalhos em estudo de gênese de solos calcários (Ferreira, 2012; Pereira et al., 2013; Silva et al., 2013). Esse mineral apresenta grande expressão nos solos formados a partir de rochas pelíticas do Grupo Bambuí (Embrapa, 1983).

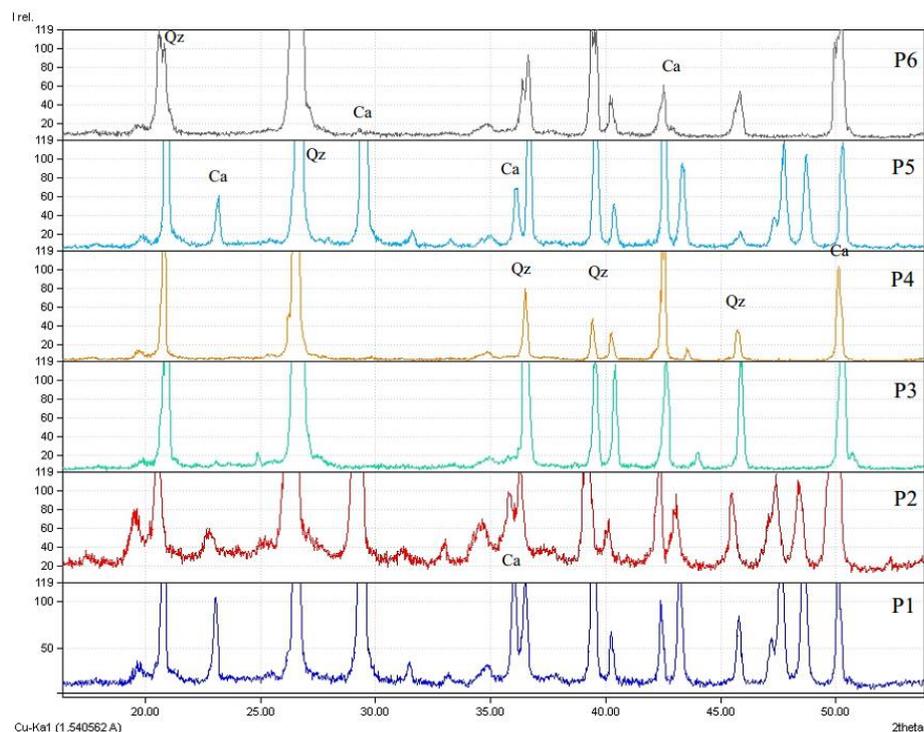


Figura 15. Difração de raios-X da fração areia fina (AF) da topossequência. T1. Ca=calcita; Qz=quartzo; P1=Btk1; P2=Bik1; P3=Bik1; P4=Bivk1; P5=Bik1 e P6= Bik1.

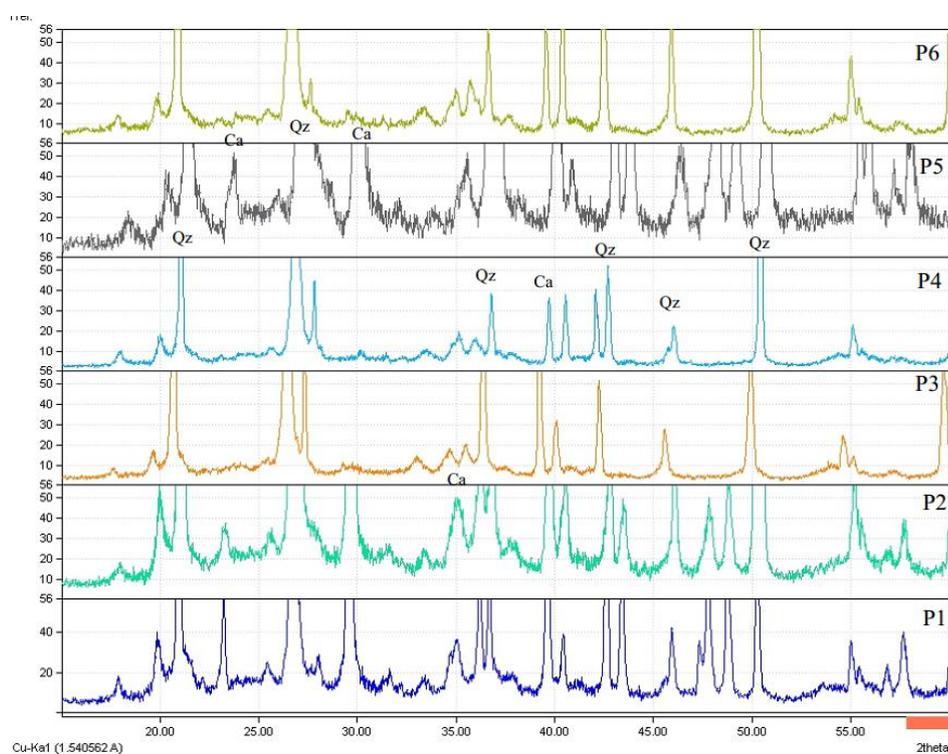


Figura 16. Difração de raios-X da fração areia grossa (AG) da topossequência T1. Ca=calcita; Qz=quartzo; P1=Btk1; P2=Bik1; P3=Bik1; P4=Bivk1; P5=Bik1 e P6=Bik1.

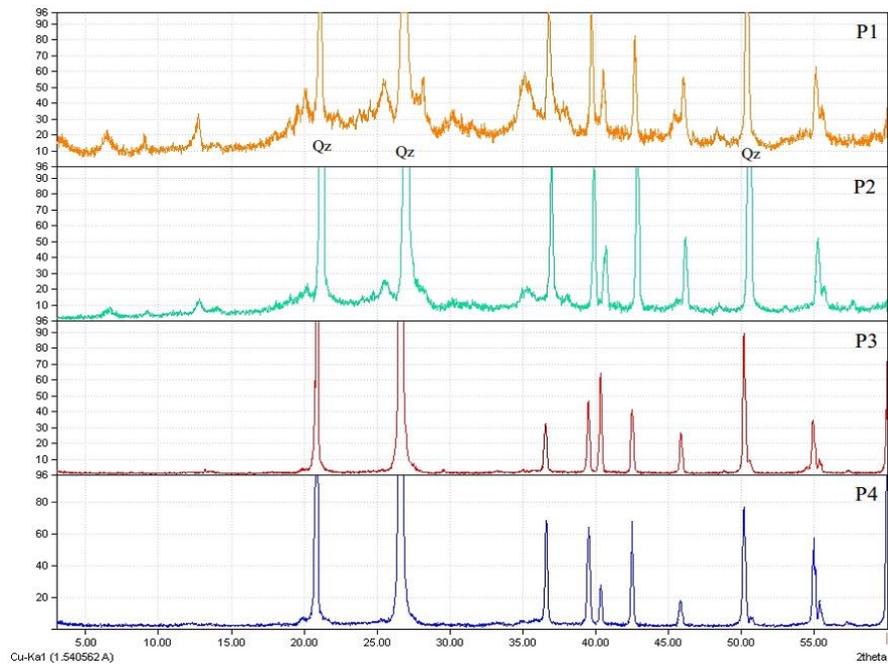


Figura 17. Difração de raios-X da fração areia fina (AF) da topossequência T2. Qz=quartzo; P1=ACrk; P2=Bik; P3=Bik e P4=BAk2.

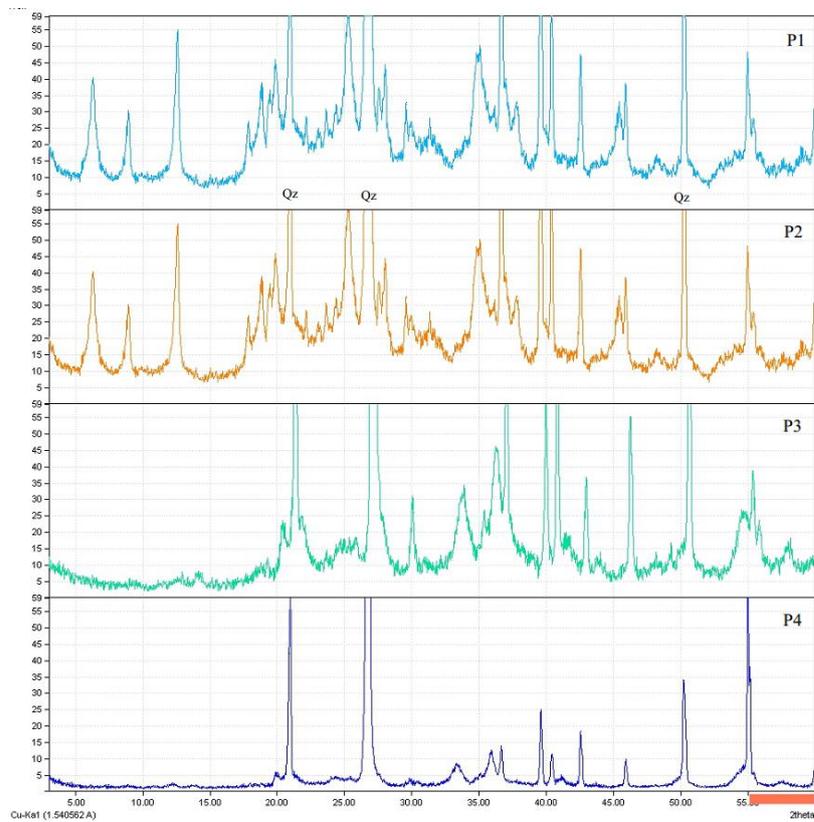


Figura 18. Difração de raios-X da fração areia grossa (AG) da topossequência T2. Qz=quartzo; P1=ACrk; P2=Bik; P3=Bik e P4=BAk2.

b) Mineralogia da fração argila

Não foram verificadas grandes variações de minerais constituintes da fração argila para os perfis da topossequência T1 (Tabela 13). Nessa fração, predomina o mineral ilita com reflexos de 1,0; 0,5 e 0,19 nm, seguida da caulinita, reflexos de 0,71 e 0,35 nm e quartzo nos reflexos de 0,33 nm.

No horizonte Bik1 do P5 da T1, foi observada caulinita com maior cristalinidade, diferindo do horizonte Bivk1 do perfil P1. O reflexo 0,25nm da amostra do horizonte Bik1 do perfil P5 indicando a presença de rutilo, quartzo ou mais provavelmente um reflexo de menor ordem ou intensidade da ilita.

Sabe-se que a ilita é um mineral secundário, formado a partir da intemperização de micas e/ou cloritas (Kämpf et al., 2009), assim como a caulinita. Na presença de elevados teores de cálcio e magnésio em solução, a mica pode ser destruída, decorrente da sua desestabilização (Resende et al., 2005). Estudando solos calcários do Grupo Paranoá, Lynch (2009) verificou a presença de ilita em solos menos intemperizados, localizados em menores altitudes, sendo atribuída à unidade pelítico-carbonática.

Em estudos de solos calcários da região da Sardenha, Boero et al. (1992) identificaram como principais constituintes da fração argila a ilita e a caulinita. Enquanto isso, a noroeste da Itália, foi mais expressiva a incidência de vermiculita com hidróxido de Al entrecamadas. Durn (2003), ao estudar solos calcários da região do Mediterrâneo, verificou predomínio de ilita e caulinita na fração argila. Igualmente, Shinzato (1999), ao estudar solos de natureza calcária da área de preservação Carste Lagoa Santa-MG, no Grupo Bambuí, verificou o mineral ilita na maioria dos perfis avaliados.

O horizonte Bik do perfil P6 apresenta um pequeno reflexo de goethita a 0,42 nm, coincidindo com o ponto de menor cota na paisagem e proximidade com a borda do rio, resultando em cores mais próximas do amarelo (matiz 10YR), conforme apresentado na descrição morfológica. Por sua vez, a água e a matéria orgânica têm papel fundamental na formação da goethita, resultado do processo pedogenético de xantização (Silva e Vidal Torrado, 1999).

A composição mineralógica da fração argila da T2 apresenta uniformidade entre os perfis P1, P2 e P3, com reflexos de vermiculita 1,4 nm, seguidos por ilita a 1,0; 0,5 e 0,19 nm e caulinita a 0,71 e 0,35 nm, com reflexo de quartzo a 0,33 nm.

Nos perfis P1, P2 e P3 da T2, os reflexos de 1,4 nm e 1,0 nm tendem a coalescer com os tratamentos de aquecimento, sugerindo a ocorrência de vermiculita com hidróxido de alumínio entrecamadas. Alguns autores descrevem que a ocorrência de vermiculita interestratificada é comum em locais de clima úmido e frio (Boero et al., 1992; Almeida et al., 2003), mas por vezes esse mineral tem sido constatado nos solos brasileiros em diferentes situações, desde norte a sul do país (Almeida et al., 2003; Anjos et al., 2007). A presença de hidróxidos de Al desestabiliza a vermiculita (Resende et al., 2005), de modo que ela estará sujeita a transformações.

O calcário do Grupo Bambuí apresenta associação com argilitos e siltitos, impurezas típicas de rochas pelíticas, sendo comum a ocorrência de quartzo e fragmentos de micas (Embrapa, 1982). Durante o processo de diagênese, as micas podem ser transformadas ou formar-se por regeneração de filossilicatos degradados, bem como acréscimo autigênico (Kämpf et al., 2009), o que justifica a grande expressão do mineral ilita, oriunda da transformação das micas. Conquanto, ao estudar solos calcários da região sudeste do Iran, Owliaie et al. (2006) constataram que uma parcela da ilita foi herdada do material de origem.

Entretanto, ao estudar solos formados a partir de calcário na região da Sardenha na Itália, Boero et al. (1992) verificaram que a influência do clima reflete na natureza dos minerais de argila, os quais são menos preservados em ambiente úmido. No entanto, a

incerteza sobre a origem dos minerais de argila limita seu uso como indicador climático. Ainda assim, observou-se nesse estudo maior influência do material de origem e da posição dos perfis ao longo da paisagem determinando a natureza dos constituintes mineralógicos.

O perfil P4 da T2 tem mineralogia discordante dos demais, pois não apresenta vermiculita na fração argila, além do reflexo 0,1 nm não ter indício de coalescer (Figura 28) quando submetido ao aumento de temperatura. Verificam-se ademais reflexos de caulinita bem definidos, sugerindo grande quantidade desse mineral (Shinzato, 1998; Cunha e Ribeiro, 1998). A caulinita pode ser resultante da transformação dos minerais primários e/ou secundários (Kämpf et al., 2009) ou pelo processo de neoformação (Vasconcelos, 2010) a partir da recombinação do silício em solução.

Tabela 13. Ocorrência de minerais nas frações argila e areia.

Perfil	Horiz	-----Minerais -----		
		Argila	Areia grossa	Areia fina
Topossequência I				
P1	Btk̄1	ilita>> caulinita e quartzo	quartzo e calcita	quartzo
P2	Bik1	ilita>> caulinita e quartzo	quartzo e calcita	quartzo
P3	Bik1	ilita>> caulinita e quartzo	quartzo e calcita	quartzo
P4	Bivk1	ilita>> caulinita e quartzo	quartzo e calcita	quartzo
P5	Bik1	ilita>> caulinita e quartzo	quartzo e calcita	quartzo
P6	Btk1	ilita>> caulinita, quartzo e goethita	quartzo e calcita	quartzo
Topossequência II				
P1	ACr̄k	vermiculita HE>> ilita, caulinita e quartzo	Quartzo	quartzo
P2	Bik	vermiculita HE>> ilita, caulinita e quartzo	Quartzo	quartzo
P3	Bik	vermiculita HE>> ilita, caulinita e quartzo	Quartzo	quartzo
P4	BAk2	caulinita>> quartzo	Quartzo	quartzo

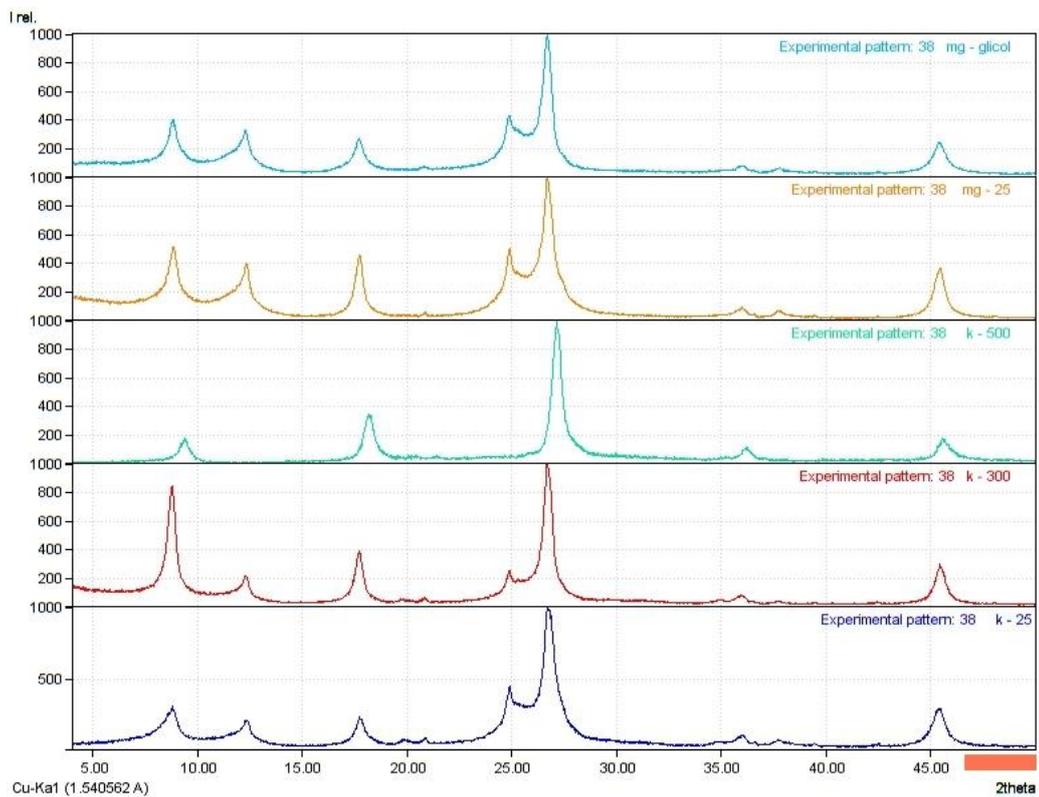


Figura 19. Difração de raios-X da fração argila do perfil P1(Btk1) da topossequência T1.

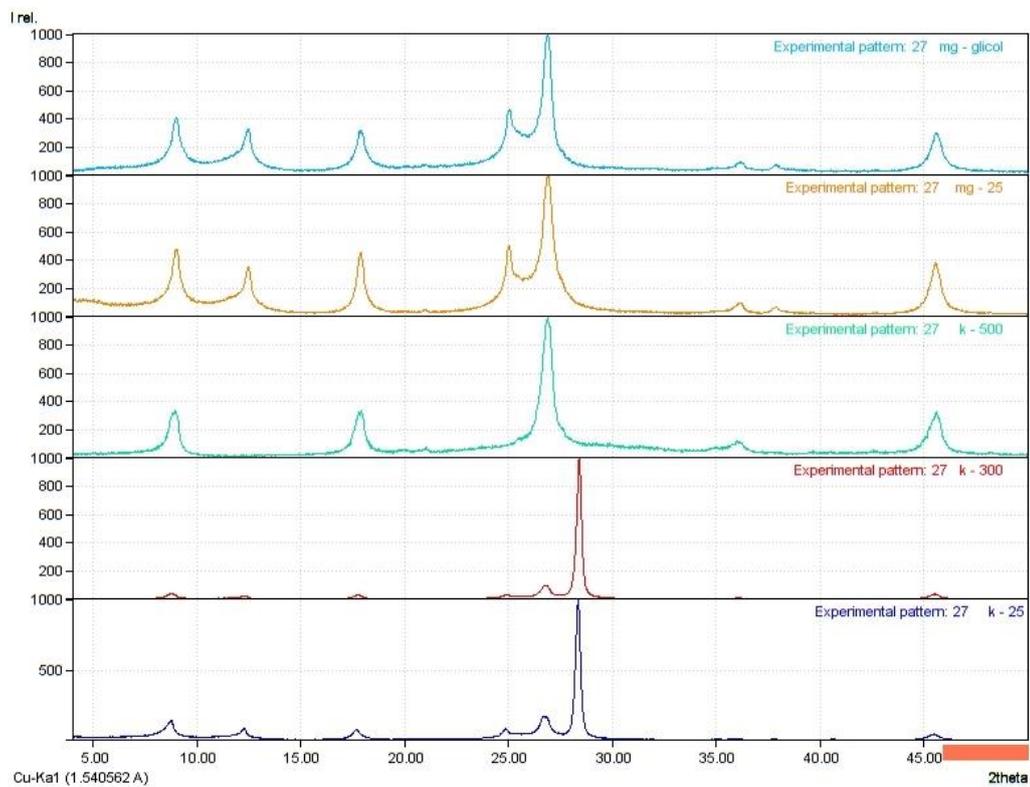


Figura 20. Difração de raios-X da fração argila do perfil P2 (Bik1) da topossequência T1.

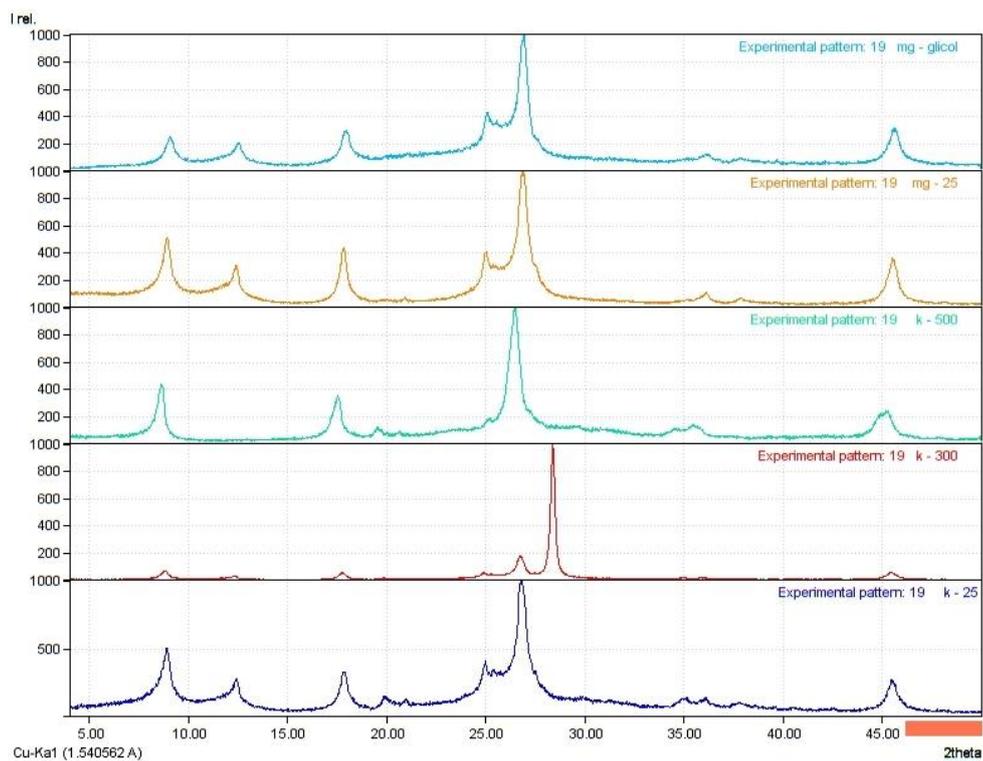


Figura 21. Difração de raios-X da fração argila do perfil P3 (Bik1) da topossequência T1.

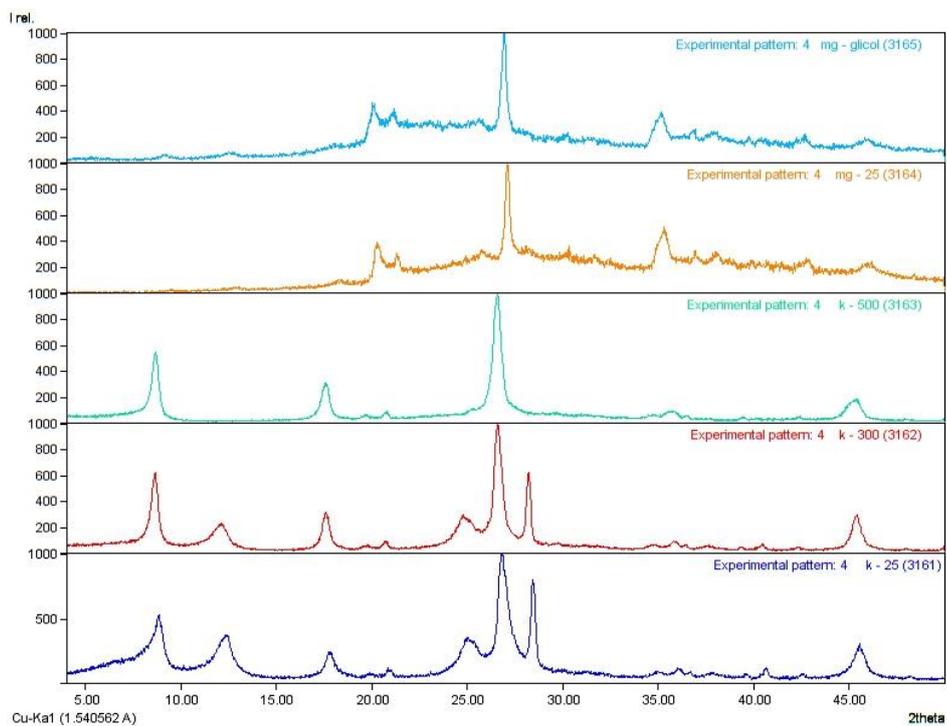


Figura 22. Difração de raios-X da fração argila do perfil P4 (Bivk1) da topossequência T1.

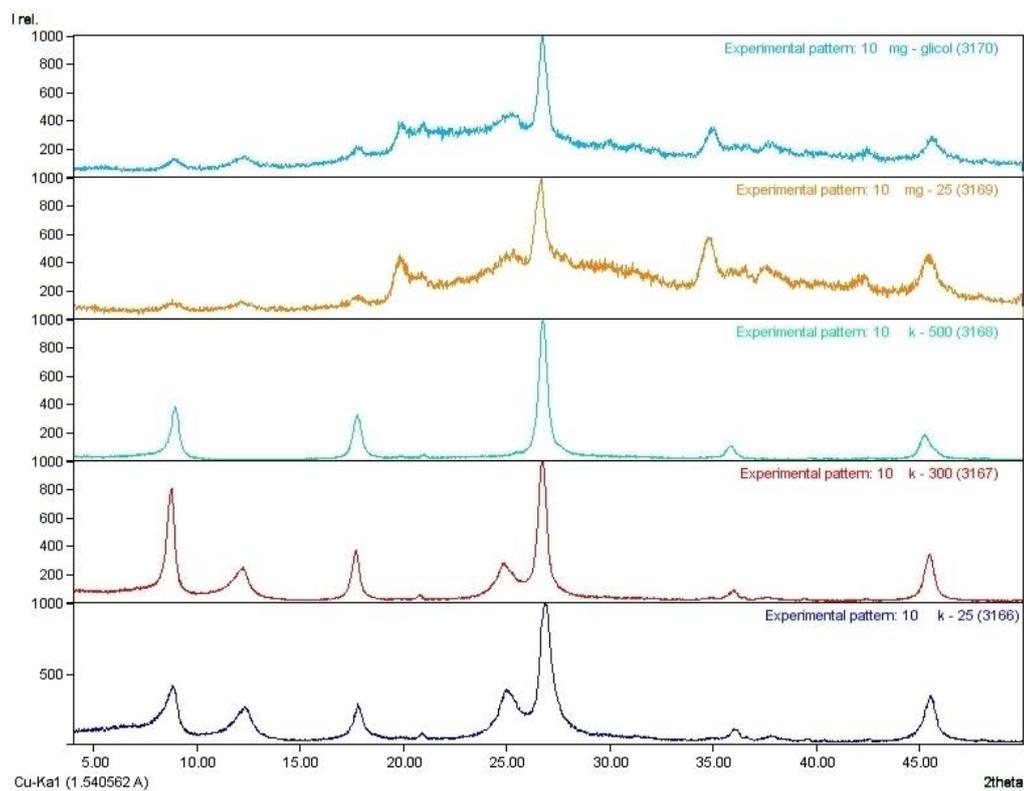


Figura 23. Difração de raios-X da fração argila do perfil P5 (Bik1) da topossequência T1.

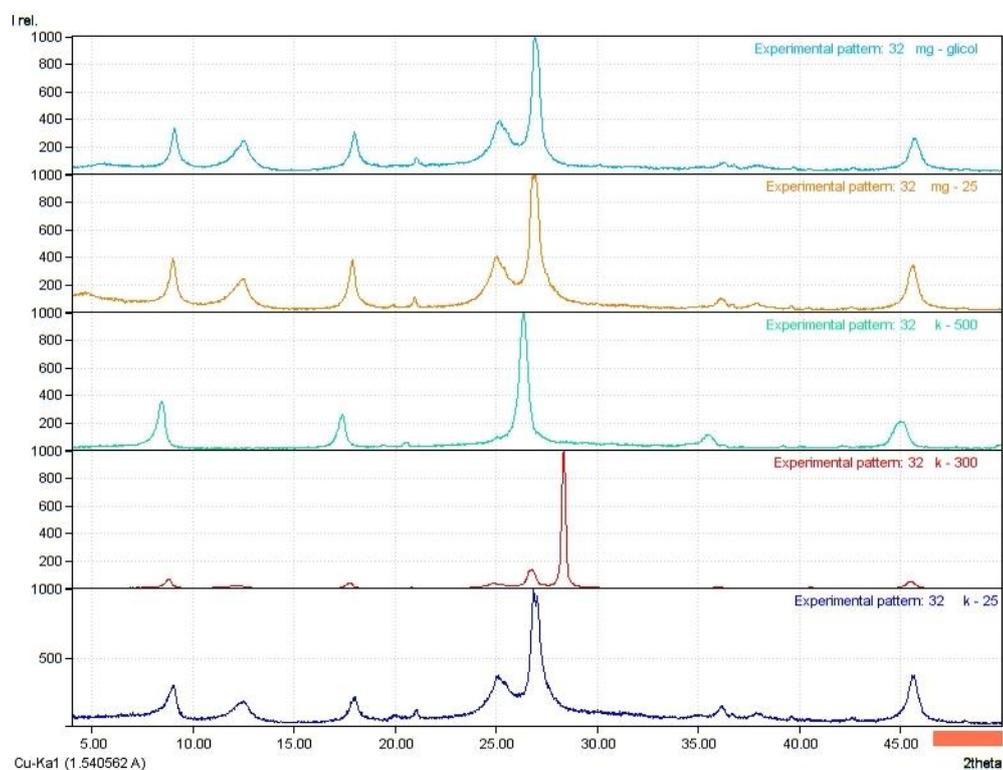


Figura 24. Difração de raios-X da fração argila do perfil P6 (Bik) da topossequência T1.

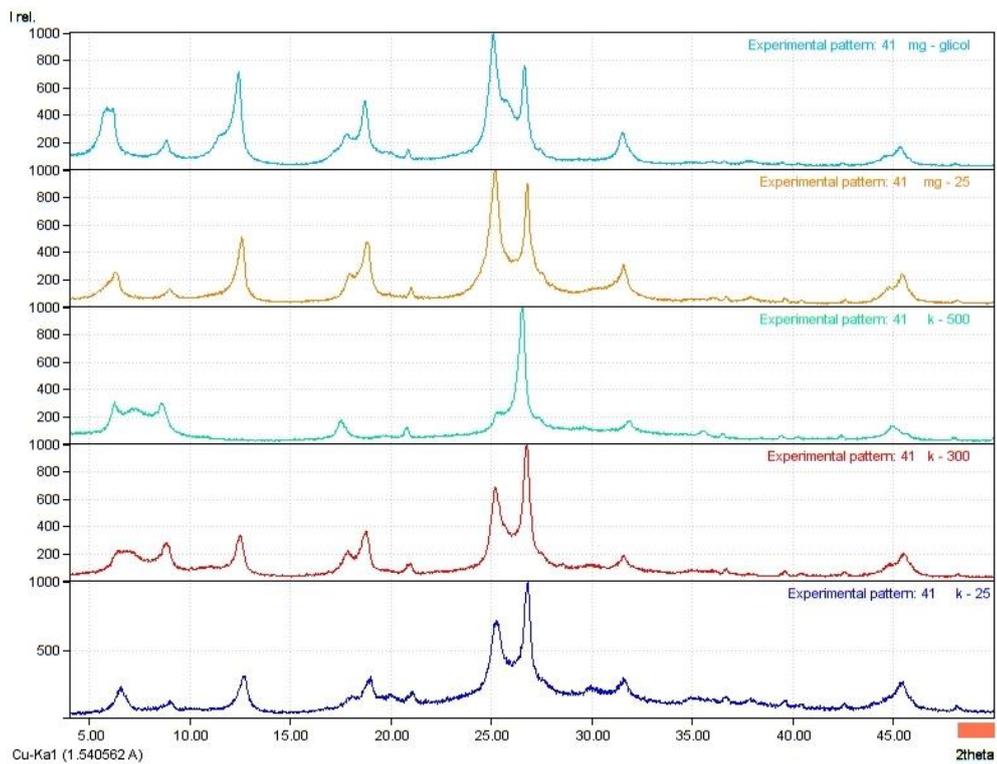


Figura 25. Difração de raios-X da fração argila do perfil P1 (ACrk) da topossequência T2.

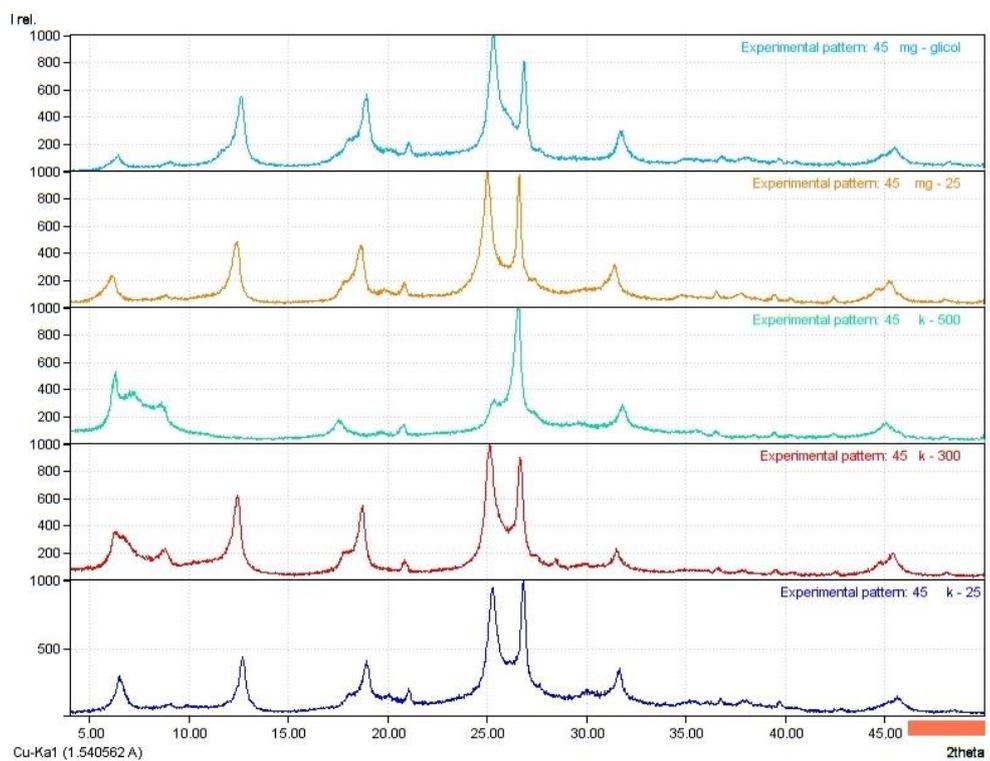


Figura 26. Difração de raios-X da fração argila do perfil P2 (Bik) da topossequência T2.

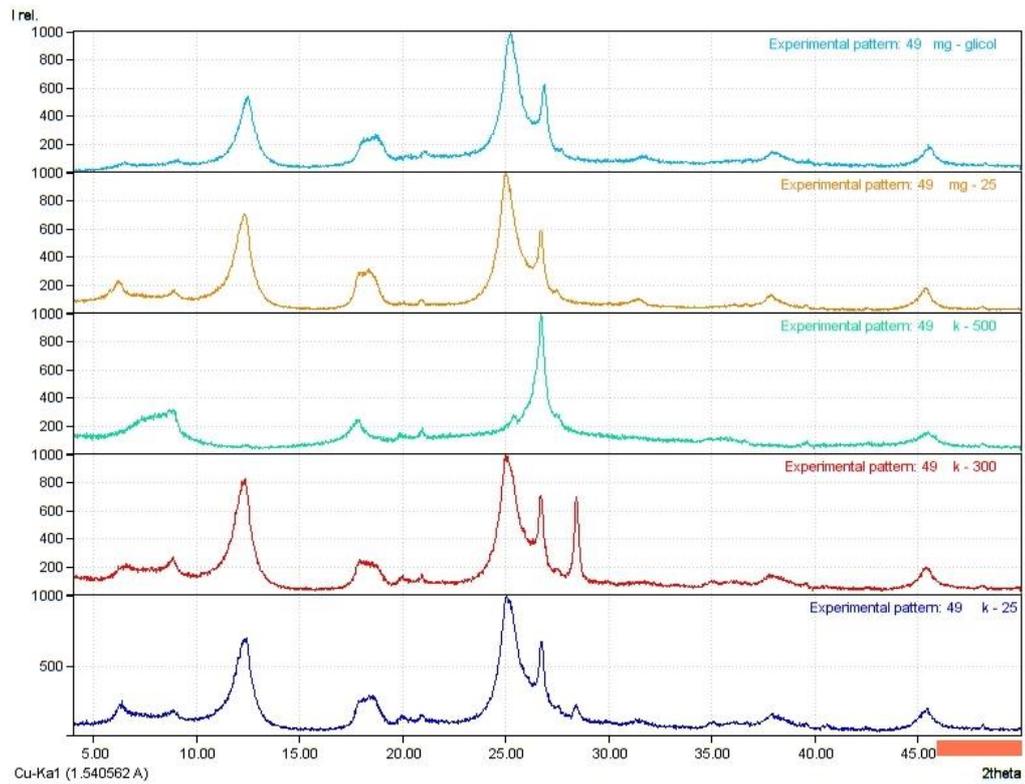


Figura 27. Difração de raios-X da fração argila do perfil P3 (Bik) da topossequência T2.

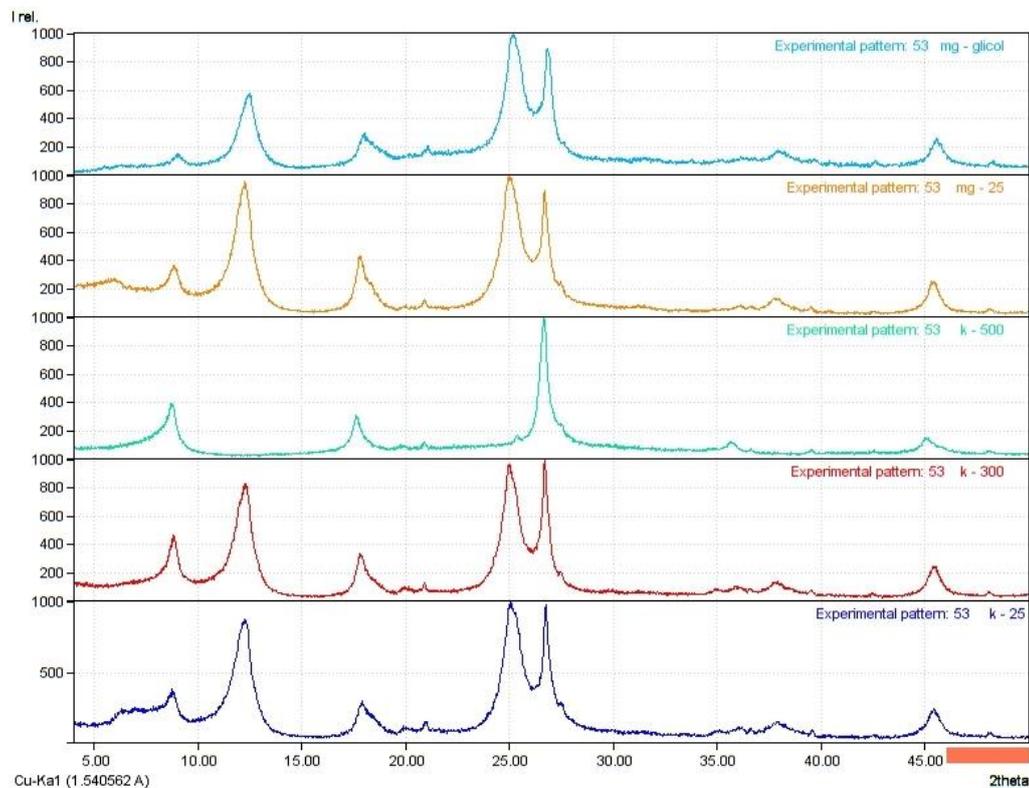


Figura 28. Difração de raios-X da fração argila do perfil P4 (BAk2) da topossequência T2.

c) Gênese de solos calcários

Os fatores clima, relevo, organismo e material de origem, interagindo ao longo do tempo, são determinantes no estudo de gênese de solos (Jenny, 1941), permitindo uma visão qualitativa da pedogênese, assim como a morfogênese da paisagem.

Os fatores de formação “equacionados” por Jenny (1941) controlam as características do sistema solo, visando atingir um estado estável, o qual esteja em “equilíbrio” com o ambiente. Esses fatores condicionam um conjunto de processos pedogenéticos (Kämpf e Curi, 2012) que determinam os atributos do solo e a esculturação da paisagem.

Nos perfis P4 e P6 da topossequência T1, foram observadas evidências do processo pedogenético de vertilização, resultado de sucessivos ciclos de umedecimento e secagem (Bockheim e Gennadiyev, 2000), nos quais as argilas, ao expandirem-se, conferem a formação de superfícies de fricção ou “*slickensides*” (Santos et al., 2013a), assim como o processo de argilopedoturbação (Fanning e Fanning, 1989). Para a expressão desse processo, a influência dos fatores relevo, material de origem e clima são determinantes; esse último, o clima, é considerado por controlar a oscilação do lençol freático.

Os perfis P4 e P6 estão localizados na parte mais baixa da paisagem, associados às condições de umidade e ao acúmulo de bases e sílica; isso resulta na formação de argilominerais do tipo 2:1. O fornecimento de sílica, seguido da neoformação de minerais, é característico do processo de silicificação (Kämpf e Curi, 2012).

O processo pedogenético de melanização foi observado em todos os horizontes superficiais dos perfis estudados (Tabela 14), variando quanto ao grau de expressão, o que resultou em cores mais escuras, decorrentes da interação da fração mineral com a fração orgânica do solo (Duchaufour, 1970; Arnold, 1983; Fanning e Fanning, 1989; Bockheim e Gennadiyev, 2000; Kämpf e Curi, 2012).

No Perfil P4 da T1, ocorre expressão do processo pedogenético de melanização ao longo de todo o perfil, o que designa o caráter ebânico (Santos et al., 2013b), resultado da interação da fração orgânica com a mineral (Duchaufour, 1970), assim como a condição de má drenagem.

Tabela 14. Classificação de solos e processos pedogenéticos.

Perfil	Solo	Processos pedogenéticos
Topossequência 1		
P1	LUVISSOLO HÁPLICO Órtico típico	Calcificação e melanização
P2	CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico típico	Calcificação e melanização.
P3	CHERNOSSOLO HÁPLICO Carbonático típico	Calcificação, melanização
P4	VERTISSOLO EBÂNICO Carbonático típico	Calcificação, melanização, vertilização, silicificação e argilopedoturbação,
P5	CAMBISSOLO FLÚVICO Carbonático típico	Calcificação e melanização.
P6	CAMBISSOLO FLÚVICO Carbonático vertissólico	Calcificação, melanização, vertilização, silicificação e argilopedoturbação
Topossequência 2		
P1	CHERNOSSOLO RÊNDZICO Lítico típico	Calcificação e melanização.
P2	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico hipocarbonático	Calcificação e melanização.
P3	CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático léptico	Calcificação e melanização.
P4	LUVISSOLO HÁPLICO Órtico típico	Calcificação, melanização, eluviação e iluviação.

Todos os perfis ao longo das duas topossequências apresentaram evidências do processo pedogenético de calcificação (Arnold, 1983), no qual ocorre presença de calcita nos horizontes diagnósticos subsuperficiais, conforme verificado na mineralogia, resultante de herança do material de origem e/ou da precipitação do carbonato (calcita pedogênica), e que, para que ocorra, é requerida uma fonte de Ca^{2+} e de CO_3^{-2} (Kämpf e Curi, 2012).

Ao estudar solos calcários, Pereira et al. (2013) observaram que o carbonato é transportado via solução para as áreas de menor cota e, em condições de pH elevado e baixa pressão de CO_2 , precipitam na forma de calcita e bicarbonato de cálcio.

Desse modo, no sentido de discriminar a natureza dos carbonatos, os horizontes que apresentam o sufixo “ \bar{k} ” são caracterizados como enriquecidos por carbonatos secundários, enquanto os que são acompanhados do “ k ” apresentam carbonatos herdados do material de origem (Santos et al., 2013a).

O perfil P3 da T1 apresentou evidências do processo pedogenético de melanização (Arnold, 1983), associado a atributos suficientes para a formação de horizonte diagnóstico A chernozêmico, tendo horizonte do B incipiente em subsuperfície (Santos et al., 2013b).

Os perfis P1, P2 e P3 da T2 apresentaram evidências do processo pedogenético de calcificação, possivelmente resultante da transformação do próprio material de origem. O perfil P4 da T2 apresentou evidências do processo pedogenético de eluviação e iluviação de argila (Kämpf e Curi, 2012), resultando em um incremento de argila no horizonte Bt2 subjacente ao horizonte Bt1.

3.5.8. Classificação dos solos

Todos os perfis foram classificados segundo o SiBCS (Tabela 15), seguindo os critérios estabelecidos na última edição (Santos et al., 2013b)

Com exceção do perfil P3, todos os outros que compõem a topossequência T1 apresentaram horizonte diagnóstico superficial classificado como A moderado, não atendendo a A chernozêmico, proeminente e húmico por espessura e/ou cor, do A fraco pelo conteúdo de carbono, além de não atenderem a critérios para horizonte hístico ou A antrópico (Santos et al., 2013b). Entretanto, o P3 apresenta horizonte A chernozêmico, atendendo aos critérios de espessura, cores escuras, associado à alta saturação por bases.

Os perfis P2, P3 e P4 da T2 apresentaram horizonte diagnóstico superficial do tipo A moderado, definido por exclusão, não atendendo aos critérios do SiBCS para os demais horizontes. Enquanto isso, para o perfil P1, foi identificado o horizonte diagnóstico A chernozêmico, ocorrendo dentro de 25 cm, seguido de contato lítico.

Os perfis da T1, exceto P1, apresentaram horizonte diagnóstico subsuperficial do tipo B, acompanhado pelo sufixo “ i ”, caracterizado por designar um baixo grau de alterações pedogenéticas no horizonte, conforme é descrito por Santos et al. (2013a). Por outro lado, para o perfil P1, deu-se o sufixo “ t ”, designando acumulação de argila em função do processo de eluviação e iluviação desse mineral.

O sufixo “ v ” foi adicionado aos horizontes B do P4 e C do P6, no sentido de designar que o material mineral foi submetido a alterações de volume, devidas aos processos de umedecimento e secagem, resultando na formação de superfícies de fricção ou “*slickensides*” (Santos et al., 2013a).

O perfil P1 da T2 não apresentou horizonte B, porém, um horizonte transicional do tipo AC, acompanhado do sufixo “ r ”, caracterizando a alteração da rocha branda ou semi-branda; esse sufixo é privativo do horizonte C (Santos et al., 2013a), mas nesse caso foi utilizado para o horizonte transicional entre A e C, de modo a destacar a importância desse atributo na caracterização do perfil.

Os perfis P2 e P3 da T2 apresentaram o sufixo “i”, demonstrando a baixa expressão dos processos pedogenéticos no horizonte, tendo o desenvolvimento de cor e unidades estruturais, entretanto, com ocorrência de minerais primários vistos a olho nu. Já para o perfil P4, foi utilizado o sufixo “t”, para designar o acúmulo de argila no horizonte B.

Todos os perfis das duas toposequências apresentam o sufixo “k” para designar a presença de carbonato, descrito por Santos et al. (2013a) como sendo remanescente do material originário. Entretanto, alguns horizontes têm sido acompanhados do sufixo “k̄”, que designa um horizonte enriquecido com carbonato de cálcio secundário, contendo simultaneamente 150 g kg⁻¹ de solo ou mais de carbonato, sob qualquer forma de segregação, e valor mínimo de 50 g kg⁻¹ no horizonte ou camada subjacente (Santos et al., 2013a).

Os perfis P2, P5 e P6 da T1 foram classificados como Cambissolos no nível de ordem, por serem de constituição mineral e apresentarem horizonte B incipiente subjacente ao A moderado, bem como por não atenderem aos requisitos para Vertissolo, Chernossolo, Plintossolos e Organossolos (Santos et al., 2013b). No nível de subordem, os perfis P5 e P6 apresentaram caráter flúvico, em função da distribuição errática quanto à granulometria, o que foi observado na análise da relação areia fina e areia grossa e na morfologia de campo. O perfil P2 foi caracterizado como Háplico por exclusão, não atendendo aos atributos para Hístico, Húmico ou Flúvico.

O P1 da T1 foi classificado como Luvisolo no nível de ordem, por apresentar argila de atividade alta e saturação por bases alta na seção de controle (Santos et al., 2013b), com horizonte subsuperficial do tipo B, acompanhado do sufixo “t”, que designa acumulação de argila (Santos et al., 2013a). No nível de subordem, esse perfil foi classificado como Háplico, por não apresentar o caráter crômico, tendo matiz 10R, excluindo-o desse caráter, assim como estabelecido no SiBCS. Esse perfil, no nível de categórico de grande grupo, foi classificado como Órtico por exclusão, enquanto no nível de subgrupo, como típico por exclusão.

Uma proposta de reclassificação do perfil P1 da T1 resultaria na inclusão de um novo item no nível de grande grupo, incluindo os solos que apresentam caráter carbonático ou horizonte cálcico em um ou mais horizontes dentro de 100 cm da superfície, denominando-os como Carbonáticos. Enquanto no nível de subgrupo, poderiam ser adicionados solos que apresentassem mudança textural abrupta. Adotando-se essas definições, o perfil seria classificado como Luvisolo Háplico Carbonático abrupático.

O perfil P4 da T1 foi classificado como Vertissolo no nível de ordem, por apresentar horizonte vértico (Santos et al., 2013b) e atender aos demais critérios estabelecidos pelo SiBCS. No nível de subordem, foi caracterizado como Ebânico, apresentando predomínio de cores escuras na maior parte do horizonte diagnóstico subsuperficial, definido como caráter ebânico (Santos et al., 2013b).

O perfil P3 da T1 apresenta horizonte subsuperficial do tipo “Bi” (B incipiente), com horizonte superficial do tipo A Chernozêmico, associado à alta saturação por bases e atividade da argila, atributos suficientes para identificar o perfil no nível de ordem como Chernossolo.

Os perfis P3, P4, P5 e P6 da T1 foram classificados como Carbonáticos no nível de grande grupo, por apresentarem caráter carbonático e/ou horizonte cálcico, com valores mínimos de 150 g kg⁻¹ de CaCO₃ equivalente em qualquer forma de segregação. Enquanto o perfil P2 foi caracterizado como Eutrófico nesse nível por apresentar saturação por base superior a 50%.

Os perfis P1, P2, P3, P4 e P5 foram classificados como típicos no nível de subgrupo, por exclusão, não atendendo aos critérios estabelecidos pelo SiBCS para as classes anteriores (Santos et al., 2013b).

Tabela 15. Classificação dos horizontes diagnósticos e dos solos.

Perfil	Classes de solos	-----Horizontes diagnósticos-----	
		Superficial	Subsuperficial
Topossequência 1			
P1	LUVISSOLO HÁPLICO Órtico típico	A Moderado	B textural
P2	CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico típico	A Moderado	B incipiente
P3	CHERNOSSOLO HÁPLICO Carbonático típico	A Chernozêmico	B incipiente
P4	VERTISSOLO EBÂNICO Carbonático típico	A Moderado	C vértico
P5	CAMBISSOLO FLÚVICO Carbonático típico	A Moderado	B incipiente
P6	CAMBISSOLO FLÚVICO Carbonático vertissólico	A Moderado	B incipiente
Topossequência 2			
P1	CHERNOSSOLO RÊNDZICO Lítico típico	A Chernozêmico	Contato lítico
P2	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico hipocarbonático	A Moderado	B incipiente
P3	CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático léptico	A Moderado	B incipiente
P4	LUVISSOLO HÁPLICO Órtico típico	A Moderado	B textural

O perfil P6 apresenta o caráter vértico, conforme verificado por meio da análise morfológica e da mineralogia da fração argila, atendendo ao critério vertissólico no nível de subgrupo.

Os perfis P2 e P3 da T2 foram classificados como Cambissolos no nível de ordem, por apresentarem horizonte diagnóstico subsuperficial do tipo B incipiente, e, no nível de subordem, foram denominados Háplicos por exclusão (Santos et al., 2013b).

O P1 da T2 foi classificado como Chernossolo no nível de ordem, tendo horizonte A Chernozêmico sobrejacente à rocha matriz, apresentando nesse horizonte mais que 150 g kg^{-1} de carbonato de cálcio equivalente (Santos et al., 2013b). O perfil foi classificado no nível de subordem como Rêndzico, apresentando contato lítico dentro de 50 cm de profundidade, o que o define em nível de grande grupo como Lítico, sendo classificado no nível de subgrupo típico.

O P4 da T2 atende aos requisitos para a ordem dos Luvisolos, apresentando horizonte subsuperficial B textural associado à argila de atividade alta e elevada saturação por bases (Santos et al., 2013b). No nível de subordem, o perfil seria classificado como Háplico por exclusão.

O perfil P3 da T2 foi classificado como Carbonático no nível de subgrupo, por apresentar o caráter carbonático e/ou horizonte cálcico. Enquanto, o perfil P4 foi identificado como Órtico no nível de grande grupo por exclusão, no entanto o perfil P1 foi caracterizado como Lítico nesse nível por apresentar contato lítico dentro de 50 cm de profundidade. Enquanto o P2 foi caracterizado como Ta Eutrófico por apresentar saturação por base superior a 50 % associado à argila de atividade alta (Santos et al., 2013b).

Os perfis P1 e P4 da T2 foram classificados no nível de subgrupo como típicos, por exclusão, segundo a hierarquização propostas pelo SiBCS.

Os perfis P2 e P3 da T2 apresentam contato lítico dentro de 50-100 cm de profundidade, sendo caracterizados como Lépticos, no entanto o P2 apresenta o caráter hipocarbonático, recebendo adicionalmente a designação hipocarbonático no nível de subgrupo.

3.6. CONCLUSÕES

O relevo, material de origem e o clima foram os fatores de formação mais determinantes na pedogênese desses solos.

Os solos das duas topossequências apresentaram elevados teores da fração silte, o que está relacionado com resíduos do calcário que compõem essa faixa do Grupo Bambuí. Todos os solos apresentaram elevados teores de cálcio e magnésio, associados aos elevados valores de pH.

Os solos estudados apresentaram baixo grau de desenvolvimento pedogenético, seguido de pouca espessura.

Os processos pedogenéticos mais expressivos nos solos que compõem as duas topossequências foram os de calcificação e melanização.

O caráter carbonático ou horizonte cálcico devem ser incluídos no nível de grande grupo na classe dos Chernossolos Rêndzicos e Luvisolos Háplicos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, pois neste estudo o perfil P4 da T2 apresentou elevado teor de carbonato de cálcio e, mesmo assim, foi classificado como “Órticos” nesse nível, omitindo essa característica que é de grande relevância no aspecto de manejo.

A utilização do sufixo “r” deve ser revista no Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo, pois esse atributo tem sido descrito como de uso exclusivo para o horizonte ou camada C, sendo que se pode omitir essa característica para os demais horizontes, assim como caracterizado no perfil P1 da topossequência T2.

4. CAPÍTULO II

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS ANALÍTICOS DE SOLOS CALCÁRIOS DO GRUPO BAMBUÍ, ESTADO DO TOCANTINS

4.1. RESUMO

Os solos calcários representam uma fração significativa das áreas com potencial para agricultura do país, porém são solos que apresentam atributos diferenciados, tais como: elevados teores de cálcio, magnésio, carbonatos e altos valores de pH, o que pode resultar em menor eficiência de procedimentos analíticos de rotina. A maioria dos métodos utilizados no Brasil segue as recomendações preconizadas pela Embrapa, entretanto têm sido empregados de maneira generalizada para uma gama de solos tropicais que apresentam características diversas. Desse modo, o estudo de métodos analíticos para mensurar atributos de solos derivados de calcários é importante, principalmente relacionado aos métodos de determinação de fósforo (P) disponível, carbonato de cálcio, carbono orgânico e a análise granulométrica. Esse trabalho teve como objetivo comparar métodos analíticos utilizando amostras de solos calcários da região sudeste do estado do Tocantins. Foram utilizados dez perfis de solos classificados como Luvisolo Háptico Órtico típico, Cambissolo Háptico Carbonático típico, Chernossolo Háptico Carbonático típico, Vertissolo Ebânico Carbonático típico, Cambissolo Flúvico Carbonático típico, Cambissolo Flúvico Carbonático vertissólico, Chernossolo Rêndzico Lítico típico, Cambissolo Háptico Carbonático típico, Cambissolo Háptico Carbonático léptico e Luvisolo Háptico Órtico típico, conforme estabelecido pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2013b). As hipóteses foram testadas a partir do cálculo do intervalo de confiança a 95% para os coeficientes lineares e angulares das regressões. Alguns resultados foram submetidos à análise estatística de variância (Teste t), correlação por Pearson, análise de componentes principais (ACP), boxplots e histogramas. Observou-se que a solução extratora duplo-ácida (Mehlich-1) superestima o teor de P disponível, contrastante ao método que utiliza uma solução extratora alcalino tamponada (Olsen et al., 1954), a qual corresponde à mais eficiente na extração de P-disponível para solos com pH elevado. Por outro lado, o método de determinação de carbonato de cálcio (CaCO_3) proposto pela Donagemma et al. (2011) deve ser reavaliado, pois subestima o teor de CaCO_3 , sendo necessário ajustes nos procedimentos analíticos e equações utilizadas, conforme detalhado neste trabalho. A utilização do hidróxido de sódio como dispersante químico mostrou-se mais eficiente na determinação da fração argila quando comparado ao hexametáfosfato de sódio. O método de determinação de carbono orgânico proposto por Yeomans e Bremner (1988) foi mais eficiente quando comparado ao método proposto por Donagemma et al. (2011), com valores mais próximos aos da análise elementar (CHNS-O) em amostras pré-tratadas com solução ácida.

Palavras-chave: Análises de solos. Carbono orgânico. Carbonatos. Fósforo. Argila.

4.2. ABSTRACT

The calcareous soils represent a significant fraction of the areas with potential for agriculture in Brazil, but these soils have distinct attributes, such as high calcium, magnesium, carbonates and high pH values, which can result in lower efficiency of routine analytical procedures. Most methods used in Brazil follows the recommendations by Embrapa, however they have been used in a generalized way for a range of tropical soils with different characteristics. Thus, the study of analytical methods for determination of calcareous soils attributes is important, particularly related to available phosphorus (P) determination, calcium carbonate, organic carbon and particle size analysis. This study aimed to compare analytical methods using calcareous soil samples from the southeastern region of Tocantins State. Ten soil profiles were used, and they were classified as *Luvissolo Háplico Órtico típico*, *Cambissolo Háplico Eutrófico típico*, *Chernossolo Háplico Carbonático típico*, *Vertissolo Ebânico Carbonático típico*, *Cambissolo Flúvico Carbonático típico*, *Cambissolo Flúvico Carbonático vertissólico*, *Chernossolo Rêndzico Lítico típico*, *Cambissolo Háplico Ta Eutrófico léptico hipocarbonático*, *Cambissolo Háplico Carbonático léptico* and *Luvissolo Háplico Órtico típico*, according to Brazilian System of Soil Classification (Santos et al., 2013b). The hypotheses were tested by calculating the confidence interval of 95% for linear and angular coefficients of regressions. Some results were subjected to statistical analysis of variance (t test), correlation by Pearson, principal component analysis (PCA), box plots and histograms. It was observed that the double acid extraction solution (Mehlich-1) overestimates the P content available in contrast to the method using a buffered alkaline extraction solution (Olsen et al., 1954), which corresponds to the more efficient the extraction P-available for soils with high pH. Moreover, the method of determining calcium carbonate (CaCO_3) proposed by Donagemma et al. (2011) should be reevaluated, since it underestimates the CaCO_3 content, requiring adjustments of the analytical procedures and the equations used, as is detailed in this study. The use of sodium hydroxide as chemical dispersant was more efficient in determining the clay fraction, compared to sodium hexametaphosphate. The method for determining organic carbon proposed by Yeomans and Bremner (1988) was more efficient when compared to the method proposed by Donagemma et al. (2011), with values near the elemental analysis (CHNS-O) for samples pretreated with an acid solution.

Keywords: Analysis of soils. Organic carbon. Carbonates. Phosphorus. Clay.

4.3. INTRODUÇÃO

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos-SiBCS, para a sua estruturação, tem como base o emprego de atributos morfológicos, químicos, físicos e mineralógicos e horizontes diagnósticos, que são utilizados como propriedades diferenciais para a criação dos diferentes níveis de hierarquização.

A maioria dos métodos analíticos utilizada no país segue as recomendações preconizadas pela Embrapa, porém esse método tem sido empregado de maneira generalizada para uma gama de solos que apresenta características diversas.

Ademais, os solos de natureza calcária representam uma fração significativa das áreas com potencial para agricultura do país e apresentam atributos diferenciados, tais como: elevados teores de cálcio, magnésio, carbonatos e valores de pH, podendo resultar em menor eficiência de determinados procedimentos analíticos.

Dessa forma, torna-se importante o estudo de métodos analíticos para determinação de atributos do solo, que poderão ser utilizados para fins de classificação, recomendação de adubação e manejo ambiental. Dentre as principais limitações dos métodos para solos calcários, destacam-se as de determinação de fósforo disponível, carbonato de cálcio equivalente, carbono e a análise granulométrica da terra fina.

No Brasil, tem-se preconizado no Manual de Métodos de Análises de Solos, Donagemma et al. (2011), a utilização de solução extratora duplo-ácida (Mehlich-1) para determinação de fósforo disponível, o que resulta na superestimativa dos teores de fósforo em solos calcários. Entretanto, a utilização de solução alcalina tamponada (Olsen) pode ser uma alternativa para solos que apresentam elevados teores de carbonatos.

O método de determinação de carbonato de cálcio proposto por Donagemma et al. (2011) tem subestimando os teores de carbonatos em função do tempo de aquecimento da amostra e da concentração de ácido clorídrico utilizada na reação.

O método de determinação de carbono proposto por Donagemma et al. (2011) segue o princípio de oxidação úmida, entretanto carece de ajustes quanto aos procedimentos analíticos. Enquanto o método de determinação pelo analisador elementar (CHNS/O), considerado como de referência, quantifica o carbono total, ou seja, o somatório do carbono orgânico e inorgânico com valores que oscilam em função da quantidade de carbonato da amostra, o que inviabiliza a determinação do carbono de origem orgânica, sem que seja realizado pré-tratamento das amostras.

Os solos calcários, de modo geral, apresentam elevados teores de cálcio e magnésio, o que resulta na instabilidade da suspensão em uma das etapas da análise granulométrica, sugerindo a necessidade do estudo de uma solução eficiente para estabilizar a suspensão das partículas, de modo a aumentar a acurácia do método.

4.4. MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1. Localização da área de estudo e amostragem

Foram utilizadas amostras dos horizontes das topossequências apresentadas no capítulo 1. As amostras foram expostas ao ar, destorroadas e tamisadas em peneira de malha de 2 mm; em seguida, realizado o emprego dos procedimentos analíticos.

4.4.2. Determinação de fósforo disponível

a) Fósforo extraível por solução duplo-ácida (Mehlich – 1)

Foram utilizados 10 cm³ de terra fina seca ao ar, adicionando-se 100 ml de solução extratora duplo-ácida, composta pela mistura de HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹, seguido de leitura no espectômetro digital, utilizando o princípio de colorimetria após a redução do complexo fosfomolibídico com ácido ascórbico em presença de sal de bismuto (Donagemma et al., 2011).

b) Fósforo extraível com solução alcalina tamponada (Olsen)

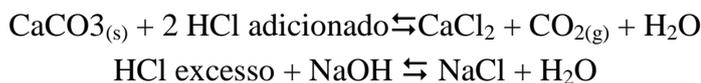
Foram utilizados 2,5 cm³ de terra fina seca ao ar, adicionando 50 ml de solução extratora com NaHCO₃ a pH 8,5, com relação solo:extrato de 1:20; em seguida, fez-se aleitura no espectômetro digital após a redução do complexo fosfomolibídico com ácido ascórbico em presença de sal de bismuto(Olsen et al., 1954).

4.4.3. Determinação de carbonato de cálcio

a) Equivalente de carbonato de cálcio – Embrapa

O carbonato de cálcio foi determinado a partir do ataque da terra fina seca ao ar com excesso de solução de HCl, seguido de titulação do ácido excedente com solução de NaOH padrão. A diferença da quantidade adicionada e a titulada representa o percentual de CaCO₃ da amostra (Donagemma et al., 2011).

Reação:



Cálculo:

$$\frac{\text{CaCO}_3 \text{ (g.kg}^{-1}\text{)}}{p} = (a \times 2 - b) \times 12,5$$

a= ml de HCl 0,5 mol L⁻¹

b= ml de NaOH 0,25 mol L⁻¹

p= solo em gramas

b) Equivalente de carbonato de cálcio – Embrapa modificado

Determinado a partir de modificação do método de Donagemma et al. (2011). A determinação do teor de carbonato segue o mesmo princípio (alcalimetria) do método proposto por Donagemma et al. (2011), porém com algumas alterações. Em vez de manter cinco minutos sob fonte externa de calor, foi mantido durante 10 minutos sob temperatura de 250 °C, além de submetido ao novo cálculo, considerando a normalidade das soluções envolvidas.

c) Equivalente de carbonato de cálcio-macerado

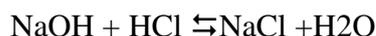
Determinado a partir do método da Donagemma et al. (2011), com alteração no cálculo. A determinação do carbonato de cálcio seguiu exatamente os procedimentos do método da Embrapa, porém com reformulação nos cálculos (modificado de Nobre et al., 2005), considerando a normalidade das soluções.

d) Equivalente de carbonato de cálcio- 2mm

Determinado a partir do método de Donagemma et al. (2011), utilizando-se amostra macerada e cálculo reformulado. A determinação do carbonato de cálcio contido na amostra segue o proposto por Donagemma et al. (2011), sendo utilizadas amostras submetidas à maceração e tamisação em peneira de 80 mesh, seguido de ataque com HCl e titulação do excedente com solução de NaOH. Considerando a normalidade das soluções.

Padronização das soluções

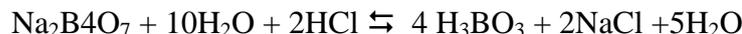
Padronização da solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹ com solução HCl padronizada (padrão secundário).



- Pipetar 25,00 mL da solução padrão HCl de concentração exata e conhecida (padrão secundário) para erlenmeyer de 250 mL.
- Adicionar 3-4 gotas de indicador fenolftaleína 0,1% (m/v).
- Titular com solução de NaOH 0,1 mol/L que se deseja padronizar, gota a gota, até que a solução se torne levemente rosada.
- Anotar o volume gasto de HCl (V_L).
- Determinar a concentração molar exata da solução de NaOH.
- Cálculo de padronização da solução titulante:

$$(\text{MVL})_{\text{titulante}} = 1 (\text{MV})_{\text{titulado}}$$

Padronização da solução de HCl 0,1 mol L⁻¹ (padrão primário) com solução padrão de bórax:



- Pipetar 25,00 mL da solução padrão de bórax de concentração (0,05 mol L⁻¹) conhecida (padrão secundário) em erlenmeyer de 250 mL.
- Adicionar 3-4 gotas de indicador vermelho de metila 0,1% (m/v).
- Titular com solução de HCl 0,1 mol L⁻¹ que se deseja padronizar, até que a solução mude da cor amarela para vermelho alaranjado.
- Anotar o volume gasto de HCl.
- Determinar a concentração molar exata da solução de HCl.
- Cálculo de padronização da solução titulante:

$$(\text{MVL})_{\text{titulante}} = 2 (\text{MV})_{\text{titulado}}$$

Cálculo de determinação de carbonato de cálcio

$$\begin{aligned} M_{\text{NaOH}} \times V_3 &= n_{\text{NaOH}} = 1_{\text{nHCl em excesso}} \\ n_{\text{HCl adicionado}} &= M_{\text{HCl adicionado}} \times V_{\text{alíquota de HCl}} \\ n_{\text{HCl adicionado}} - n_{\text{HCl em excesso}} &= n_{\text{HCl que reagiu}} \\ n_{\text{CaCO}_3} = n_{\text{CaO}} &= 1/2 n_{\text{HCl que reagiu com calcário}} \end{aligned}$$

CaCO₃:

$$m_{\text{CaCO}_3} (\text{g}) = n_{\text{CaCO}_3} (\text{mmol}) \times \text{M.M.}_{\text{CaCO}_3} (\text{g mmol}^{-1})$$

4.4.4. Análise granulométrica

a) Composição granulométrica da terra fina (Hidróxido de Sódio)

As amostras foram dispersas com solução de NaOH 1 mol L⁻¹ e agitadas durante 16 horas. O teor de argila foi determinado por suspensão pelo método da pipeta (Day, 1965). As frações areia grossa e areia fina foram separadas por tamisação, com peneiras de malha de 0,2 mm e 0,053 mm, enquanto o silte foi obtido por diferença.

b) Composição granulométrica (Hexametáfosfato de sódio)

As amostras foram dispersas com solução de hexametáfosfato de sódio 1 mol L⁻¹ e agitadas durante 16 horas. O teor de argila foi determinado por suspensão pelo método da pipeta (Day, 1965). Os demais procedimentos seguem o método proposto por Donagemma et al. (2011).

4.4.5. Carbono orgânico e carbono total

a) Carbono orgânico via combustão úmida

- Carbono orgânico determinado pelo método de Donagemma et al. (2011)-WB

As amostras foram maceradas em geral e tamisadas em peneira de 80 mesh, em seguida foram adicionados 0,5 g de cada amostra em erlenmeyer de 250 ml, pipetado 10 mL de dicromato de potássio a $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ e aquecido durante 5 min à temperatura de 170°C . Posteriormente, esse conjunto foi mantido nessa temperatura durante 15 min, e acrescentados 80 mL de água deionizada, 1 mL de ácido ortofosfórico e 3 gotas de difenilamina a 10 g L^{-1} . Após essa etapa, foi realizada a titulação com solução de sulfato ferroso amoniacal $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. Esse mesmo procedimento foi realizado em uma prova em branco com 10 mL do dicromato de potássio.

- Carbono orgânico determinado pelo método de Yeomans e Bremner (1988)-YB

As amostras foram maceradas e tamisadas em peneira de 60 mesh, em seguida foi adicionado 0,3 g da amostra em erlenmeyer de 250 mL seguido de 5 mL da solução de dicromato de potássio $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ e 7,5 ml de ácido sulfúrico concentrado, levado à placa aquecedora à temperatura de 170°C durante 30 min, com condensador. Após 15 min à temperatura ambiente, foram adicionados 80 mL de água deionizada, 0,3 mL de ferroin, em seguida titulado com sulfato ferroso amoniacal $0,2 \text{ mol L}^{-1}$. Foram utilizados seis controles (provas em branco), sem adição da terra fina, compostos pela solução de dicromato e ácido sulfúrico, com três brancos aquecidos e três sem aquecimento.

b) Carbono orgânico via combustão seca

- Carbono total (CHNS/O) – CT

As amostras foram maceradas e tamisadas em peneira de 100 mesh, em seguida submetidas à combustão em analisador elementar PerKin Elmer 2400 CHNS/O, utilizando-se amostras de 10 mg. Para tanto, foi utilizada a acetanilida (C=71,09 %, H=6,71 %, N=10,36 %) como padrão de referência.

- Carbono “orgânico” (pré-tratado e macerado) –PT

As amostras de terra fina foram pré-tratadas com ácido clorídrico (HCl) na concentração de $0,50 \text{ mol L}^{-1}$, em seguida maceradas e tamisadas em peneira de 100 mesh para quantificação do carbono no CHNO.

- Carbono “orgânico” (macerado, pré-tratado e tamisado) – MPT

As amostras de terra fina foram maceradas, pré tratadas com HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$, em seguida maceradas e tamisadas em peneira de 100 mesh, para quantificação do carbono no CHNO.

4.4.6. Análise estatística

As hipóteses foram testadas a partir do cálculo dos intervalos de confiança a 95% para os coeficientes lineares e angulares das regressões. Alguns resultados foram submetidos à análise estatística de variância (Teste t), correlação por Pearson, análise de componentes principais (ACP), boxplots e histogramas a partir do *software* Action 2.8 (Equipe Statcamp, 2014).

4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1. Determinação dos teores de fósforo

A dispersão dos pontos ao longo da reta (Figura 30) apresenta moderada amplitude de variação, resultando em um coeficiente de determinação (R^2) de 0,57, de modo que os teores de fósforo “disponível” foram obtidos a partir dos métodos de Olsen e Mehlich-1. Os teores de fósforo (P) variaram de 0 a 95 mg kg^{-1} com a solução Mehlich-1 e de 2 a 33 mg kg^{-1} com a solução de Olsen.

De modo geral, os valores de fósforo determinados por Mehlich-1 foram mais elevados, em decorrência dos extratores ácidos dissolverem formas de baixa labilidade de P (Novaes et al., 2007). Sendo que o fósforo ligado ao cálcio, assim como o P adsorvido de forma específica nos óxidos de ferro e alumínio, são quantificados com uso de extrator de natureza ácida (Mello e Perez, 2009).

Ao estudar solos calcários da Serra da Bodoquena, Silva (2013) observou valores mais expressivos de P quando utilizada a solução duplo-ácida, corroborando com resultados apresentados neste estudo.

O ajuste matemático foi expresso pela equação $y=0,163x + 2,44$, em que (y) representa o teor de fósforo determinado por Olsen, e (x), o P determinado por Mehlich-1, ambos expressos em mg kg^{-1} . Esse modelo demonstra a relação entre os dois métodos, resultando em um coeficiente de correlação por Pearson de 0,76 (Tabela 16), significativo a 5% de probabilidade.

Os teores de P determinados por Mehlich são, em geral, mais elevados (Figura 29). Entretanto, apresentam cinco outliers, sendo os com valores acima de 78 mg kg^{-1} .

Os valores de P determinados pelo método Mehlich-1 apresentaram maior dispersão, quando comparado ao método de Olsen, sendo que, para esse último, menos expressivos, com três outliers com valores acima de 17 mg kg^{-1} .

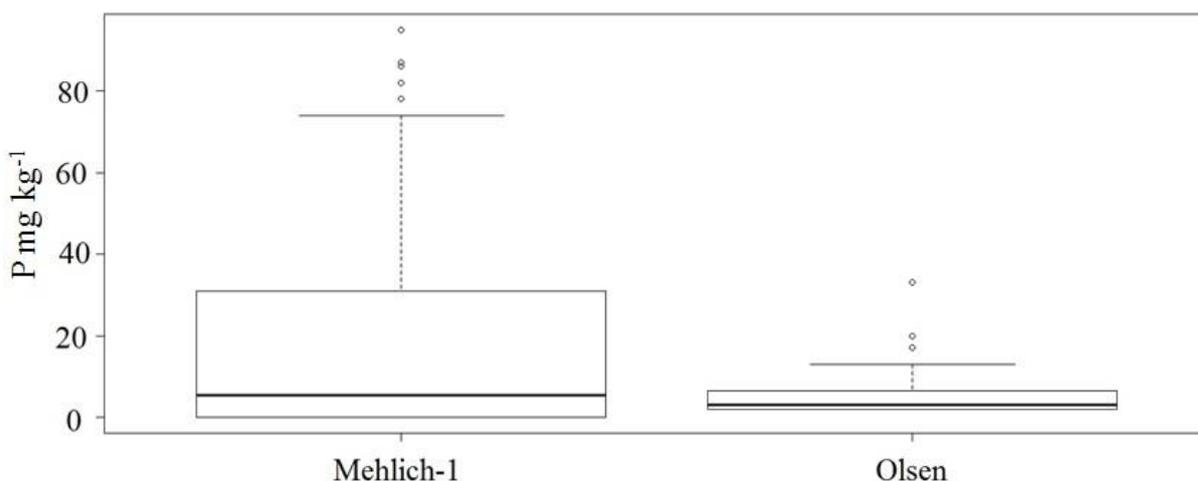


Figura 29. Teores de fósforo em função dos métodos analíticos utilizados. .

Com o emprego do método Mehlich-1, que utiliza solução extratora ácida, foram obtidos os maiores teores de fósforo, possivelmente se quantificando as formas não lábeis e superestimando o teor de fósforo disponível do solo. Alguns autores constaram que extratores de natureza ácida superestimam conteúdos de fósforo em áreas onde foi aplicado fosfato natural, conseqüentemente em decorrência da extração de formas de P não lábeis (Silva e Raij, 1999).

Ao estudar solos onde foi aplicado fosfato natural no Cerrado, Santos e Kliemann (2005) mencionam a extração do fosfato de cálcio contido no solo a partir do uso de extrator ácido. Esse padrão é similar ao observado em solos de natureza calcária, nos quais são quantificadas formas de P não lábeis, tais como fosfato de cálcio e fosfato bi-cálcio.

Além disso, os extratores ácidos dissolvem predominantemente o P ligado ao cálcio e quantidades menores de P ligado ao ferro e alumínio, em função da solubilidade dos fosfatos; sendo assim, essas soluções são menos indicadas para solos com predomínio de caulinita, óxidos de ferro e alumínio na fração argila (Silva e Van Raiji, 1999; Novais et al., 2007).

A forma e a labilidade do P no solo envolvem os mecanismos de adsorção e precipitação. Com a adsorção, o fósforo é retido na superfície dos oxidróxidos de ferro, alumínio e aluminossilicatos por meio de troca de ligantes. Enquanto a precipitação resulta da reação entre íons, seguida da formação de uma nova fase ou composto definido (Novaes et al., 2007). Essas reações controlam a solubilidade e disponibilidade do P para as plantas, assim como o padrão dos extratores na determinação do P disponível.

A disponibilidade do P envolve alguns atributos do solo, porém o teor de fósforo determinado pelas duas soluções extradoras não apresenta correlação com o teor de argila, carbonato de cálcio (CaCO_3), pH em água, teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Outrossim, Braida et al. (1996) destacam a relação do Mehlich-1 com o teor de argila, discordando do que foi observado neste estudo.

A partir da matriz de correlação, foi possível observar que o teor de argila teve relação inversa com o carbonato de cálcio, pH do solo e magnésio. Entretanto, não apresentou correlação com o cálcio. Sendo que, ao estudar solos do Semiárido do nordeste brasileiro, Pereira et al. (1998) atribuíram à relação da sorção máxima com o pH do solo associado aos teores de Ca e Mg.

Os teores de carbonato de cálcio apresentaram alta correlação com os valores de pH, contrastante aos demais atributos. Para os valores de pH, verificou-se correlação positiva com o cálcio, diferentemente do observado para o magnésio.

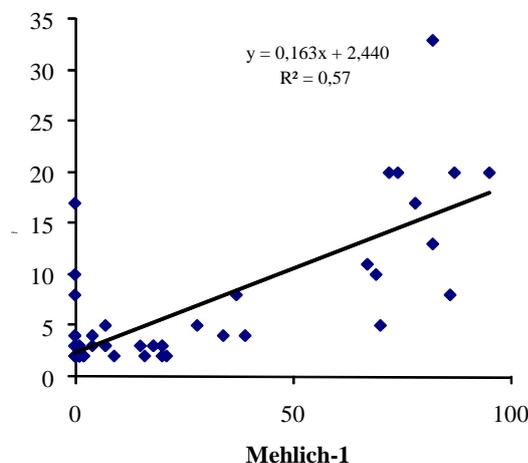


Figura 30. Diagrama de dispersão entre os métodos de determinação de fósforo.

Tabela 16. Matriz de correlação de métodos de determinação de fósforo e alguns atributos do solo.

	P-mehlich	P-olsen	Argila	Eq.CaCO ₃	pH-H ₂ O	Ca	Mg
P-Mehlich	1	0,759	0,063	-0,199	-0,127	0,231	-0,052
P-Olsen		1	0,244	-0,104	-0,194	0,197	-0,071
Argila			1	-0,483	-0,382	-0,181	-0,335
Eq.CaCO ₃				1	0,814	0,144	0,256
pH-H ₂ O					1	0,476	0,253
Ca						1	0,072
Mg							1

Em negrito, são apresentados os valores significativos a 5% de probabilidade.

Os resultados da análise de componentes principais (ACP) dos métodos de determinação de P e alguns atributos do solo são apresentados na Figura 31, na qual o somatório dos eixos F1 e F2 explicam 62,77% dos resultados, sendo que o eixo F1, 36,74%, e o eixo F2, 26,03 %.

Conforme ilustrado na ACP e na matriz de correlação, os dois métodos apresentaram correlação positiva ($p \leq 0,05$), apesar de os resultados do método Mehlich-1 extraírem maiores quantidades de fósforo do solo.

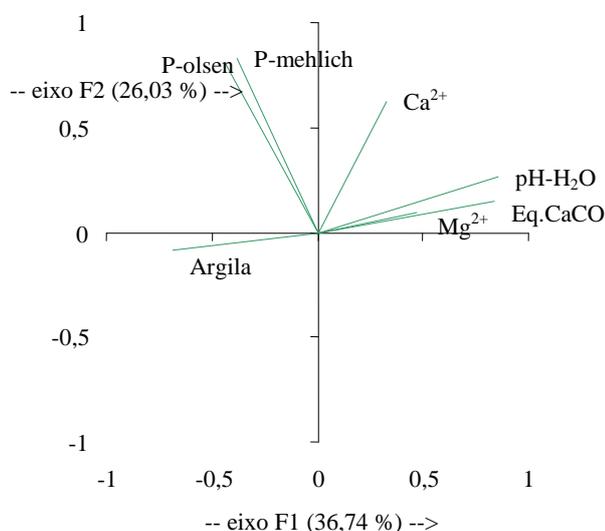


Figura 31. Análise dos componentes principais dos métodos de determinação de fósforo e alguns atributos do solo.

4.5.2. Equivalente de carbonato de cálcio

A Figura 32 representa a relação entre os métodos da Embrapa com modificação referente a procedimentos. O diagrama demonstra dispersão dos pontos ao longo da reta, resultando no coeficiente de determinação (R^2) de 0,84, significativo a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

O método modificado apresentou valores mais altos de carbonato de cálcio, possivelmente resultantes da maior temperatura utilizada na chapa aquecedora e tempo de aquecimento, gerando maior homogeneidade das amostras e catálise da reação.

Acredita-se que parte do carbonato na forma de calcita e os microagregados foram quantificados com o emprego desses procedimentos, além da correção pelo uso de soluções padronizadas com valores inseridos no cálculo. A solução de NaOH (base forte) é susceptível à absorção de CO₂ presente no ar atmosférico (carbonatação), sendo necessária a padronização da normalidade. Quanto ao grau de pureza do ácido clorídrico, segue-se o mesmo princípio para padronização, no sentido de avaliar o grau de contaminação em busca da normalidade real.

Alguns solos estudados por Chaves (2010), no Haiti, apresentaram conteúdos superiores a 80 g kg⁻¹ de carbonato de cálcio (CaCO₃), porém não apresentando efervescência ao ácido na reação sem aquecimento, devido a estarem fortemente cristalizados.

Na figura 33, é apresentada a relação entre os métodos da Embrapa com a amostra macerada e o método de Donagemma et al. (2011) sem alterações. O diagrama demonstra dispersão dos pontos ao longo da reta, resultando em um coeficiente de determinação (R²) de 0,96, significativo a 5% de probabilidade. O método que utiliza a amostra macerada apresentou valores mais altos de carbonato de cálcio, quando comparado ao método da Embrapa sem alteração.

A redução do tamanho das partículas por efeito de maceração das amostras aumenta a superfície específica, o que favorece a reação com o ácido, resultando na maior solubilidade e na quantificação de maiores conteúdos de carbonato.

A baixa eficiência da reação do ácido com partículas do solo foi verificada por Chaves (2010), sendo que o carbonato contido nas amostras se encontrava altamente cristalizado, ao ponto de não reagir com o ácido quando colocado em contato com a TFSA.

A relação dos métodos de Donagemma et al. (2011) e Embrapa com alterações no cálculo é apresentada na Figura 34 a partir do diagrama de dispersão dos pontos ao longo de uma reta, apresentando coeficiente de determinação de 0,91 (p ≤ 0,05).

Os valores de carbonato de cálcio determinados pelo método padrão da Embrapa com alterações no cálculo apresentaram menor amplitude de variação, com valores de 124 a 245 g kg⁻¹ de CaCO₃, devido à alteração da normalidade das soluções, pois o método da Donagemma et al. (2011) propõe a padronização da solução de ácido clorídrico, mas não a insere no cálculo. Enquanto isso, o método padrão apresentou valores de 6 a 282 g kg⁻¹ de CaCO₃, quase sempre inferiores aos observados no método com alteração do cálculo.

Na Figura 35, é apresentada a relação entre os métodos da Embrapa com amostra macerada e o método da Embrapa modificado. O diagrama demonstra a dispersão dos pontos ao longo da reta, resultando em coeficiente de determinação (R²) de 0,77 (p ≤ 0,05). O método que utiliza as amostras maceradas apresentou menores valores de carbonato de cálcio, quando comparado ao método da Embrapa com as modificações.

A relação entre os métodos da Embrapa com modificação nos procedimentos e o método padrão com alteração no cálculo são apresentados na Figura 36. Verifica-se a dispersão dos pontos ao longo de uma reta, sendo observado coeficiente de determinação de 0,86 (p ≤ 0,05).

Os valores de carbonato de cálcio determinados pelo método com a alteração da temperatura apresentaram-se mais elevados, o que sugere que o aumento da temperatura favoreceu o aumento da eficiência do método. Uma possível explicação para esse resultado pode ser atribuída à quantificação dos teores de carbonato de cálcio em formas com um maior grau de cristalinidade, comum em solos que apresentam calcita, aragonita e dolomita.

O cálcio precipita na forma de carbonatos, resultando na formação de minerais como calcita e aragonita (CaCO₃) (Mello e Perez, 2009) e apresentam diferentes graus de

crystalinidade (Zanardo e Marques Jr, 2009). Analogamente, o magnésio precipita na forma de magnesita ($MgCO_3$) e pode precipitar na forma de dolomita ($CaMg (CO_3)_2$) (Mello e Perez, 2009). Todos esses minerais são fontes de carbonatos e podem ser quantificados a partir de procedimentos analíticos.

Na Figura 37, é apresentada a relação entre o método que utiliza amostra macerada e a TFSA. O diagrama demonstra dispersão dos pontos ao longo da reta, resultando em um coeficiente de determinação (R^2) de 0,86 ($p \leq 0,05$).

Por meio do procedimento utilizando amostra macerada, foram quantificados valores de até 436 g kg^{-1} de carbonato de cálcio, o que é resultante da diminuição do tamanho das partículas e aumento da superfície específica, favorecendo a reação do ácido com o carbonato.

Todos os métodos estão fortemente relacionados entre si (Tabela 17). Entretanto, com o emprego do método da Embrapa modificado, foram quantificados maiores teores de carbonato de cálcio das amostras, o que sugere maior eficiência do método.

Tabela 17. Matriz de correlação de métodos de determinação de carbonato decálcio.

	Donagemma et al. (2011)	Embrapa Mod.	Macerado	2mm
Donagemma et al. (2011)	1	0,92	0,98	0,96
Embrapa mod.		1	0,88	0,93
Macerado			1	0,93
2mm				1

Em negrito, são apresentados os valores significativos a 5% de probabilidade.

O método proposto por Donagemma et al. (2011) apresenta bons resultados para amostras com baixos conteúdos de carbonato, desde que ajustado à equação empregada para o cálculo dos teores de carbonato com as devidas padronizações.

Para amostras que apresentam elevados teores de carbonato de cálcio, o que pode ser inferido a partir do teste de efervescência, é que se deve aumentar a concentração da solução com ácido clorídrico, assim como a do titulante (NaOH), podendo ser reduzida a quantidade da amostra a ser utilizada, mantendo-se a relação de 1:20.

Os procedimentos de maceração da amostra e tamisação em peneira de 80 mesh, com objetivo de uma melhor quantificação dos teores de carbonato de cálcio, devem ser recomendados, pois o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2013b) utiliza esse atributo químico como diagnóstico, no qual é descrito que se admite qualquer forma de nódulos (Figura 38) ou concreções para designar os caracteres carbonático e hipocarbonático, assim como para a identificação dos horizontes diagnósticos cálcico e petrocálcico.

Entretanto, os métodos nos quais se recomenda a utilização da TFSA podem subestimar os teores de carbonato, pois sem que haja a maceração das amostras, o carbonato na forma de concreções e nódulos deixa de ser quantificado, o que leva à subestimativa de seus valores. Em função do exposto, o método que até então tem sido utilizado no Brasil apresenta limitações nesse aspecto, o que pode estar contribuindo para uma subestimativa dos reais teores de carbonato de cálcio e consequentemente erros na classificação de solos.

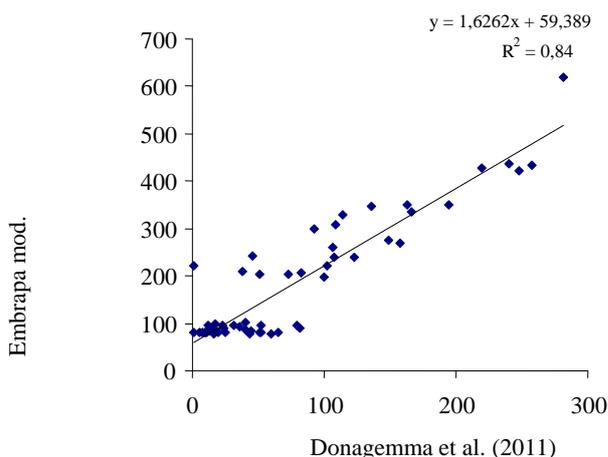


Figura 32. Diagrama de dispersão entre os métodos da Embrapa modificado (recalculado) e Donagemma et al. (2011).

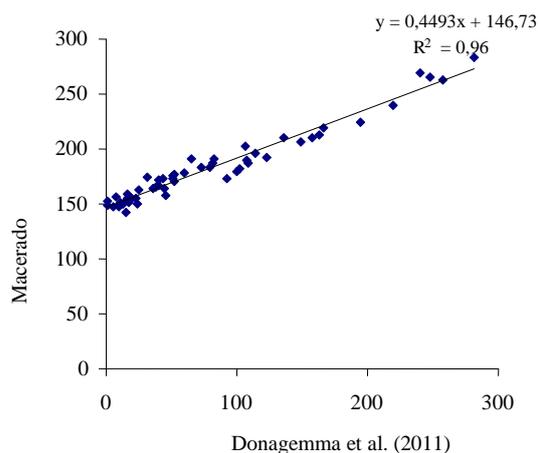


Figura 33. Diagrama de dispersão entre os métodos da Embrapa com amostra macerada (recalculado) e Donagemma et al. (2011).

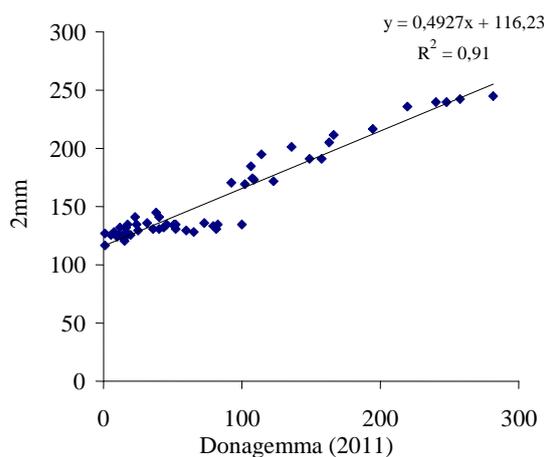


Figura 34. Diagrama de dispersão entre os métodos da Embrapa com TFSA (2 mm) (recalculado) e Donagemma et al. (2011).

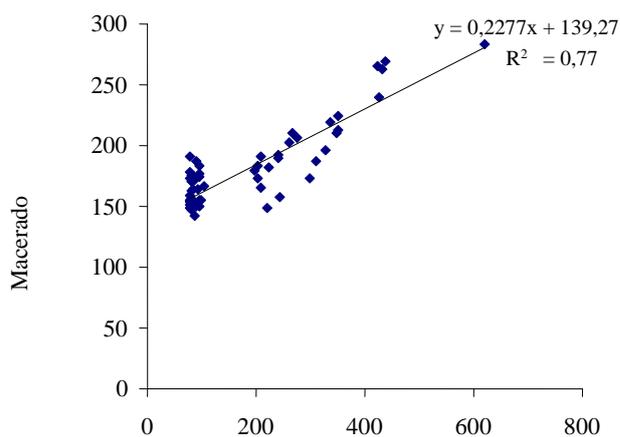


Figura 35. Diagrama de dispersão entre os métodos da Embrapa com amostra macerada e Embrapa modificado, ambos recalculados.

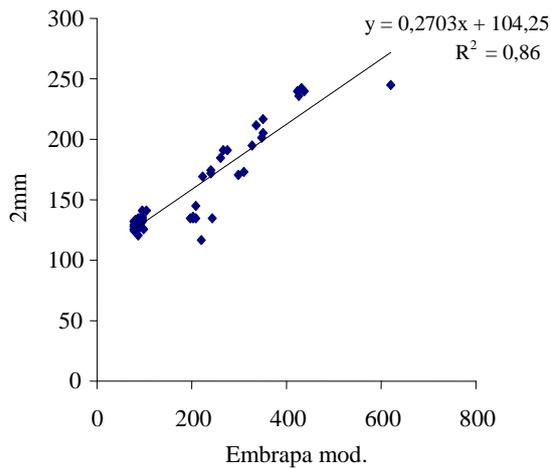


Figura 36. Diagrama de dispersão entre os métodos da Embrapa com TFSA (2 mm) e Embrapa modificado, ambos recalculados.

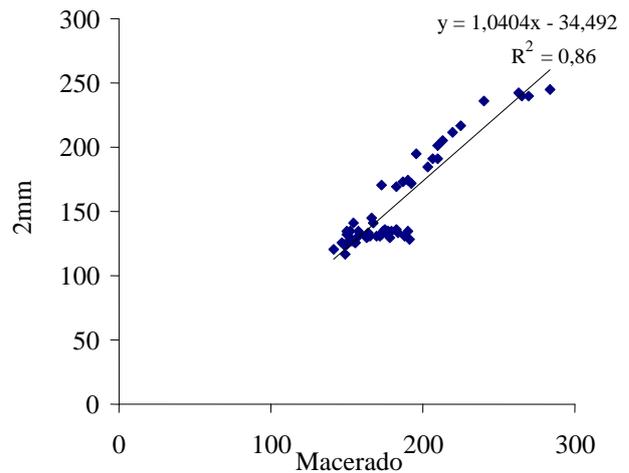


Figura 37. Diagrama de dispersão entre os métodos da Embrapa com TFSA (2 mm) e Embrapa com amostra macerada, ambos recalculados.



Figura 38. Nódulo de calcita na amostra após o ataque ácido na determinação do carbonato de cálcio.

Os teores de carbonato de cálcio determinados pelo método M3 foram os mais elevados, apresentando três valores discrepantes, sendo o menor outlier de 280 g kg^{-1} (Figura 39), seguido do M4, que apresenta apenas um outlier com valor aproximado de 250 g kg^{-1} , ambos com a menor dispersão do conjunto de dados. Enquanto isso, o método M1 apresentou os menores valores entre os métodos, seguido de três outliers, com valores próximos a 270 g kg^{-1} . Sobretudo, o método M2 apresentou maior dispersão dos pontos, seguido pelo método M1.

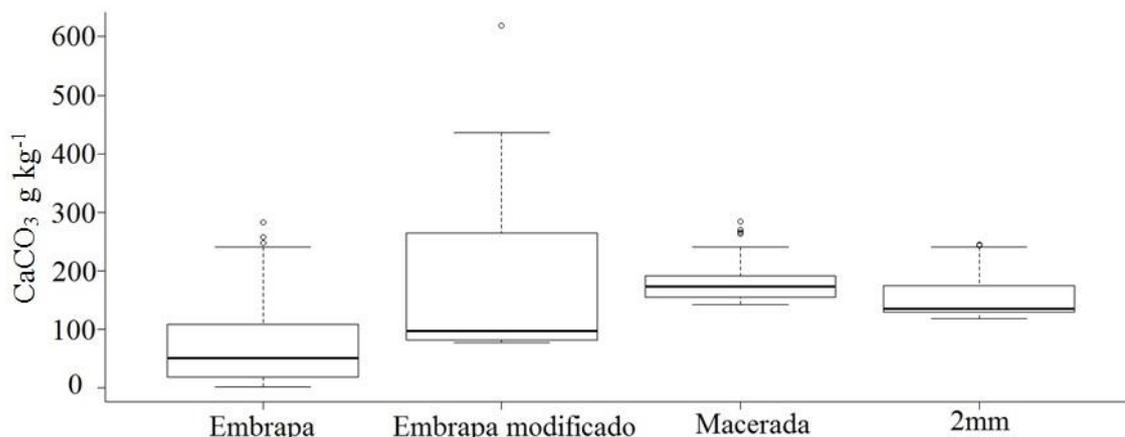


Figura 39. Teores de carbonato de cálcio em função dos métodos utilizados.

4.5.3. Análise granulométrica

Na Figura 41, é apresentada a dispersão dos pontos ao longo da reta, a qual se mostra com alta amplitude de variação, resultando em um coeficiente de determinação (R^2) de 0,53, o que advém dos teores de argila obtidos a partir da utilização de dois dispersantes químicos. Contudo, esse padrão é resultante da variação entre horizontes, assim como de perfis de solo, com teores de argila variando de 40 a 460 g kg⁻¹, utilizando hexametáfosfato de sódio, e 170 a 530 g kg⁻¹ para hidróxido de sódio.

Os teores de argila determinados utilizando a solução de hidróxido de sódio são, em geral, maiores que os teores determinados a partir da solução de hexametáfosfato (Figura 40). Entretanto, os dois extratores apresentaram padrões próximos quanto à dispersão dos pontos.

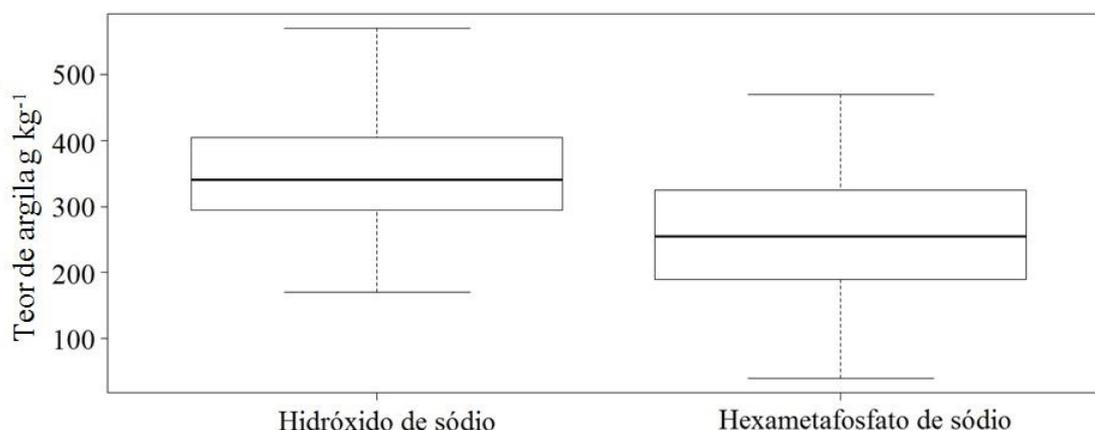


Figura 40. Teores de argila em função dos dispersantes químicos utilizados..

O ajuste matemático foi expresso pela equação $y=0,860x- 4,88$, em que (y) representa o teor de argila determinado a partir do uso do hexametáfosfato ((NaPO₃)_n), e (x), o hidróxido de sódio (NaOH), ambos expressos em percentagem.

Esse modelo demonstra que há correlação significativa a 5% de probabilidade entre os dois dispersantes (Tabela 18), apresentando correlação de Pearson (r) de 0,72. Esses resultados sugerem que o hexametáfosfato de sódio subestima os teores de argila desses solos, possivelmente devido ao menor pH da solução (6,6) quando comparada ao NaOH, com

valores acima de 9,0, o que pode ter resultado na redução da camada iônica difusa, reduzindo a dispersão da amostra.

Estudando diferentes dispersantes químicos para análise granulométrica em solos do estado de Pernambuco, Mauri (2008) verificou que nenhum outro dispersante “alternativo” foi quantificado com maiores valores de argila quando comparado à solução de NaOH.

Em um trabalho realizado por Rodrigues et al. (2009), avaliando análise granulométrica em solos de diferentes classes do estado do Ceará, os autores verificaram que o NaOH foi mais eficiente na dispersão química das amostras, independentemente do método de agitação.

Os teores de argila determinados a partir do hexametáfosfato de sódio não apresentaram correlação com os valores de pH, assim como o hidróxido de sódio, o que sugere que os maiores valores obtidos com o emprego de NaOH estejam relacionados ao pH mais elevado desta solução.

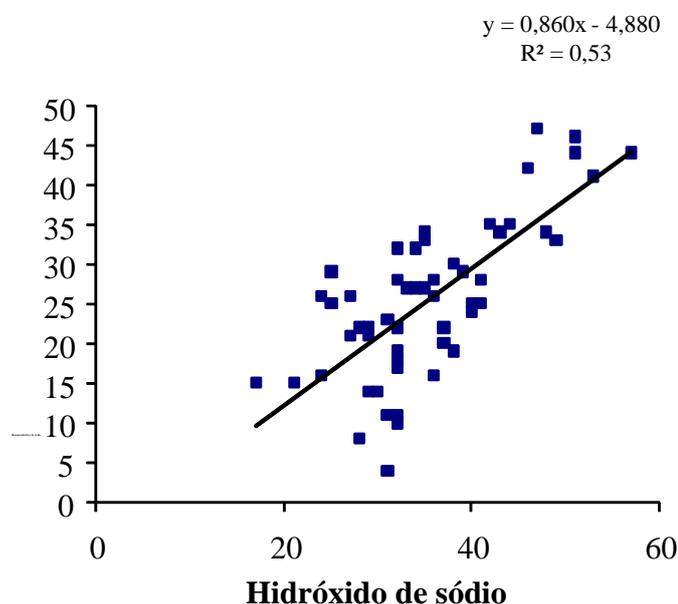


Figura 41. Diagrama de dispersão dos entre o hexametáfosfato de sódio e o hidróxido de sódio

De acordo com Mauri (2008), o $(\text{NaPO}_3)_n$ apresenta valor de pH menor que o da solução de NaOH a 0,01 molar, por ser esta uma solução formada a partir de ácido e base fortes, na qual o valor de pH corresponde a 6,6, próximo do observado na água deionizada após o equilíbrio com o CO_2 .

Os teores de argila determinados por hidróxido de sódio apresentaram correlação inversa com os teores de cálcio e grau de floculação, significativa a 5 % de probabilidade. Entretanto, não foi observada correlação entre os teores de sódio, valor T e teores de carbonato de cálcio.

De acordo com Cunha (2010), o tipo de dispersante varia em função dos cátions que compõem o complexo de troca, assim como da natureza das cargas dos minerais da fração argila. Os elevados teores de cálcio e magnésio na amostra podem resultar numa baixa estabilização da suspensão (Baver et al., 1972). Os índices de dispersão da argila podem ser potencializados pelo íon Ca^{2+} em associação elevados valores de pH (Pereira et al., 2013).

Desse modo, Mauri (2008) destaca que, para se obter uma suspensão de solo

efetivamente dispersa, é necessário substituir o Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , frequentemente encontrados saturando as argilas, por cátions monovalentes de maior raio iônico hidratado, dentre os quais são mencionados o lítio e o sódio.

O hexametáfosfato de sódio fornece o sódio para dispersão e reduz a pressão osmótica da solução, por precipitar esses íons a partir da formação de fosfatos. Contudo, a faixa de pH da solução pode ser um fator limitante na dispersão da argila. Esse padrão pode ser atenuado com a utilização de hidróxido de sódio, que apresenta o pH da solução mais elevado (Mauri, 2008).

Possivelmente, o pH elevado da solução de NaOH tenha condicionado uma menor atividade do cálcio e magnésio em solução, o que resultou numa suspensão mais estável, justificando os valores mais altos de argila em solos influenciados ou formados a partir de calcário.

Os teores de argila determinados por hexametáfosfato de sódio apresentaram correlação inversa com os teores de cálcio, sódio e carbonato de cálcio, com significância de 5% de probabilidade e ausência de correlação para os demais atributos.

Viana et al. (2010) destacam que o dispersante mais utilizado no Brasil é o NaOH, porém em solos com valores de pH superiores a 6,0, que apresentam elevados teores de cálcio e magnésio, assim como predomínio de argila do tipo 2:1, o dispersante químico recomendado é o hexametáfosfato de sódio. Os resultados obtidos nesse estudo demonstram que a eficiência do hidróxido de sódio supera a desse dispersante químico.

Os valores de pH apresentaram correlação positiva com os teores de magnésio e negativa com o grau de floculação, significativa a 5 % de probabilidade. Entretanto, não apresentou relação com os demais atributos do solo.

De acordo com Cunha et al. (2010), o pH do meio é importante na dispersão das argilas, assumindo que o pH acima do ponto de carga zero (PCZ) resulta no aumento das cargas negativas dependentes de pH, facilitando a repulsão das partículas, assim como maior dispersão entre elas.

O cálcio apresentou correlação significativa a 5% de probabilidade com o magnésio, carbonato de cálcio e o grau de floculação, não sendo verificada relação com os demais atributos; vale destacar que os valores da correlação com cálcio e magnésio foram abaixo de 0,1, sugerindo baixo grau dessa relação.

O conteúdo de sódio apresentou correlação inversa com o grau de floculação, apesar dos baixos teores desse íon, ele pode atuar como dispersante, por apresentar grande raio iônico hidratado, aumentando a espessura da camada iônica difusa.

A substituição de íons do complexo de troca por íons que apresentam elevado raio iônico hidratado, tal como o lítio e o sódio, eleva o potencial zeta, formando suspensões mais estáveis (Kirkham e Powers, 1972), o que resulta no aumento da dupla camada difusa. Entretanto, concentrações elevadas desses íons na solução reduzem o potencial osmótico, promovendo a compressão dessa camada, resultando na floculação das partículas.

Tabela 18. Matriz de correlação de dispersantes químicos e alguns atributos do solo.

	NaOH	(NaPO ₃)n	pH-H ₂ O	Ca	Mg	Na	T ⁽¹⁾	Eq.CaCO	GF ⁽²⁾
NaOH	1	0,721	-0,382	-0,181	-0,335	-0,362	-0,460	-0,567	-0,178
(NaPO ₃)n		1	0,000	-0,168	-0,368	-0,040	-0,435	-0,237	-0,422
pH-H ₂ O			1	0,476	0,253	0,521	0,602	0,727	-0,162
Ca				1	0,072	0,417	0,821	0,091	0,204
Mg					1	0,313	0,503	0,295	0,177
Na						1	0,511	0,447	-0,138
T							1	0,384	0,251
Eq.CaCO								1	-0,164
GF									1

Em negrito são apresentados os valores significativos a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾T: capacidade de troca catiônica em pH 7; ⁽²⁾GF: grau de floculação.

A suspensão, quando completamente dispersa e estável, possibilita a separação das frações, o que resulta em maior “acurácia” do método (Mauri et al., 2011; Corá et al., 2009; Donagemma et al., 2003).

Os teores de carbonato de cálcio e de Ca²⁺ apresentaram correlação inversa com o grau de floculação, assim como o conteúdo de cálcio, o que sugere que ambos estejam relacionados a baixos valores de grau de floculação, de tal modo que o cálcio pode estar atuando como dispersante no solo, assim como verificado por Pereira et al. (2013), ao estudarem solos calcários na Serra da Bodoquena-MS.

A mineralogia da fração argila (Tabela 13) apresenta predomínio do mineral ilita, seguido de caulinita e quartzo na topossequência 1, com pequena expressão de goethita, sugerindo predomínio de cargas negativas, por predomínio de minerais do tipo 2:1, esse resultado pode estar influenciando na dispersão da argila.

Na topossequência 2, observa-se o predomínio de vermiculita com hidróxido entre camadas, seguido de ilita, caulinita e quartzo, o que sugere predomínio de cargas negativas, assim como na topossequência 1.

Mauri (2008), ao estudar solos do estado de Pernambuco, com predomínio de caulinita e ilita na fração argila, apresentando delta pH negativo próximo de -1,0, com valores de pH variando de 4,16 a 7,19, quase sempre superiores a 5,6, verificou que o hidróxido de sódio foi mais efetivo, sendo comprovado pela maior proporção de argila na análise granulométrica.

Estudando a dispersão de solos, Donagemma et al. (2003) verificaram que Latossolos Vermelhos com elevados conteúdos de óxidos de ferro apresentaram pseudocomponentes na determinação das frações menores que 2 mm. O alto grau de desenvolvimento da estrutura desses solos confere uma forte agregação, resultando em microagregados, que dificilmente podem ser desfeitos, de modo que os mesmos seriam contabilizados como silte e/ou fração areia fina, conforme destacado por Donagemma et al. (2003; 2008). Nesses casos, registra-se que a dispersão empregada nos laboratórios de rotina deve ser revista, tanto no aspecto da dispersão química quanto física das amostras.

Em seus estudos, Mauri (2008) sugere que a matéria orgânica também pode influenciar na formação de pseudocomponentes, de modo que a fração argila pode ser contabilizada como silte e/ou fração areia fina, reduzindo a acurácia da análise textural.

De modo geral, alguns estudos relacionados a aspectos metodológicos têm desconsiderado em quais faixas de pH os dispersantes químicos podem ser mais eficientes, assim como quando realmente realizar pré-tratamentos das amostras.

Estudando solos calcários na região sudeste do Iran, Owliaie et al. (2006) realizaram pré-tratamento das amostras para remoção de carbonatos com solução de 2 mol L⁻¹ de ácido clorídrico, em seguida tratamento com peróxido de hidrogênio com solução de 30%, e os sais solúveis por lixiviação, depois utilizando hexametáfosfato de sódio para dispersão das partículas. No Brasil, tem-se utilizado pré-tratamento para remoção de agentes cimentantes e flocculantes (Donagemma et al., 2003; Tavares-Filho e Magalhães, 2008), porém ainda pouco utilizado em laboratórios de rotina e em pesquisa científica. Nesses casos, foram removidos a matéria orgânica e os óxidos de ferro contidos na amostra.

4.5.4. Determinação dos teores de carbono do solo

A Figura 43 representa a relação entre dos teores de carbono total determinados pelo CHNS/O em amostras sem tratamento (CT) e pré-tratadas com solução de ácido clorídrico (PT) a 0,05 mol L⁻¹, sendo o conteúdo de carbono determinado em seguida no mesmo equipamento. O pré-tratamento da amostra foi realizado no sentido de eliminar o carbono de natureza inorgânica a partir do uso de uma solução ácida.

O teor de carbono determinado pelo método CT foi, em geral, maior que os teores determinados a partir dos demais métodos. Entretanto, apresenta três valores atípicos acima de 68 g kg⁻¹. Os métodos PT e MPT apresentaram dois valores atípicos (Figura 42), com valor mínimo de 64 g kg⁻¹ para PT e de 58 g kg⁻¹ para MPT.

Os métodos CT, PT e YB apresentaram dispersão aproximada, seguida do método MPT. Enquanto isso, o método WB apresentou os menores teores de carbono, assim como menor dispersão dos pontos.

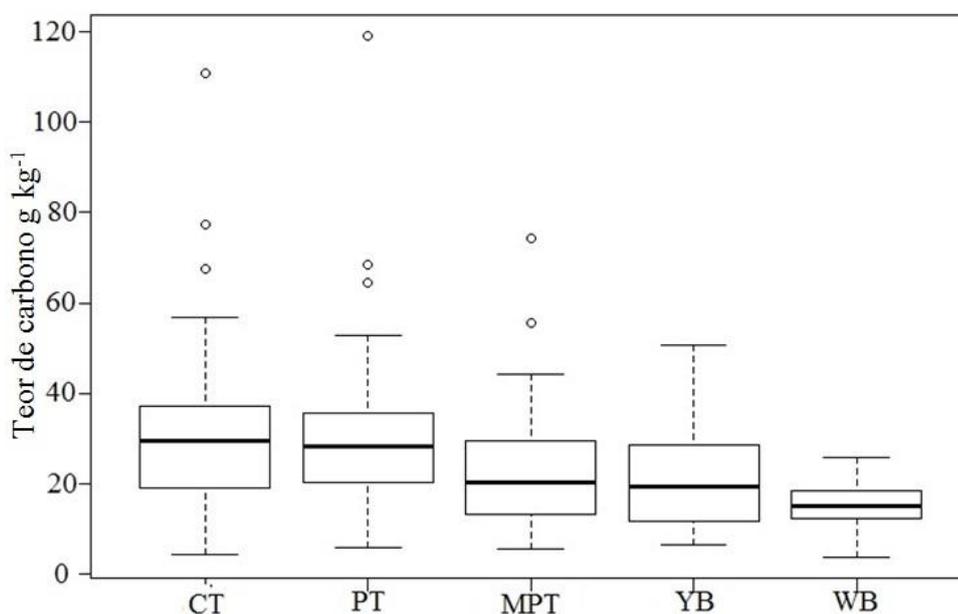


Figura 42. Teores de carbono em função dos métodos analíticos utilizados. CT: carbono determinado por análise elementar; PT: Carbono determinado a partir de amostras pré-tratadas; PT: Carbono determinado a partir de amostras maceradas, pré-tratadas e tamisadas em peneira 80 mesh; YB: Método Yeomans e Bremner (1988); WB: Donagemma et al. (2011).

Na Figura 43, é observada uma baixa dispersão dos pontos ao longo da reta, sugerindo pouca variação entre os valores de carbono obtidos pelos diferentes métodos, o que gerou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,97. A partir desse resultado, verifica-se que o emprego do pré-tratamento não foi suficiente para a remoção do carbono inorgânico das amostras.

Ao estudar solos de origem calcária na região sudeste da Espanha, Díaz-Hernández et al. (2003) constataram resultados de carbono de natureza inorgânica superiores ao orgânico. Deste modo, dependendo do método utilizado para determinação do carbono orgânico, esses teores poderão ser superestimados.

Na Figura 44, é apresentada a relação entre o carbono total e carbono da amostra macerada e pré-tratada com solução ácida, no qual há baixa dispersão dos pontos ao longo da reta, assim como pouca variação entre os valores, resultando em um coeficiente de determinação (R^2) de 0,78, valor inferior ao observado na Figura 43. Esse resultado pode ser atribuído à reação da solução ácida com o carbonato contido na amostra, seguido de liberação do CO_2 , diferindo do observado no tratamento com a terra fina seca ao ar (TFSA). As amostras, quando maceradas e tamisadas em peneira de 80 mesh e submetidas ao pré-tratamento (MPT), reagiram mais facilmente com o ácido, reduzindo a quantidade de carbono inorgânico contido na amostra.

Comparando métodos de determinação de carbono em solos tropicais, Machado et al. (2003) verificaram que, na presença de CaCO_3 e nos solos alcalinos, existe uma tendência de os valores obtidos na análise elementar serem superiores ao método de Walkley-Black (combustão úmida).

Os resultados das amostras maceradas e pré-tratadas apresentam valores mais próximos dos métodos por combustão úmida. Conforme demonstrado na ACP (Figura 53), o método de Yeomans e Bremner (1988) apresentou maior grau de similaridade, apesar de os resultados das MPT apresentarem maiores valores, o que sugere que ainda há uma baixa eficiência do ácido na reação com o carbonato.

Uma possível explicação para os coeficientes de determinação encontrados entre as relações do PT e MPT de 0,81 pode ser atribuída ao fato de somente uma parcela do carbono inorgânico ter sido removida pela ação do ácido.

Na Figura 45 é apresentada a correlação entre os valores de carbono obtidos pelo método Yeomans e Bremner (YB) e o carbono total (CT), sendo o primeiro baseado no princípio de combustão úmida, com oxidação do carbono pelo excesso de dicromato em meio ácido, seguido de titulação com sulfato ferroso amoniacal do dicromato residual da amostra.

O diagrama de dispersão entre os dois métodos (Figura 45) apresenta alta dispersão dos pontos, tendo coeficiente de determinação de 0,27. Esse padrão pode ser resultante da quantidade de carbonato contido nas amostras.

Na Figura 46, é apresentada a correlação entre os valores de carbono quantificados pelo método Walkley e Black modificado (Donagemma et al., 2011) com o carbono total do solo, resultando em coeficiente de determinação não significativo. O método sugerido pela Embrapa tem o princípio de combustão úmida, de modo a quantificar exclusivamente o carbono orgânico contido na amostra, diferindo do que ocorre na análise elementar.

De acordo com Segnini et al. (2008), os valores de carbono obtidos pelo método de Walkley-Black são menores quando comparados aos obtidos por análise elementar. Uma possível explicação para esses resultados pode ser a não oxidação do carbono que se encontra mais protegido ou ligado à fração mineral do solo, resultando na oxidação parcial do carbono.

Ao se compararem os valores de carbono orgânico pelos dois métodos de combustão úmida (Figura 52), verificou-se o coeficiente de determinação de 0,04, com alta dispersão dos pontos ao longo da reta; esse padrão é resultado de limitações do WB (Donagemma et al., 2011). Apesar da maior normalidade do dicromato acrescido de ácido sulfúrico na solução, o tempo de aquecimento das amostras é curto, reduzindo a oxidação do carbono. Entretanto, o

método YB, apesar de utilizar uma solução de dicromato de menor normalidade, dispõe de maior tempo de aquecimento e adição direta do ácido sulfúrico na amostra, catalisando a reação de oxidação.

De acordo com Rheinheimer et al. (2008), a padronização do aquecimento das amostras pode reduzir a interferência do operador; diferente do que é observado no método proposto por Donagemma et al. (2011). Na Figura 51, é apresentada a relação entre o método WB e o MPT, novamente com alta dispersão dos pontos, resultando em coeficiente de determinação de 0,02 por razão da baixa oxidação do carbono pelo primeiro método, atribuído a problemas metodológicos. Enquanto isso, os maiores valores de carbono quantificados são resultantes do carbonato remanescente na amostra, de modo que, além do carbono orgânico, foi quantificada parte do carbono de natureza inorgânica, aumentando a amplitude de variação dos resultados.

Comparando métodos de determinação de carbono orgânico, Jankauskas et al. (2006) verificaram alta correlação entre os métodos Walkley-Black e o método da combustão seca (analisador elementar) em solos que não apresentam influência de carbonatos.

Na Figura 49, é apresentada a relação entre o WB e PT; verifica-se alta dispersão dos pontos ao longo da reta, com coeficiente de determinação não significativo, resultante da ineficiência do método de combustão úmida na quantificação de carbono inorgânico da amostra na qual a terra fina foi submetida ao tratamento com solução ácida.

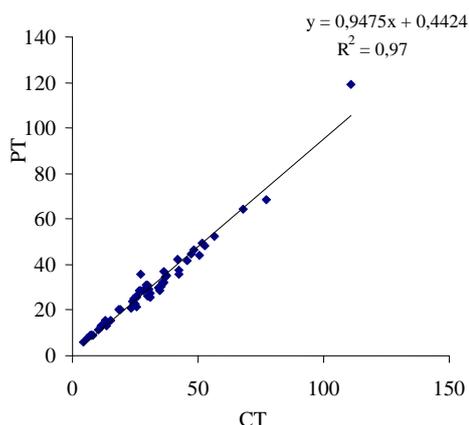


Figura 43. Diagrama de dispersão entre o CT e PT.

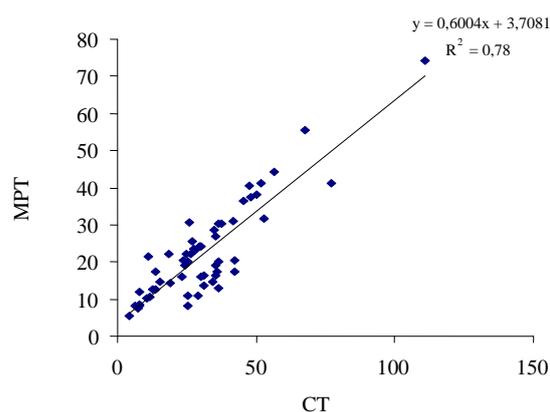


Figura 44. Diagrama de dispersão entre o CT e MPT.

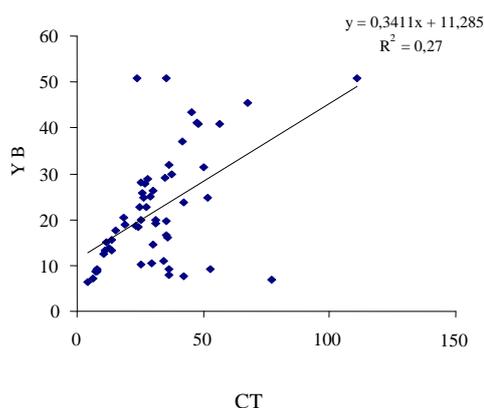


Figura 45. Diagrama de dispersão entre o CT e YB.

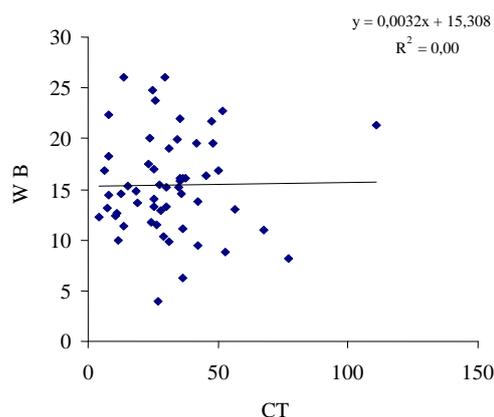


Figura 46. Diagrama de dispersão entre o CT e WB.

Os diagramas que representam a relação entre os métodos YB e PT (Figura 48) e YB e MPT (Figura 50) apresentam alta distribuição dos pontos ao longo da reta, resultando em baixos coeficientes de determinação de 0,31 e 0,45. Para ambas as correlações, os baixos valores encontrados têm a mesma origem, sendo que parte do carbono de origem orgânica pode ter sido quantificado na análise elementar, enquanto a partir do método de combustão úmida apenas o carbono de natureza orgânica foi quantificado. Entretanto, a menor amplitude de variação, observada na Figura 50, é atribuída à maior eficiência da reação do ácido com o carbonato nas amostras quando maceradas.

Os métodos que utilizam a oxidação com dicromato não expressam valores reais de carbono (Sato, 2013), sendo que parte do carvão e da fração de maior estabilidade da matéria orgânica não é totalmente oxidada (Nelson e Sommers, 1996). Isso nos faz levantar a hipótese de que os baixos valores de carbono obtidos pelos métodos de oxidação úmida, quando comparados ao método de referência (CHNS/O), estejam associados ao carbonato de cálcio contido nas amostras, quase sempre superiores a $77,73 \text{ g kg}^{-1}$.

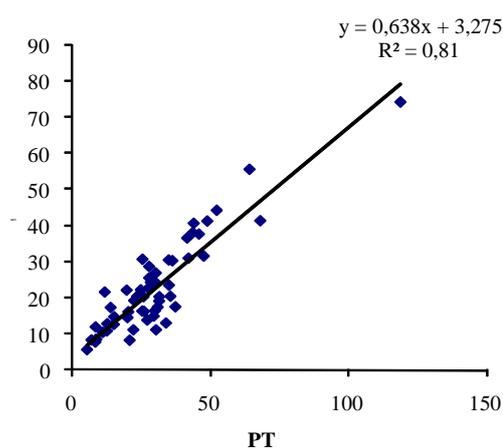


Figura 47. Diagrama de dispersão entre MPT e PT.

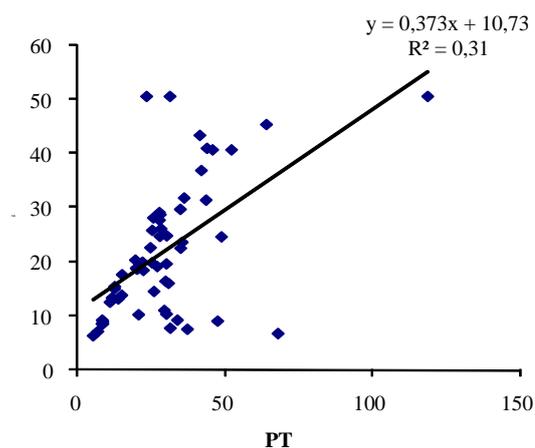


Figura 48. Diagrama de dispersão entre YB e PT.

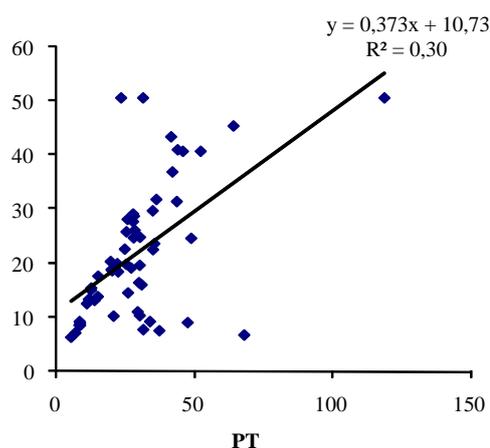


Figura 49. Diagrama de dispersão entre WB e PT.

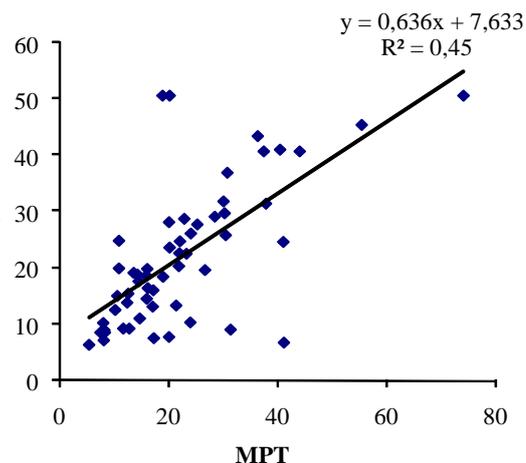


Figura 50. Diagrama de dispersão entre YB e MPT.

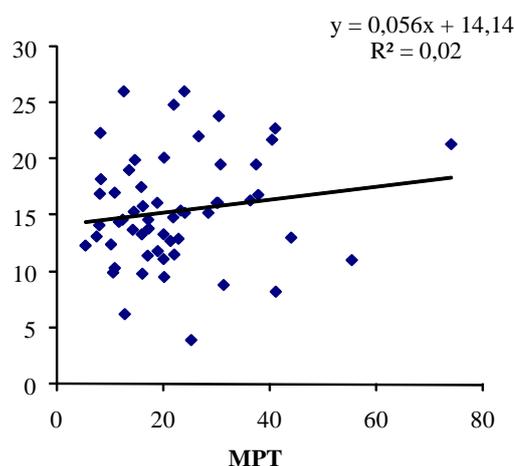


Figura 51. Diagrama de dispersão entre WB e MPT.

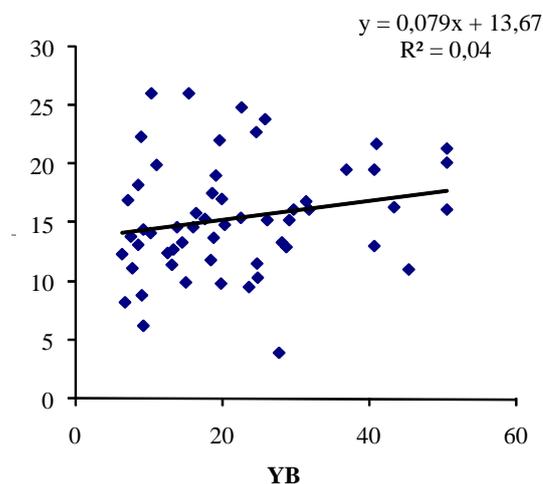


Figura 52. Diagrama de dispersão entre WB e YB.

Os resultados da análise de componentes principais (ACP) dos métodos de determinação de carbono são apresentados na Figura 53, na qual o somatório dos eixos F1 e F2 explicam 86,93% dos dados, sendo que, no eixo F1, 66,07%, e no F2, 20,86 %.

O CT, PT, MPT, YB estão correlacionados (Tabela 19), mas são independentes do método WB.

Conforme ilustrado na ACP e descrito na matriz de correlação, o CT, PT, MPT, YB apresentaram relação positiva, significativa a 5 % de probabilidade, enquanto o WB não apresentou relação com os demais métodos.

Tabela 19. Matriz de correlação de métodos de determinação de carbono do solo.

	CT	PT	MPT	YB	WB
CT	1	0,985	0,881	0,524	0,013
PT		1	0,902	0,552	0,042
MPT			1	0,668	0,150
YB				1	0,201
WB					1

Em negrito são apresentados os valores significativos a 5% de probabilidade:

CT: carbono determinado por análise elemental; **PT:** Carbono determinado a partir de amostras pré-tratadas;

MPT: Carbono determinado a partir de amostras maceradas, pré-tratadas e tamisadas em peneira 80 mesh;

YB: Método Yeomans e Bremner (1988); **WB:** Donagemma et al. (2011).

Baseado em todo o conjunto de dados, pode-se concluir que o método WB modificado (Donagemma et al., 2011) é o menos eficiente para solos dessa natureza, para os quais apresentou altos valores de carbonato de cálcio e magnésio, assim como matéria orgânica de alta estabilidade, sendo comum a ocorrência de valores superiores a 20 g kg^{-1} , ultrapassando o valor de maior eficiência do método, conforme descrito por Donagemma et al. (2011).

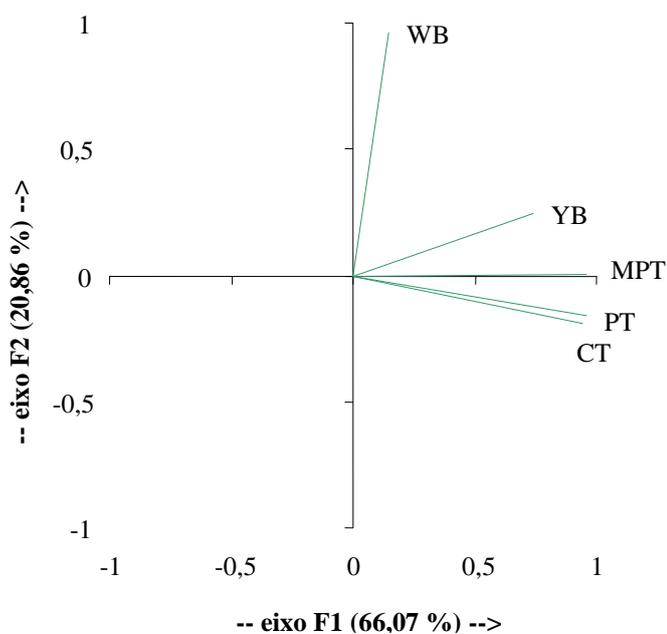


Figura 53. Análise de componentes principais dos métodos de determinação de carbono.

4.6. CONCLUSÕES

O método que utiliza extrator ácido (Mehlich-1) superestima os teores de fósforo disponível, sendo recomendada a utilização de extrator alcalino (Olsen) na determinação de fósforo disponível em solos com elevados teores de carbonatos.

O método de determinação de carbonato de cálcio proposto por Donagemma et al. (2011) deve ser reavaliado, desde os procedimentos analíticos até as equações utilizadas para a quantificação dos teores de carbonato, sendo recomendada a maceração da amostra antes da determinação dos teores de carbonato de cálcio, para que seja potencializada a reação.

A utilização do hidróxido de sódio como dispersante químico mostrou-se eficiente na determinação da fração argila do solo, quando comparado ao hexametáfosfato de sódio, de modo que o fator mais determinante para dispersão das amostras está relacionado a pH da solução.

O método de determinação de carbono orgânico proposto por Yeomans e Bremner (1988) mostrou-se mais eficiente em comparação ao método proposto por Donagemma et al. (2011), com valores mais próximos dos obtidos por meio da análise elementar em amostras pré-tratadas com solução ácida. Entretanto, a concentração da solução ácida utilizada para eliminação de carbonatos deve ser reavaliada, sendo necessários estudos com diferentes concentrações, para eliminar todo o carbono inorgânico, antecedendo a análise elementar.

5. CONCLUSÕES GERAIS

Os processos pedogenéticos mais evidentes foram os de melanização e calcificação, controlados principalmente pela natureza do material de origem e posição dos perfis ao longo da paisagem.

Na porção sudeste do estado do Tocantins, parcela correspondente a geologia do Grupo Bambuí, a fração silte é predominante nos solos, em decorrência dos resíduos associados à rocha calcária.

Foram observados elevados teores de carbonato de cálcio equivalente, concordante com a ocorrência do mineral do tipo calcita, decorrentes, majoritariamente, da precipitação de carbonatos devido à combinação dos fatores de formação relevo e material de origem, com valores análogos aos de regiões áridas e semi-áridas de outras partes do mundo, discordante do que normalmente tem sido observado.

No método de determinação de fósforo largamente recomendado no Brasil utiliza-se um extrator ácido (Mehlich-1), que devido tal natureza, extrai formas pouco solúveis de fósforo no solo, resultando na superestimativa dos teores disponíveis deste nutriente. Demonstrando que esse método não deve ser recomendado para solos de natureza calcária.

O método de determinação de carbonato de cálcio recomendado pela Embrapa deve ser revisto, considerando que em conjunto de solos analisados, subestimou os teores de carbonatos de cálcio do solo, o que pode resultar numa caracterização errônea do conteúdo desses elementos, comprometendo a classificação dos solos em que esse atributo é utilizado como característica diferencial na sua identificação, sobretudo na classificação do solo, considerando que este atributo é utilizado no SiBCS.

A solução de hidróxido de sódio apresenta maior potencial dispersivo quando comparado com a solução de hexametáfosfato de sódio, esse padrão está associado ao maior pH da solução de NaOH.

O método de determinação de carbono orgânico sugerido pela Embrapa apresenta baixa capacidade de oxidação, para os solos estudados, resultando na subestimativa dos teores de carbono do solo. Esse método deve ser reavaliado para solos de natureza calcária, considerando a importância deste atributo quanto ao manejo ou taxonomia. Todavia, o método proposto por Yeomans e Bremner (1988) apresenta maior potencial de oxidação de carbono, com valores mais próximos do observado na análise elementar, sendo uma boa alternativa dentre os métodos de oxidação úmida.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB`SABER, A.N. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul. Boletim do Instituto de Geografia da USP, São Paulo, v.52. p.121, 1977.
- ANJOS, L.H.C., PEREIRA, M.G.; PÉREZ, D.V.; RAMOS, D.P.; Caracterização e classificação de Plintossolos no município de Pinheiro-MA. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.1035-1044, 2007.
- ALENCAR, E.L.L. Química e mineralogia de três pedons originários de calcário da Chapada do Apodi-CE. 2002. 61p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.
- ALKMIM F.F. O que faz de um cráton um cráton? O cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo. In: MANTESSO NETO V., BARTORELLI, A., CARNEIRO, C.D.R.; BRITO NEVES, B.B. (ed.) Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, p. 17-34, São Paulo, 2004, p.17-34.
- ALMEIDA, J.A.; MAÇANEIRO, K.C.; KLAMT, E. Mineralogia da fração argila de solos vermelhos com horizontes superficiais brunados do planalto de Lages (SC). Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.24, n.4, p.815-828, 2000.
- ALMEIDA, J.A.; TORRENT, J; BARRÓN, V. Cor de solo, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.985-1002, 2003.
- ARNOLD, R.W. Conceitos of Soils and Pedology. In: WILDING, L.P.; SMECK, N.E. e HALL, G.F. Pedogenesis and Soil Taxonomy-I. Concepts and Interactions. v.11, Part A, Pages iii-x, 304p,1983.
- BASTOS, R.S.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ, V.H.; CORRÊA, M.M.; COSTA, L.M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v.29, n.1, p. 21-31, 2005.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. Soil physics. 4.ed. New York, John Wiley & Sons, 1972. 498p.
- BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, (Comunicado Técnico, 16). 7p. 2003.
- BERBERT-BORN, M. Carste de Lagoa Santa, MG. Brasileira. In: SCHOBENHAUS, C.;CAMPOS,D.A.; QUEIROZ, E.T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M.L.C. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP) – Brasília, 2002. 554p.

BOCKHEIM, J.G.; GENNADIYEV, A.N. The role of soil-forming processes in the definition of taxa in Soil Taxonomy and the World Soil Reference Base. *Geoderma*. v.95, p. 53-72, 2000.

BOERO, V.; PREMOLI, A.; MELIS, P.; BARBERIS, E.; ARDUINO, E. Influence of climate on the iron oxide mineralogy of terra rossa. *Clays and Clay Minerals*, v.40, n.1, p.8-13, 1992.

BORTOLON, L.; GIANELLO, C.; SCHLINDWEIN, J.A. Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo para o milho pelos métodos Mehlich-1 e Mehlich-2. *Scientia Agraria, Curitiba*, v.10, n.4, p.305-312, 2009.

BRAIDA, J.A.; CAMARGO, F.A. de O.; ROSSO, I.J. Comparação de métodos de determinação da disponibilidade de fósforo do solo para as plantas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas*, v.20, p.345-347, 1996.

BRASIL, E.D.; MURAOKA, T. Extratores de fósforo em solos da Amazônia tratados com fertilizantes fosfatados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.599-606, 1997.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de recursos naturais. Folha Goiânia. Rio de Janeiro, 1982.

BRUNETTO, G.; MELO, G.W.; KAMINSKI, J.; FURLANETTO, V.; FIALHO, F.B. Avaliação do método de perda de peso por ignição na análise de matéria orgânica em solos da Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, v.36, n.6, p.1936-1939, 2006.

CAN, J. Rates of calcium carbonate removal from soils. *Soil Science*. v.68, p.449-454, 1988.

ĆALIĆ, J. Karst research in Serbia before the time of Jovan Cvijić. *Acta carsologica*, v.36, n.2, p.315-319, 2007.

CHAVES, D.A. Solos e aptidão das terras nas seções comunais do Mapou, Colline des Chaines e Pichon-Haiti. Seropédica-RJ, 2010, 101p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solos) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

CHAN Y.C.; VOWLES, P.D.; MCTAINSH, G.H.; SIMPSON, R.W.; COHEN, D.D.; BAILEY, G.M. Use of a modified Walkley- Black method to determine the organic and elemental carbon content of urban aerosols collected on glass fibre filters. *Chemosphere*. v. 31, p.4403-4411, 1995.

CHEN, Y.; BARAK, P. Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Advance in Agronomy*, San Diego, v.35, n.1, p.217-240, 1982.

CRESSER, M.S.; GONZALEZ, R.L.; LEON, A. Evaluation of the use of soil depth and parent material data when predicting soil organic carbon concentration from LOI values. *Geoderma*, v.140, p.132-139, 2007.

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

CORÁ, J.E.; FERNANDES, C.; BERALDO, J.M.G.; MARCELO, A.V. Adição de areia para dispersão de solos na análise granulométrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.255-262, 2009.

CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; MENDONÇA, E.S.; RUIZ, H.A.; BASTOS, R.S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região de várzeas de Souza (PB). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.311-324, 2003.

CORNELL, R.M.; SCHWERTMANN, U. The iron oxides; structure, properties, reactions, occurrence and uses. Weinheim, VCH, 1996. 573p.

CUNHA, N.G. Solos calcimórficos de Corumbá. Corumbá. EMBRAPA-CPAP, (Circular Técnica, 18), 1985, 34p.

CUNHA, T.J.F.; RIBEIRO, L.P. Qualidade e relações pedogenéticas da matéria orgânica de alguns solos da região do Irecê (BA). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p.693-704, 1998.

CUNHA, T.J.F.; MANZATTO, C.V.; RIBEIRO, L.P.; PALMIERI, F.; FILHO, CALDEIRANO. Diferenciação pedológica e alteração de rochas calcárias na região de Irecê, BA. Pesquisa em andamento, n°6, p.1-6, 1999.

CUNHA, T.J.F.; RIBEIRO, L.P.; SANTOS, H.G.; GOMES, I.A.; SANTOS, R.D. Estudo de correlação de solos para fins de classificação nas regiões do recôncavo baiano e microrregião de Irecê-Bahia. Embrapa Solos, Boletim de pesquisa n° 9. Rio de Janeiro-RJ, 2000.

CUNHA, J.S. Comparação de dispersantes químicos na análise granulométrica de solos do estado de Pernambuco. Viçosa, MG, 2000. 76p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa.

CURI, N.; KÄMPF, N. Caracterização do solo. In: KER, J.C.; SHAEFER, C.E.G.R.; VIDAL-TORRADO, P. Pedologia: fundamentos. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa-MG, p.147-170, 2012.

DAY, P.R. Particle fractionation and particle size analysis. In: BLACK, C. A. (ed.) Methods of soil analysis. Madison: Am. Soc. Agron., v.1, p.545-567, 1965.

DARDENNE, M.A. The Brasília Fold Belt. In: CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; TOMAS FILHO, A.; CAMPOS, D.A., (eds), Tectonic Evolution of South America. Proceedings of the XXXI International Geological Congress (Rio de Janeiro), p.231-263, 2000.

DARDENNE, M.A. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí e Macaúbas no Brasil central. Anais do 30º Congresso Brasileiro de Geologia, Recife-PE, v.2 p.597-610, 1978.

DÍAZ-HERNÁNDEZ, J.L.; FERNÁNDEZ, E.B.; GONZÁLEZ, J.L. Organic and inorganic carbon in soils of semiarid regions: a case study from the Guadix-Baza basin (Southeast Spain). *Geoderma*, v.114, p.65-80, 2003.

DONAGEMMA, G.K., CAMPOS D.V.B., CALDERANO, S.B., TEIXEIRA, W.G., VIANA, J.H. M. Manual soil analysis methods. 2nd ed. Centro Nacional de Pesquisa do Solo-Embrapa Solos. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011. 230p.

DONAGEMMA, G. K.;RUIZ, H. A.;ALVAREZ, V. H; KER, J. C.; FONTES, M. P. Fósforo remanescente em argila e silte retirados de Latossolos após pré-tratamento na análise textural. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.1785-1791, 2008.

DONAGEMMA, G.K.; RUIZ, H.A.; FONTES, M.P.F.; KER, J.C.; SCHAEFER, C.E.G.R. Dispersão de Latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.765-772, 2003.

DUCHAUFOR, P. Handbook of Pedology. A.A. Balkema, The Netherlands, 1998, 274p.

DUCHAUFOR, P. Dynamics of organic matter in soils of temperate regions its action on pedogenesis. Geoderma, v.15,p.31-40, 1976.

DUCHAUFOR, P. Humification et ecologie. Cah. O.R.S.T.O.M., Série Pédology, v.8, n.4, 1970.

DURN. G. Terra Rossa in the Mediterranean Region: Parent Materials, Composition and Origin. Geologia Croatica, v.56, n.1, p.83–100, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da margem direita do rio Paraná Estado do Goiás. Rio de Janeiro-RJ, (Boletim de pesquisa, 23), 1983. 503 p.

ESFANDIARPOUR, I.; SALEHI, M.H.; KARIMI, A.; KAMALI, A. Correlation between Soil Taxonomy and World Reference Base for Soil Resources in classifying calcareous soils: (A case study of arid and semi-arid regions of Iran). Geoderma, v.197, p.126-136, 2013.

FANNING, S.D.; FANNING. Soil Genesis, morphology and classification. Washington, USA, 1989. p. 69-80.

FERREIRA, E.P. Gênese e Classificação de Solos em Ambiente Cárstico na Chapada do Apodi. 2012. 115p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; BENITES, V.M. Quantificação e utilização das frações húmicas como característica diferencial em horizontes diagnósticos de solos brasileiros. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, p.1241-1257, 2010.

FORD, D.C.; WILLIAMS, P.W. Karst geomorphology and hidrology. United Kingdom: Wiley, 2007.

FREITAS, I.F. ; NOVAIS, R.F.; VILLANI, E. M.A.; NOVAIS, S.V. Phosphorus Extracted By Ion Exchange Resins And Mehlich-1 From Oxisols (Latosols) Treated With Different Phosphorus Rates And Sources For Varied Soil-Source Contact Periods. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.37, p.667-677, 2013.

GATTO, A.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F; SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S.; VILLANI, E.M.A. Comparação de métodos de determinação de carbono orgânico em solos cultivados com eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.735-740, 2009.

HOLFORD, I.C.R. Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. *Australian Journal of Soil Research*, v.35, n.2, p.227-240, 1997.

JANKAUSKAS, B.; SLEPETIENE, A.; JANKAUSKIENE, G.; FULLEN, M; BOOTH, C. A comparative study of analytical methodologies to determine the soil organic matter content of Lithuanian Eutric Albeluvisol. *Geoderma*, v.136, p.763-773, 2006.

JENNY, H.J. Factors of soil formation. McGraw-Hill, New York. 1941, 281p.

KÄMPF, N. e SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in Southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. *Geoderma*, v.29, p.27-39, 1983.

KÄMPF, N; CURI, N.; MARQUES, J.J. Intemperismo e Ocorrência de Minerais no Ambiente do Solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. Química do solo. Parte I, Conceitos básicos. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009, p.151-249.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). In: KER, J.C.; SHAEFER, C.E.G.R; VIDAL-TORRADO, P. Pedologia: fundamentos. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa-MG, 2012, p.207-302.

KHRESAT, S.A. Calcic horizon distribution and soil classification in selected soils of north-western Jordan. *Journal of Arid Environments*, v.47, p.145-152, 2001.

KIRKHAM, D.; POWERS, W .L. Advanced soil physics. 2.ed. New York, Interscience, 1972, 548p.

KONONOVA, M.M. Soil Organic Matter. Pergamon Press, Oxford. Egland, 1961.

KUCHENBECKER, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; O Grupo Bambuí na Folha luz (SE-23-Y-D-V). *Geonomos*, v.18, n.2, p.46-52, 2010.

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

LEPSCH, I.F.; BUOL, S.W. Oxisol Landscape relationships in Brazil. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORK SHOP, 13, Campinas, Part 1: papers. Campinas: SNLCS/EMBRAPA, USDA, University of Puerto Rico, 1986, p.174-189.

LIMA, H.N.; MELLO, J.W.V.; SHAEFER, C.E.G.R.; KER, J.C.; LIMA, A.M.N. Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, v.30, p.59-68, 2006.

LYNCH, L.S. Gênese e geoquímica de solos em ambiente cárstico no cerrado da região de Planaltina de Goiás. 2009. 167p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), 167p. 2009. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

LLADÓ, N.L. Fundamentos de hidrogeologia cárstica. Editora Blume. 1970, 271p.

MARTÍNEZ, M.I.; Estratigrafia e tectônica do grupo Bambuí no Norte do Estado de Minas Gerais. 2007. 129p. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG.

MAURI, J. Dispersantes químicos na análise granulométrica de Latossolos. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). 2008. 46p. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

MAURI, J.; RUIZ, H.A.; FERNANDES, R.B.A., KER, J.C.; REZENDE, L.R.M.; Dispersantes químicos na análise granulométrica de Latossolos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, p.1277-1284, 2011.

MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soil and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clays Clay Miner., v.5, p.317-327, 1960.

MELO, V.F.; CASTILHOS, R.M.V.; PINTO, L.F.S. Reserva Mineral do Solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. Química do solo. Parte I, Conceitos básicos. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009, p.251-332.

MELO, G.W.; MEURER, E.J.; PINTO, L.F.S. Fontes de potássio em solos distroférricos caulíníticos caulíníticos de basalto no Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, p.597-603, 2004.

MELO, V.F.; FONTES M.P.F.; NOVAIS, R.F.; SINGH, B.;SCHAEFER, C.E.G.R. Características dos óxidos de ferro e de alumínio de diferentes classes de solos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, n. 1, p.19-32, 2001.

MELLO, J.W.V.; PEREZ, D.V. Equilíbrio químico das reações no solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. Química do solo. Parte I, Conceitos básicos. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009, p.151-249.

MIRANDA, C.S.S.; FERREIRA, M.G.V.X. Caracterização de solos com A chernozêmico na zona da mata do norte do estado de Pernambuco. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.23, p.107-120, 1999.

MISI, A.; KAUFMAN, A.J.; VEIZER, J.; POWIS, K.; AZMY, K.; BOGGIANI, P.C.; GAUCHER, C.; TEIXEIRA, J.B.G.; SANCHES, A.L.; IYER, S.S.S.; Chemostratigraphic correlation of Neoproterozoic successions in South America. Chemical Geology, v.237, p. 143-167, 2007.

MONIZ, A.C.. Formation of an Oxisol-Ultisol transition in São Paulo-Brazil. Raleigh, Carolina do Norte, E.U.A., 1980. Tese (Doutorado Soil Science), North Carolina State University.

MONTEIRO, C.F.; Fosforitos do grupo Bambuí na região de Campos Belos (GO)/ Arraias (TO), na borda Oeste do cráton São Francisco. 2009. 46p. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade de Brasília, Brasília-DF.

MORAES, F. Contexto Geológico das cavernas em arenito do Estado do Tocantins. Anais do XXX Congresso Brasileiro de Espeleologia. Montes Claros MG, Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2009.

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: SPARKS, D.L.; PAGA, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T ; SUMMER, M.E., eds. Methods of soil analysis: Chemical methods. Part 3. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.961-1010.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.; NUNES, F.N. VII-Fósforo. In: Fertilidade do solo. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2007, p.471-550.

OLSEN, S.R.; COLE, C.V.; WATENABE, F.S.; DEAN, L.A. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. (USDA. Circular, 939) Washington: USDA, 1954. 22p.

OLIVEIRA, J.B. Pedologia aplicada. 3ª Ed. Piracicaba, FEALQ, 2008. 592p.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; VITORINO, A.C.T.; FERREIRA, M.M.; SÁ, M.A.C.; LIMA, J.M. Agitador horizontal de movimento helicoidal na dispersão mecânica de amostras de três Latossolos do sul e campos das vertentes de Minas Gerais. Ciência e Agrotecnologia, v.26, p.881-887, 2002.

OLIVEIRA, C.V.; KER, J.C.; DUARTE, M.N.; CURI, N.; FONTES, L.E.F. Atributos micromorfológicos de solos do projeto Jaíba, norte de Minas Gerais, Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.24, n.1, p.117-128, 2000.

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.

PEREIRA, J.R.; FARIA, C.M.B. Sorção de fósforo em alguns solos do semi-árido do nordeste brasileiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.33, n.7, p.1179-1184, 1998.

PEREIRA, M. G., ANJOS, L.H.C.; Formas extraíveis de ferro em solos do estado do Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.23, n.2, p.371-382, 1999.

PEREIRA, M.G.; SCHIAVO, J.A.; FONTANA, A.; NETO, A.H.D.; MIRANDA, L.P.M.; Caracterização e classificação de solos em uma toposequência sobre calcário na Serra da Bodoquena, MS. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.37, p.25–36, 2013.

PEREZ, A.L.; NEPTUNE, A.M.L. Extração de várias formas de fósforo em alguns solos do estado de São Paulo, utilizado vários métodos químicos. Anais da Escola Superior “Luiz de Queiroz”.v.44. 1987.

PILÓ, L.B. Geomorfologia cárstica. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. v.1, n.1, p.88-102, 2000.

PIMENTEL, L.C.F.; CHAVES, C.R.; FREIRE, L.A.A.; AFONSO, J.C. O inacreditável emprego de produtos químicos perigosos no passado. *Química Nova*, v.29, p.1138-1149, 2006.

RAIJ, B. VAN; FEITOSA, C.T.; SILVA, N.M. Comparação de quatro extratores de fósforo de solos. *Bragantia*, Campinas, v.43, n.1, p.17-29, 1984.

RAIJI, B. VAN; QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solos para fins de fertilidade. Campinas. (Boletim Técnico) Instituto Agrônômico de Campinas, 1983. p.31.

REINTAM, E.; KÖSTER, T. The role of chemical indicators to correlate some Estonian soils with WRB and Soil Taxonomy criteria. *Geoderma*, v.136, p.199-209, 2006.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J.C.; REZENDE, S.B.; Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações. Lavras: Editora UFLA, 2005. 192p.

REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SOLOS- X RCC, Guia de campo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Mato Grosso do Sul, 2012. p. 176-177.

RHEINHEIMER, D.S.; CAMPOS, B.H.C.; GIACOMINI, S.J.; CONCEIÇÃO, P.C.; RODRIGUES, W.S.; LACERDA, N.B.; OLIVEIRA, T.S. Análise granulométrica em solos de diferentes classes por agitação horizontal. *Revista Ciência Agrônômica*, Fortaleza, v.40, n. 4, p.474-485, 2009.

RODRIGUES C.; OLIVEIRA, V.A; SILVEIRA P.M.; SANTOS, G.G.; Chemical dispersants and pré-tratements to determine clay in soils with different mineralogy. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1589-1596, 2011.

RUIZ, H. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.297-300, 2005.

SALEHI, M.H., HASHEMI BENI, O; BEIGI HARCHEGANI, H.; ESFANDIARPOUR BORUJENI, I; MOTAGHIAN, H.R. Refining Soil Organic Matter Determination by Loss-on-Ignition. *Pedosphere*, v.21, n.4, p.473-482, 2011.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 6.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013a. 100p.

SANTOS, H.G., JACOMINE, P.K.T., ANJOS, L.H.C., OLIVEIRA, V.A., LUMBRERAS, J.F., COELHO, M.R., ALMEIDA, J.A., CUNHA, T.J.F., OLIVEIRA, J.B. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Centro Nacional de Pesquisa do Solo, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2013b. 212p.

SANTOS, R.V.; ALVARENGA, C.J.S.; DARDENNE, M.A.; SIAL, A.N.; FERREIRA, V.P. Carbon and oxygen isotope profiles across Meso-Neoproterozoic limestones from central Brazil: Bambuí and Paranoá Groups. *Precambrian Research*, v.104, p.107-122. 2000.

SANTOS, A.C.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; BERNINI, T.A.; COOPER, M.; NUMMER, A.R.; FRANCELINO, M.R. Gênese e classificação de solos numa topossequência no ambiente de mar de morros do médio vale do Paraíba do Sul, RJ. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.1297-1314, 2010.

SANTOS, E.A.; KLIEMANN, H.J. Disponibilidade de fósforo de fosfatos naturais em solos de cerrado e sua avaliação por extratores químicos. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.35,n.3, p.139-146, 2005.

SATO, J.H. Métodos para determinação do carbono orgânico em solos do Cerrado. 79p. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade de Brasília, Brasília-DF.

SEGNINI, A.; SANTOS, L.M.; SILVA, W.T.L.; MARTIN-NETO, L.; BORATO, C.E.; MELO, W.J.; BOLONHEZI, D. Estudo comparativo de métodos para determinação da concentração de carbono em solos com altos teores de Fe (Latosolos). *Química Nova*, v.31, n.1, p.94-97, 2008.

SCHWERTMANN, U. The differentiation of iron oxide in soil by a photochemical extraction with acid ammonium oxalate. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.*, v.105, p.104-201, 1964.

SCHWERTMANN, U. Some properties of soil and synthetic iron oxides. In: STUCKI, J.W.; GOODMAN, B.A.; SCHWERTMANN, U., eds. *Iron in soils and clay mineral*. Dordrecht, Reidel, 1988. p.203-250.

SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. *Minerals in soil environments*. 1ªed. Madison: Soil Science Society of America. 1989. p.379-438.

SEPLAN; Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial. 5 ed. ev.atu.Palmas-TO, 2008. 62 p.

SHANKAR, N.; ACHYUTHAN, H. Genesis of calcic and petrocalcic horizons from Coimbatore, Tamil Nadu: Micromorphology and geochemical studies. *Quaternary International*, v.175, p.140-154, 2007.

SHINZATO, E. O carste da área de proteção ambiental de Lagoa Santa (MG) e sua influência na formação de solos. 99p. 1998. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes-RJ.

SILVA, A.C.; VIDAL-TORRADO, P. Gênese dos latossolos húmicos e sua relação com a evolução da paisagem numa área cratônica do sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, n.2, p.329-341, 1999.

SILVA, F.C.; RAIJ, B.V. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. *Pesquisa Agropecuária Brasileira Brasília*, v.34, n.2, p.267-288, 1999.

SILVA, L. S.; RANNO, S. K.; RHODEN, C.A.; SANTOS, D.R.; GRAUPE, A.; Avaliação de métodos para estimativa da disponibilidade de fósforo para arroz em solos de várzea do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.207-216, 2008.

SILVA, R.C. Gênese e classificação de colos em ambientes de planícies da região Nordeste do Brasil. 160p, 2002. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.

SILVA, M.B. Gênese e Classificação dos Solos em duas Topossequências no Sistema Cárstico na Serra da Bodoquena (MS). 251p. 2013. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ.

SILVA, M.B.; ANJOS, L.H.C; PEREIRA, M.G.; SCHIAVO, J.A.; COOPER, M.; CAVASSANI, R.S. Gênese e classificação de solos de uma topossequência em área de carste na Serra da Bodoquena, MS. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.37, p.1464-1480, 2013.

SOMMER, M. Influence of soil pattern on matter transport in and from terrestrial biogeosystems-A new concept for landscape pedology. Geoderma, v.133, p.107-123, 2006.

SOUSA-NETO, E.L.; FIGUEIREDO, L.H.A.; BEUTLER, A.N. Dispersão da fração argila de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso e dispersantes. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, n.3, p.723-728, 2009.

TAVARES-FILHO, J.; MAGALHÃES, F.S. Dispersão de amostras de Latossolo Vermelho Eutroférico influenciadas por pré-tratamento para oxidação da matéria orgânica e pelo tempo de agitação mecânica. Revista Brasileira de Ciência do Solo, p.1429-1435, 2008.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).

TRAVASSOS, L. E. P. Contribuições científicas do professor dr. Heinz Charles Kohler para a geomorfologia cárstica tropical brasileira. Sociedade & Natureza, Uberlândia, v.22, n.3, p.625-627, 2010.

TRAVASSOS, L.E.P.; GUIMARÃES, R.L.; VARELA, I.D. Áreas cársticas, cavernas e a estrada real. SeTur/SBE. Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas, v.1, n.2,2008.

VASCONCELOS, B.N.F. Gênese de Antropossolos em sítios arqueológicos de ambientes cársticos no Norte de Minas Gerais. 123p. 2013. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

VASCONCELOS, B.N.F.; KER, J.C.K.; SCHAEFER, C.E.G.R.; POIRIER, A.P.; ANDRADE, F.V. Antropossolos em sítios arqueológicos de ambiente cárstico no norte de Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.37, p.986-996, 2013.

VIANA, J.H.M.; DONAGEMMA, G.K.; CEDDIA, M.B.; UNTERLINE, B.; ANDRADE, H.M. Granulometria dos solos da IX RCC do Acre. IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos- solos sedimentares em potencialidade e demanda de pesquisas. p.56-63, 2010.

WALKLEY, A.; BLACK, A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, Baltimore, v.37, p.29-38, 1934.

WANG, X.; WANG, J.; ZHANG, J. Comparisons of Three Methods for Organic and Inorganic Carbon in Calcareous Soils of Northwestern China. PLOS ONE | www.plosone.org v.7, Issue 8, p.44334, 2012.

WILLIAMS, P.; FONG, Y.T. World map of carbonate rock outcrops. University of Auckland: New Zealand, 12 Feb. 2014. Disponível em: <http://web.env.auckland.ac.nz/our_research/karst/pdf/caves_and_karst_2008.pdf>

YAALON, D.G. Soils in the Mediterranean region: what makes them different? *Catena*, v.28, p.157-169, 1997.

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

ZANARDO, A.; MARQUES JR., Conceitos em mineralogia do solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. Química do solo. Parte I, Conceitos básicos. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.73-150, 2009.

7. ANEXO

6.1. Relação dos Perfis T1

a) PERFIL 1(T1)–Data: 24.07.2011

I. DESCRIÇÃO GERAL

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: LUVISSOLO HÁPLICO Órtico típico, A Moderado, textura argilosa/ muito argilosa, fase floresta tropical decidual, relevo forte ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: TXo

LOCALIZAÇÃO: Rodovia TO 110, trecho Aurora-Lavandeira, 7 km após o trevo dos Azuis, lado esquerdo da pista, terço médio da encosta. Aurora (TO), 12°44'6.86"S 46°28'26.14"W.

ALTITUDE: 446 m.

LITOLOGIA: Calcários do Grupo Bambuí.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Grupo Bambuí.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano superior

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos coluviais provenientes de rocha calcária.

RELEVO LOCAL: Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL: Plano a forte ondulado.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical decidual.

USO ATUAL: Vegetação natural.

CLIMA: C1dA'a' (clima subúmido seco com moderada deficiência hídrica), segundo a classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR- Deyvid Diego Carvalho Maranhão, Marcos Gervasio Pereira e Leonardo Santos Collier.

II. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ak 0-9 cm, vermelho muito escuro-acinzentado (2,5 YR 2,5/2, úmida e 2,5 YR 3/2, seca); argilossiltosa; moderada, média e pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, plástica e muito pegajosa; transição plana e clara.

ABk 9-19 cm, vermelho muito escuro-acinzentado (2,5 YR 2,5/2, úmida e 2,5 YR 3/2, seca); argilossiltosa; moderada, média e pequena, blocos subangulares e angular; dura, friável, plástica e muito pegajosa; transição plana e clara.

Btk1 19-39 cm, vermelho-escuro (10 R 3/3); muito argilosa; moderada, média e pequena, prismática e blocos angulares; cerosidade comum e abundante; dura, friável, plástica e muito pegajosa; transição plana e clara.

Btk2 39-69 cm+, vermelho-escuro (10 R 3/4,); muito argilosa; moderada, grande e média, prismática; cerosidade comum e abundante; extremamente dura, firme, muito plástica e muito pegajosa.

III. OBSERVAÇÕES:

Apresentou efervescência forte em todos os horizontes.

Tabela 20. Análises físicas e químicas do perfil 1 da topossequência-T1 do município de Aurora-TO.

Horizonte		Frações totais			Composição granulométrica da terra fina							Densidade		Porosidade
Hor	Esp cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	TFSA <2 mm	AG 2-0,20 mm	AF 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002mm	Argila <0,002 mm	A.N. g kg ⁻¹	GF %	Silte Argila	Solo Mg/m ³	Particula Mg/m ³	
Ak	0-9	----	----	----	80	70	450	400	370	8	1,13	1,44	2,41	40,18
ABk	9-19	----	----	----	50	50	430	470	440	6	0,91	-----	-----	-----
Btk1	19-39	----	----	----	10	20	300	670	550	18	0,45	1,08	1,85	41,58
Btk2	39-69	----	----	----	20	30	290	660	480	27	0,44	-----	-----	-----

Hor	pH		Complexo Sortivo						T	V	m	P	CaCO ₃	
	Água	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺						H ⁺
			-----cmol.kg ⁻¹ -----									mg kg ⁻¹	g.kg ⁻¹	
Ak	7,07	7,40	19,6	7,40	0,39	0,05	27,44	0,05	1,19	28,7	96	0	17	158,0
ABk	7,10	6,80	17,2	6,80	0,22	0,03	24,25	0,05	1,19	25,5	95	0	8	116,0
Btk1	7,46	6,10	18,5	6,10	0,14	0,03	24,77	0,05	0,36	25,2	98	0	10	80,00
Btk2	7,60	6,20	18,6	6,20	0,10	0,03	24,93	0,05	1,19	26,2	95	0	4	12,00

Hor	C-org	N	C/N	Composição química da terra fina					Relações Moleculares			Fed	Feo	
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ki	kr			Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃
				-----g kg ⁻¹ -----								g kg ⁻¹		
Ak	41,1	----	----	228,6	141,4	83,7	6,62	4,85	2,75	1,99	2,65	228,6	0,45	0,38
ABk	26,2	----	----	253,9	154,0	85,4	5,03	4,05	2,80	2,07	2,83	253,9	0,40	0,43
Btk1	9,00	----	----	317,4	210,3	104,4	5,92	2,45	2,57	1,95	3,16	317,4	0,37	0,40
Btk2	6,40	----	----	328,9	206,9	98,8	6,35	1,12	2,70	2,07	3,29	328,9	0,17	0,85

Hor: horizonte; **Esp:** espessura; **TFSA:** terra fina seca ao ar; **AG:** areia grossa; **AF:** areia fina; **A.N.:** argila natural; **GF:** grau de flocação; **Valor T:** CTC a pH 7,0 (SB+H+Al); **V:** (SB x 100) / T; **m:** 100*Al³⁺ / (SB+Al³⁺) **P:** fósforo (Olsen et al., 1954) **ki:** (SiO₂/Al₂O₃) x 1,7; **kr:** (SiO₂ x 1,7) / (Al₂O₃ + (0,64 x Fe₂O₃)); **Fed:** ferro extraído com ditionito-citrato-bicarbonato; **Feo:** ferro extraído com oxalato de amônio.

b) PERFIL 2 (T1) –Data: 23.07.2011

I. DESCRIÇÃO GERAL

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico típico, A Moderado, textura argilosa, fase de floresta tropical decidual, relevo forte ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: CXk.

LOCALIZAÇÃO: Rodovia TO 110, trecho Aurora-Lavandeira, 7 km após o trevo dos Azuis, do lado esquerdo da pista, terço superior da encosta. Aurora (TO), 12°44'5.55"S 46°28'28.47"W

ALTITUDE: 448 m.

LITOLOGIA: Calcários do Grupo Bambuí.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Grupo Bambuí.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano superior.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos colúviais e aluviais provenientes do intemperismo de rocha calcária.

RELEVO LOCAL: Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL: Plano a forte ondulado.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical decidual.

USO ATUAL: Vegetação nativa.

CLIMA: C1dA'a' (Clima subúmido seco com moderada deficiência hídrica), segundo a classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Deyvid Diego Carvalho Maranhão, Marcos Gervasio Pereira e Leonardo Santos Collier.

II. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ak 0-9 cm, bruno-avermelhado-escuro (5 YR 2,5/2, úmida e 5 YR 2,5/3, seca); francoargilosa; moderada, média e pequena, blocos angulares e granular; ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

ABk 9-15 cm, bruno-avermelhado-escuro (5 YR 2,5/2, úmida e 5 YR 3/3, seca); francoargilosa; moderada, média e pequena, blocos angulares e granular; ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

BAk 15-23 cm, bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/3,); francoargilosa; moderada, média e pequena, blocos angulares; dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Bik1 23-34 cm, bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/4); argilossiltosa moderada, grande e média, prismática que se desfaz em moderada, médio e pequeno, blocos angulares; dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Bik2 34-46 cm, bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/3); argila; moderada, média e pequena, prismática e blocos angulares; dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Bck 46-60 cm⁺, bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/3); argila; moderada, média e pequena, blocos angulares; ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa.

III. OBSERVAÇÕES:

Presença de materiais primários no horizonte Bck e com efervescência forte.

Tabela 21. Análises físicas e químicas do perfil 2 da topossequência-T1 do município de Aurora-TO.

Horizonte	Frações totais			Composição granulométrica da terra fina							Densidade		Porosidade	
	Esp cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	TFSA <2 mm	AG 2-0,20 mm	AF 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002mm	Argila <0,002 mm	A.N. g kg ⁻¹	GF %	Silte Argila	Solo Mg/m ³		Partícula Mg/m ³
Ak	0-9	----	----		120	170	330	380	320	16	0,87	1,59	2,71	41,38
ABk	9-15	----	----		80	220	360	340	330	3	1,06	----	----	----
BAk	15-23	----	----		80	160	400	360	360	0	1,11	----	----	----
Bik1	23-34	----	----		40	20	440	500	480	4	0,88	1,28	2,17	41,06
Bik2	34-46	----	----		40	50	360	550	530	4	0,65	----	----	----
BCK	46-60	----	----		50	40	340	570	550	4	0,60	----	----	----

Hor	pH		Complexo Sortivo							T	V	m	P	CaCO ₃
	Água	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺					
Ak	7,08	6,29	14,8	10,3	0,67	0,02	25,79	0,05	0,36	26,20	98	0	8	81,09
ABk	6,97	6,00	13,7	7,10	0,36	0,02	21,18	0,00	0,41	21,59	98	0	4	82,77
BAk	7,08	5,64	13,5	5,40	0,23	0,03	19,16	0,00	1,24	20,40	94	0	3	86,13
Bik1	7,29	5,40	12,4	5,90	0,18	0,03	18,51	0,00	2,06	20,57	90	0	3	87,81
Bik2	7,54	5,28	12,7	4,70	0,14	0,03	17,57	0,00	1,24	18,81	93	0	2	79,41
BCK	7,95	5,38	11,3	6,10	0,13	0,03	17,56	0,05	1,19	18,79	93	0	2	97,88

Hor	C-org		N	C/N	Composição química da terra fina					Relações Moleculares			Fed	Feo	
	g/kg	g/kg			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ki	kr			Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃
Ak	43,4	----	----		215,2	132,5	83,2	5,23	2,95	----	2,76	1,97	2,50	19,34	6,79
ABk	29,2	----	----		235,7	154,5	88,8	5,26	2,45	----	2,59	1,90	2,73	23,42	6,60
BAk	22,6	----	----		248,9	155,2	86,0	5,50	2,15	----	2,73	2,01	2,83	24,61	8,01
Bik1	23,7	----	----		266,3	160,1	92,1	6,62	1,80	----	2,83	2,07	2,73	20,27	6,72
Bik2	17,7	----	----		284,8	187,0	96,4	6,63	1,20	----	2,59	1,95	3,05	25,68	7,02
BCK	15,5	----	----		288,3	178,6	96,2	6,15	1,06	----	2,74	2,04	2,92	25,95	7,03

Hor: horizonte; **Esp:** espessura; **TFSA:** terra fina seca ao ar; **AG:** areia grossa; **AF:** areia fina; **A.N.:** argila natural; **GF:** grau de floculação; **Valor T:** CTC a pH 7,0 (SB+H+Al); **V:** (SB x 100) / T; **m:** 100*Al³⁺ / (SB+Al³⁺) **P:** fósforo (Olsen et al., 1954) **ki:** (SiO₂/Al₂O₃) x 1,7; **kr:** (SiO₂ x 1,7) / (Al₂O₃ + (0,64 x Fe₂O₃)); **Fed:** ferro extraído com ditionito-citrato-bicarbonato; **Feo:** ferro extraído com oxalato de amônio.

c) PERFIL 3 (T1) – Data: 23.07.2011

I. DESCRIÇÃO GERAL

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: CHERNOSSOLO HÁPLICO Carbonático típico, A Chernozêmico, textura argilosa, fase floresta tropical decidual, relevo ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: MXk.

LOCALIZAÇÃO: Rodovia TO 110, trecho Aurora-Lavandeira, 7 km após o trevo dos Azuis, do lado esquerdo da pista, terço inferior da encosta (linear). Aurora (TO), 12°44'3.88"S 46°28'30.10"W.

ALTITUDE: 433 m.

LITOLOGIA: Calcários do Grupo Bambuí.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Grupo Bambuí.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano superior.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos colúviais provenientes de rocha calcária.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado a forte ondulado.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical decidual

USO ATUAL: Vegetação natural.

CLIMA: C1da'a' (clima subúmido seco com moderada deficiência hídrica), segundo a classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR- Deyvid Diego Carvalho Maranhão, Marcos Gervasio Pereira e Leonardo Santos Collier.

II. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ak1 0-19 cm, vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/2, úmida e 10 R 3/3, seca); francoargilosa; moderada, média e pequena, blocos angulares e granular; ligeiramente dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Ak2 19-29 cm, vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/2, úmida e 10 R 3/3, seca); argila; moderada, média e pequena, blocos angulares; dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

AB \bar{K} 29-44 cm, vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/2, úmida e 10 R 3/3, seca); argilossiltosa; moderada, média e pequena, blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

BAk 44-56 cm, vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/2); franco-argilossiltosa; moderada, média e pequena, blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara

Bik1 56-69 cm, vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/2,); argila; moderada, média e pequena, blocos angulares; dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

Bik2 69-103 cm, vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/2,); argila; moderada, média e pequena, blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

Bik3 103-126 cm, vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/2); franco-argilossiltosa; moderada, média e pequena, blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

BCK1 126-156 cm, vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/2,); argila; moderada, média e pequena, blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

BCK2 156-200 cm⁺, vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/2); argila; moderada, média e pequena, blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável, plástica e pegajosa.

III. OBSERVAÇÕES:

Apesar da proximidade do material de natureza calcária, os horizontes descritos não apresentaram efervescência.

Tabela 22. Análises físicas e químicas do perfil 3 da topossequência-T1 do município de Aurora-TO.

Horizonte	Frações totais			Composição granulométrica da terra fina							Densidade		Porosidade	
	Hor	Esp cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	TFSA <2 mm	AG 2-0,20 mm	AF 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002mm	Argila <0,002 mm	A.N. g kg ⁻¹	GF %	Silte Argila		Solo Mg/m ³
Ak1	0-19	----	----	----	110	100	420	370	350	5	1,14	1,35	2,29	41,31
Ak2	19-29	----	----	----	100	90	390	420	360	14	0,93	1,45	2,45	40,87
ABk	29-44	----	----	----	60	60	470	410	390	5	1,15	1,44	2,44	41,16
BAk	44-56	----	----	----	80	60	490	370	370	0	1,32	1,28	2,20	41,71
Bik1	56-69	----	----	----	90	80	380	450	450	0	0,84	1,51	2,61	42,18
Bik2	69-103	----	----	----	100	60	400	440	430	2	0,91	1,49	2,57	41,99
Bik3	103-126	----	----	----	70	60	490	380	370	3	1,29	1,57	2,66	41,13
Bck1	126-156	----	----	----	100	90	380	430	420	2	0,88	1,51	2,58	41,70
Bck2	156-200	----	----	----	90	80	360	470	460	2	0,77	1,39	2,38	41,85

Hor	pH		Complexo Sortivo							T	V	m	P	CaCO ₃
	Água	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺					
Ak1	7,15	6,5	16,4	7,6	0,6	0	24,6	0,1	1,2	25,9	95	0	20	204,22
Ak2	7,16	6,4	15,6	9,6	0,3	0	25,5	0,1	0,4	26,0	98	0	33	204,22
ABk	7,2	6,3	15,7	6,5	0,3	0	22,5	0,1	1,2	23,8	95	0	20	207,49
BAk	7,2	6,2	14,9	7,7	0,3	0	23,0	0,1	0,4	23,4	98	0	20	96,20
Bik1	7,16	6,1	14,5	5,8	0,6	0	20,9	0,1	0,4	21,3	98	0	20	81,09
Bik2	7,06	6,2	13,7	6,6	0,5	0	20,9	0,1	0,4	21,3	98	0	17	79,41
Bik3	7,36	6,2	13,4	5,2	0,4	0	19,0	0,1	1,2	20,2	94	0	13	77,73
Bck1	7,6	6,2	11	5,5	0,3	0	16,8	0,1	0,4	17,3	98	0	11	77,73
Bck2	7,39	6,3	10,8	5,6	0,2	0	16,6	0,0	1,2	17,9	93	0	10	77,73

Continua...

Continuação da Tabela 22.

Hor	C-org	N	C/N	Composição química da terra fina						Relações Moleculares			Fed	Feo
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ki	kr	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃		
Ak1	43,5	----	----	190,7	137,0	87,8	5,41	3,85	----	2,37	1,68	2,45	11,96	9,90
Ak2	30,3	----	----	204,7	131,7	87,8	4,98	3,85	----	2,64	1,85	2,36	21,96	11,02
ABk	28,8	----	----	198,3	131,4	92,8	3,96	3,65	----	2,57	1,77	2,22	22,88	9,67
BAk	24,8	----	----	208,5	123,6	92,8	5,40	3,65	----	2,87	1,94	2,09	24,81	8,75
Bik1	13,9	----	----	227,5	147,9	96,7	4,30	2,90	----	2,62	1,84	2,40	26,53	10,56
Bik2	15,1	----	----	227,2	165,0	92,5	4,96	2,95	----	2,34	1,72	2,80	25,96	11,75
Bik3	12,6	----	----	223,9	142,1	90,8	7,00	2,60	----	2,68	1,90	2,46	24,26	9,98
BCK1	8,6	----	----	231,2	137,0	97,1	9,07	2,45	----	2,87	1,97	2,21	26,37	11,50
BCK2	8,6	----	----	218,9	147,1	95,8	6,06	2,10	----	2,53	1,79	2,41	25,82	10,13

Hor: horizonte; **Esp:** espessura; **TFSA:** terra fina seca ao ar; **AG:** areia grossa; **AF:** areia fina; **A.N.:** argila natural; **GF:** grau de floculação; **Valor T:** CTC a pH 7,0 (SB+H+Al); **V:**(SB x 100) / T; **m:** $100 \cdot \text{Al}^{+3} / (\text{SB} + \text{Al}^{+3})$; **P:** fósforo (Olsen et al., 1954); **ki:** $(\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3) \times 1,7$; **kr:** $(\text{SiO}_2 \times 1,7) / (\text{Al}_2\text{O}_3 + (0,64 \times \text{Fe}_2\text{O}_3))$; **Fed:** ferro extraído com ditionito-citrato-bicarbonato; **Feo:** ferro extraído com oxalato de amônio.

d) PERFIL 4 (T1)–Data: 22.07.2011

I. DESCRIÇÃO GERAL

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: VERTISSOLO EBÂNICO Carbonático típico, A Moderado, textura média/argilosa, fase floresta tropical decidual, relevo plano.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: VEK

LOCALIZAÇÃO: Rodovia TO 110, trecho Aurora-Lavandeira, 8 km após o trecho dos Azuis, do lado direito da pista. Aurora (TO), 12°44'1.57"S 46°28'34.72"W

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: As amostras foram coletadas numa após aberto uma trincheira, sob área de pastagem plantada.

ALTITUDE: 427 m.

LITOLOGIA: Calcários do Grupo Bambuí.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA- Grupo Bambuí.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano superior

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos colúviais e aluvionais provenientes do intemperismo de rocha calcária.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Plano a forte ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Mal drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical decidual.

USO ATUAL: Pastagem com brachiaria.

CLIMA: C1dA'a' (Clima subúmido seco com moderada deficiência hídrica), segundo a classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR- Deyvid Diego Carvalho Maranhão, Marcos Gervasio Pereira e Leonardo Santos Collier.

II. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Apk 0-10 cm, bruno muito escuro (10 YR 2/2, úmida e 10 YR 4/2, seca); franco-argilossiltosa; forte, pequena, blocos angulares e granular; dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

AB \bar{k} 10-18 cm, bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmida e 10 YR 4/2, seca); francoargilosa; moderada, pequena, blocos angulares; muito dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

BAk 18-27 cm, bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2); franco-argilosa; moderada, média e pequena, blocos angulares; ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; plana e clara.

Bivk1 27-36 cm, cinzento muito escuro (7,5 YR 3/1); franco-argilossiltosa; forte, média e pequena, prismática e blocos angulares; ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Bivk2 36-72 cm, cinzento muito escuro (7,5 YR 3/1); francoargilosa; forte, média e pequena, prismática e blocos angulares; ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; plana e clara.

BCK 72-90 cm⁺, bruno acinzentado muito escuro (10 YR 3/2); com mosqueado comum, pequeno, distinto, bruno forte (7,5 YR 4/6); franco-argilossiltosa; forte, média e pequena, blocos angulares; dura, friável, plástica e pegajosa.

III. OBSERVAÇÕES: Efervescência forte nos horizontes BAk e Bivk1. Presença de “slinkensides” em todos os horizontes.

Tabela 23. Análises físicas e químicas do perfil 4 da topossequência-T1 do município de Aurora-TO.

Horizonte	Frações totais			Composição granulométrica da terra fina							Densidade		Porosidade	
	Hor	Esp cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	TFSA <2 mm	AG 2-0,20 mm	AF 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002mm	Argila <0,002 mm	A.N. g kg ⁻¹	GF %	Silte Argila		Solo Particula Mg/m ³
Apk	0-10	----	----	----	60	80	460	400	250	38	1,15	1,03	1,74	41,21
ABk	10-18	----	----	----	160	50	460	330	310	6	1,39	1,52	2,59	41,38
BAk	18- 27	----	----	----	180	50	440	330	290	12	1,33	1,51	2,64	43,00
Bivk1	27-36	----	----	----	110	80	410	400	310	23	1,03	1,63	2,76	40,96
Bivk2	36-72	----	----	----	100	110	410	380	370	3	1,08	1,41	2,37	40,38
BCK	72-90 ⁺	----	----	----	90	80	470	360	250	31	1,31	1,49	2,55	41,69

Hor	pH		Complexo Sortivo							T	V	m	P	CaCO ₃
	Água	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺					
Apk	8,25	6,93	23,5	4,4	0,15	0,04	28,09	0	1,24	29,33	96	0	4	197,45
ABk	8,28	7,00	20,7	5,5	0,11	0,06	26,37	0	0,41	26,78	98	0	3	222,64
BAk	8,33	7,04	19,5	5,7	0,09	0,06	25,35	0	0,41	25,76	98	0	3	276,38
Bivk1	8,27	7,11	21,8	6,0	0,06	0,06	27,92	0	0,41	28,33	99	0	2	267,98
Bivk2	8,31	6,95	26,2	10,4	0,12	0,30	37,02	0	0,41	37,43	99	0	2	243,44
BCK	8,37	7,24	13,7	13,2	0,05	0,12	27,07	0	1,24	28,31	96	0	2	351,28

Hor	C-org		N	C/N	Composição química da terra fina					Relações Moleculares			Fed	Feo	
	g/kg	g/kg			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ki	kr			Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃
Apk	29,8	----	----	----	227,4	119,2	62,3	3,60	1,54	----	3,24	2,43	3,00	11,76	8,43
ABk	19,9	----	----	----	208,7	102,5	72,1	4,15	1,32	----	3,46	2,39	2,23	9,92	7,41
BAk	16,5	----	----	----	194,8	99,6	63,8	3,18	1,10	----	3,32	2,36	2,45	9,56	7,74
Bivk1	19,7	----	----	----	201,6	94,6	62,9	3,00	1,04	----	3,62	2,54	2,36	9,27	6,25
Bivk2	18,5	----	----	----	260,8	144,6	68,2	3,44	0,80	----	3,07	2,36	3,33	20,73	9,92
BCK	10,7	----	----	----	215,3	110,7	61,0	3,20	0,59	----	3,30	2,44	2,85	8,48	5,37

Hor: horizonte; **Esp:** espessura; **TFSA:** terra fina seca ao ar; **AG:** areia grossa; **AF:** areia fina; **A.N.:** argila natural; **GF:** grau de floculação; **Valor T:** CTC a pH 7,0 (SB+H+Al); **V:** (SB x 100) / T; **m:** 100*Al³⁺ / (SB+Al³⁺) **P:** fósforo (Olsen et al., 1954) **ki:** (SiO₂/Al₂O₃) x 1,7; **kr:** (SiO₂ x 1,7) / (Al₂O₃ + (0,64 x Fe₂O₃)); **Fed:** ferro extraído com ditionito-citrato-bicarbonato; **Feo:** ferro extraído com oxalato de amônio.

e) PERFIL 5 (T1)–Data: 22.07.2011

I. DESCRIÇÃO GERAL

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: CAMBISSOLO FLÚVICO Carbonático típico, A Moderado, textura média/argilosa, fase floresta tropical decidual, relevo ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: CYk.

LOCALIZAÇÃO: Margem do rio Canabrava, trecho Aurora-Lavandeira, 8 km após o trevo dos Azuis, do lado direito da pista. Aurora (TO), 12°44'0.69"S 46°28'37.68"W

ALTITUDE: 425 m.

LITOLOGIA: Calcários do Grupo Bambuí.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Grupo Bambuí.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano superior.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos aluviais e coluviais provenientes do intemperismo de rocha calcária.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Plano a forte ondulado.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical decidual

USO ATUAL: Remanescente de floresta

CLIMA: C1dA'a' (clima subúmido seco com moderada deficiência hídrica), segundo a classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Deyvid Diego Carvalho Maranhão, Marcos Gervasio Pereira e Leonardo Santos Collier.

II. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ak 0-10 cm, bruno-escuro (10 YR 3/3, úmida e 10 YR 4/4, seca); francoargilosa; moderada, média e pequena, blocos angulares; ligeiramente dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

AB \bar{k} 10-22 cm, bruno-escuro (10YR 3/3, úmida e 10 YR 4/4, seca); francoargilosa; moderada, grande e média, blocos angulares; muito dura, firme, plástica e muito pegajosa; transição plana e clara.

BAk 22-40 cm, bruno-escuro (10YR 3/3); franco-argilossiltosa; forte, grande e média, blocos angulares; muito dura, friável, plástica e muito pegajosa; transição plana e clara.

Bik1 40-59 cm, bruno-amarelado-escuro (10 YR 3/6); argilossiltosa; forte, grande e médio, blocos angulares; muito dura, friável, plástica e muito pegajosa; transição plana e clara.

Bik2 59-80 cm, bruno-amarelado-escuro (10 YR 3/4); francoargilosa; forte, grande e médio, blocos angulares; muito dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Bi \bar{k} 3 80-100 cm, bruno-amarelado-escuro (10 YR 4/4); francoargilosa; moderada, média, blocos angulares; muito dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Bck 100-120 cm⁺, bruno-acinzentado-escuro (2,5 Y 4/2) com mosqueado comum, médio, distintos bruno-amarelado (10 YR 5/6, úmida); argilosa; forte, média e pequena, blocos angulares; muito dura, firme, plástica e pegajosa.

III. OBSERVAÇÕES:

Efervescência ligeira nos horizontes Ak, ABk, BAk e Bik1; e forte no Bik2, Bi \bar{k} 3 e Bck.

Tabela 24. Análises físicas e químicas do perfil 5 da topossequência-T1 do município de Aurora-TO.

Horizonte	Frações totais			Composição granulométrica da terra fina							Densidade		Porosidade	
	Esp cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	TFSA <2 mm	AG 2-0,20 mm	AF 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002mm	Argila <0,002 mm	A.N. g kg ⁻¹	GF %	Silte Argila	Solo Mg/m ³		Partícula Mg/m ³
Ak	0-10	----	----	----	130	80	480	310	280	10	1,55	1,07	1,81	40,84
ABk	10-22	----	----	----	180	50	490	280	270	4	1,75	1,27	2,13	40,52
BAk	22-40	----	----	----	80	70	470	380	270	29	1,24	1,57	2,69	41,53
Bik1	40-59	----	----	----	70	60	460	410	400	2	1,12	1,61	2,80	42,63
Bik2	59-80	----	----	----	130	120	420	330	320	3	1,27	1,51	2,62	42,10
BiK3	80-100	----	----	----	190	80	380	350	340	3	1,09	1,65	2,82	41,43
BCk	100-20	----	----	----	110	80	370	440	380	14	0,84	1,74	2,95	41,43
Cgk	120 ⁺	----	----	----	190	80	380	350	350	0	1,09	----	----	----

Hor	pH		Complexo Sortivo							T	V	m	P	CaCO ₃
	Água	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺					
Ak	7,91	7,2	17,1	8,3	0,2	0,1	25,7	0	1,2	26,9	95	0	5	308,80
ABk	8,32	7,2	16,3	9,6	0,1	0,1	26,1	0	0,4	26,5	98	0	3	298,99
BAk	8,29	7,1	16,3	8,3	0,1	0,1	24,8	0	0,4	25,2	98	0	3	239,43
Bik1	8,38	7,1	16,1	12,9	0,1	0,1	29,2	0	0,4	29,6	99	0	2	239,43
Bik2	8,45	7,2	15	5,9	0,1	0,1	21,0	0	1,2	22,3	94	0	2	436,25
BiK3	8,48	7,2	15,5	5,3	0,1	0,1	20,9	0	0,4	21,4	98	0	2	423,18
BCk	8,39	7,2	18,2	7,4	0,1	0,1	25,8	0	0,4	26,2	98	0	2	351,28
Cgk	8,21	7,2	10,5	10,3	0,1	0,1	21,0	0	1,1	22,2	94	0	2	426,44

Hor	C-org	N	C/N	Composição química da terra fina					Relações Moleculares			Fed	Feo	
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ki	kr			Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃
Ak	31,5	----	----	182,9	91,8	57,6	3,18	1,18	----	3,39	2,42	2,5	9,77	5,59
ABk	19,2	----	----	213,5	107,6	64,9	3,37	0,96	----	3,37	2,43	2,61	11,43	6,89
BAk	20,4	----	----	226,2	115,5	68,9	3,95	1,04	----	3,33	2,41	2,63	12,13	7,36
Bik1	18,7	----	----	233,5	134,1	69,1	3,96	1,04	----	2,96	2,23	3,05	13,01	7,83
Bik2	7,6	----	----	185,8	96,1	62,1	3,91	0,52	----	3,29	2,32	2,43	12,23	2,64
BiK3	9,3	----	----	210,8	109,6	63,4	4,32	0,45	----	3,27	2,39	2,71	10,48	1,60
BCk	10,3	----	----	212,8	104,6	67,7	3,36	0,26	----	3,46	2,44	2,43	11,20	1,16
Cgk	7,8	----	----	201,0	99,1	50,1	3,35	0,23	----	3,45	2,61	3,10	6,73	0,90

Hor: horizonte; **Esp:** espessura; **TFSA:** terra fina seca ao ar; **AG:** areia grossa; **AF:** areia fina; **A.N.:** argila natural; **GF:** grau de floculação; **Valor T:** CTC a pH 7,0 (SB+H+Al); **V:** (SB x 100) / T; **m:** 100*Al³⁺ / (SB+Al³⁺); **P:** fósforo (Olsen et al., 1954); **ki:** (SiO₂ / Al₂O₃) x 1,7; **kr:** (SiO₂ x 1,7) / (Al₂O₃ + (0,64 x Fe₂O₃)); **Fed:** ferro extraído com ditionito-citrato-bicarbonato; **Feo:** ferro extraído com oxalato de amônio.

f) PERFIL 6 (T1)–Data: 24.07.2011

I. DESCRIÇÃO GERAL

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: CAMBISSOLO FLÚVICO Carbonático vertissólico, A Moderado, textura média/argilosa, fase floresta tropical decidual, relevo ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: CYk.

LOCALIZAÇÃO: Rodovia TO 110, trecho Aurora-Lavandeira, 8 km após o trevo dos Azuis, do lado direito da pista, margem do rio Canabrava. Aurora (TO), 12°44'0.68"S 46°28'38.17"W.

ALTITUDE: 451 m.

LITOLOGIA: Calcários do Grupo Bambuí.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Grupo Bambuí.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano superior.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos aluviais e coluvionais provenientes de rochas calcárias.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Plano a forte ondulado.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical decidual

USO ATUAL: Remanescente de floresta

CLIMA: C1dA'a' (Clima subúmido seco com moderada deficiência hídrica), segundo a classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Deyvid Diego Carvalho Maranhão, Marcos Gervasio Pereira e Leonardo Santos Collier.

II. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ak 0-12 cm, bruno-acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, úmida e 10 YR 5/2, seca); franco-argilossiltosa; moderada, média e pequena, blocos angulares e granular; muito dura, firme, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e clara.

ABk 12-20 cm, bruno-acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, úmida e 10 YR 5/2, seca); francoargilosa; moderada, média e pequena, blocos angulares e granular; dura, firme, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Bik 20-44 cm, bruno- escuro (10 YR 4/3); franco-argilossiltosa; moderada, média e pequena, blocos angulares; muito dura, firme, ligeiramente plástica e muito pegajosa; transição plana e clara.

Cvk1 44-59 cm, bruno-escuro (10 YR 3/3); francossiltosa; moderada, pequena a muito pequena, blocos angulares; dura, firme, ligeiramente plástica e muito pegajosa; transição plana e clara.

Cvk2 59-74 cm, bruno-escuro (10 YR 3/3,); franco; moderada, pequena a muito pequena, blocos angulares; dura, firme, ligeiramente plástica e muito pegajosa; transição plana e clara.

Cvk3 74-93 cm⁺, bruno-amarelado-escuro (10 YR 3/4,); franco; moderada, pequena a muito pequena, blocos angulares; fraca, macia, ligeiramente plástica e pegajosa.

III. OBSERVAÇÕES:

Efervescência forte em todos os horizontes descritos; presença de “slinkensides” (superfície de fricção) nos horizontes Cvk1, Cvk2, Cvk3.

Tabela 25. Análises físicas e químicas do perfil 6 da topossequência-T1 do município de Aurora-TO.

Horizonte	Frações totais			Composição granulométrica da terra fina							Densidade		Porosidade	
	Hor	Esp cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	TFSA <2 mm	AG 2-0,20 mm	AF 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002mm	Argila <0,002 mm	A.N. g kg ⁻¹	GF %	Silte Argila		Solo Particula Mg/m ³
Ak	0-12	----	----	----	110	80	430	380	260	32	1,13	----	----	----
ABk	12-20	----	----	----	160	110	420	310	280	10	1,35	----	----	----
Bik	20-44	----	----	----	100	80	490	330	310	6	1,48	----	----	----
Cvk1	44-59	----	----	----	190	50	480	280	280	0	1,71	----	----	----
Cvk2	59-74	----	----	----	220	110	400	270	260	4	1,48	----	----	----
Cvk3	74-93 ⁺	----	----	----	350	100	330	220	210	5	1,5	----	----	----

Hor	pH		Complexo Sortivo							T	V	m	P	CaCO ₃
	Água	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺					
Ak	8,10	7	12,5	12,9	0,2	0,0	25,6	0	0,4	28,7	96	0	4	259,58
ABk	8,34	7,1	12,7	8,4	0,1	0,1	21,3	0	2,1	25,5	95	0	3	348,01
Bik	8,41	7,1	11,0	9,6	0,1	0,1	20,8	0	0,4	25,2	98	0	2	328,41
Cvk1	8,32	7,2	10,3	10,7	0,1	0,1	21,1	0	0,4	26,2	95	0	2	334,94
Cvk2	8,41	7,3	8,5	7,7	0,1	0,1	16,3	0	0,4	28,7	96	0	2	432,98
Cvk3	8,36	7,6	6,0	8,1	0,0	0,1	14,2	0	0,4	25,5	95	0	3	619,25

Hor	C-org		N	C/N	Composição química da terra fina					Relações Moleculares			Fed	Feo
	g/kg	g/kg			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ki	kr		
Ak	23,7	----	----	198,2	105,3	61,9	3,96	1,18	----	3,20	2,32	2,67	12,38	5,05
ABk	15,4	----	----	180,6	91,6	57,5	2,99	0,90	----	3,35	2,39	2,50	11,10	6,33
Bik	14,6	----	----	201,0	109,5	58,3	6,01	0,80	----	3,12	2,33	2,95	11,85	7,05
Cvk1	11,1	----	----	181,5	91,3	63,4	3,73	0,80	----	3,38	2,34	2,26	12,61	3,02
Cvk2	9,1	----	----	168,6	91,0	48,9	4,71	0,62	----	3,15	2,34	2,92	8,01	2,82
Cvk3	6,8	----	----	120,2	64,5	31,4	2,42	0,58	----	3,17	2,42	3,23	8,32	3,31

Hor: horizonte; **Esp:** espessura; **TFSA:** terra fina seca ao ar; **AG:** areia grossa; **AF:** areia fina; **A.N.:** argila natural; **GF:** grau de floculação; **Valor T:** CTC a pH 7,0 (SB+H+Al); **V:** (SB x 100) / T; **m:** 100*Al³⁺ / (SB+Al³⁺); **P:** fósforo (Olsen et al., 1954); **ki:** (SiO₂ / Al₂O₃) x 1,7; **kr:** (SiO₂ x 1,7) / (Al₂O₃ + (0,64 x Fe₂O₃)); **Fed:** ferro extraído com ditionito-citrato-bicarbonato; **Feo:** ferro extraído com oxalato de amônio.

6.2. Relação dos Perfis T2

g) PERFIL 1 (T2)–Data: 24.07.2011

I. DESCRIÇÃO GERAL

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: CHERNOSSOLO RÊNDZICO Lítico típico, A Chernozêmico, textura média, fase de Floresta tropical decidual, relevo forte ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: MDI

LOCALIZAÇÃO: Rodovia TO 110, trecho Taguatinga-Aurora, km 45 do lado esquerdo da pista, topo da encosta. Aurora (TO), 12°41'49.0"S 46°22'54.0"W.

ALTITUDE: 560 m.

LITOLOGIA: Calcários do Grupo Bambuí.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Grupo Bambuí.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano superior

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto do intemperismo de rocha calcária.

PEDREGOSIDADE: Pedregoso.

ROCHOSIDADE: Rochoso.

RELEVO LOCAL: Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL: Plano a forte ondulado.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical decidual.

USO ATUAL: Remanescente de floresta

CLIMA: C1dA'a' (clima subúmido seco com moderada deficiência hídrica), segundo a classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Deyvid Diego Carvalho Maranhão, Marcos Gervasio Pereira e Leonardo Santos Collier.

II. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A \bar{k} 0-8 cm, cinzento muito escuro (7,5 YR 3/1, úmida e 7,5 YR 4/3, seca); francoargilosa; forte, pequena, granular; macio, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição descontínua e clara.

ACrk 8-25 cm, bruno muito escuro (7,5 YR 2,5/3, úmida e 7,5 YR 4/3, seca); francoargilosa; forte, pequena, granular e fraca, pequena, blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição descontínua e clara.

R 25 cm⁺, Rocha calcária.

III. OBSERVAÇÕES:

Presença de fragmentos de calcário dentro do horizonte superficial.

Tabela 26. Análises físicas e químicas do perfil 1 da topossequência-T2 do município de Lavandeira-TO.

Horizonte	Frações totais			Composição granulométrica da terra fina							Densidade		Porosidade	
	Esp cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	TFSA <2 mm	AG 2-0,20 mm	AF 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002mm	Argila <0,002 mm	A.N. g kg ⁻¹	GF %	Silte Argila	Solo Mg/m ³		Partícula Mg/m ³
A \bar{K}	0-8	----	----	----	230	90	370	310	170	45	1,19	----	----	----
ACrk	8-25	----	----	----	210	90	390	310	220	29	1,26	----	----	----
R	25 ⁺	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Hor	pH		Complexo Sortivo							T	V	m	P	CaCO ₃
	Água	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺					
A \bar{K}	7,30	6,55	27,4	8,80	0,33	0,04	36,57	0,05	1,19	37,81	97	0	8	209,20
ACrk	7,48	6,58	19,9	11,10	0,13	0,04	31,17	0,05	1,19	32,41	96	0	4	102,92
R	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Hor	C-org g/kg	N	C/N	Composição química da terra fina						Relações Moleculares			Fed	Feo
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ki	kr	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃		
A \bar{K}	74,6	----	----	168,5	92,9	67,7	6,36	2,80	----	3,08	2,07	2,16	9,53	5,79
ACrk	40,8	----	----	160,1	87,7	65,6	5,68	2,80	----	3,10	2,10	2,10	13,06	4,68
R	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	----	-----	-----	-----	-----	-----

Hor: horizonte; **Esp:** espessura; **TFSA:** terra fina seca ao ar; **AG:** areia grossa; **AF:** areia fina; **A.N.:** argila natural; **GF:** grau de floculação; **Valor T:** CTC a pH 7,0 (SB+H+Al); **V:** (SB x 100) / T; **m:** 100*Al³⁺ / (SB+Al³⁺) **P:** fósforo (Olsen et al., 1954) ;**ki:** (SiO₂/Al₂O₃) x 1,7; **kr:** (SiO₂ x 1,7) / (Al₂O₃ + (0,64 x Fe₂O₃)); **Fed:** ferro extraído com ditionito-citrato-bicarbonato; **Feo:** ferro extraído com oxalato de amônio.

h) PERFIL 2 (T2)–Data: 24.07.2011

I. DESCRIÇÃO GERAL

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico hipocarbonático, A Moderado, textura média, fase floresta tropical decidual, relevo forte ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: CXk.

LOCALIZAÇÃO: Rodovia TO 110, trecho Taguatinga-Aurora, km 45 do lado esquerdo da pista, terço superior da encosta. Aurora (TO), 12°41'50.0"S 46°22'54.0"W.

ALTITUDE: 562 m.

LITOLOGIA: Calcários do Grupo Bambuí.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Grupo Bambuí.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano superior.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto do intemperismo de rocha calcária.

PEDREGOSIDADE: Pedregoso.

ROCHOSIDADE: Rochoso.

RELEVO LOCAL: Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL: Plano a forte ondulado.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical decidual

USO ATUAL: Remanescente de floresta.

CLIMA: C1da'a' (Clima subúmido seco com moderada deficiência hídrica), da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Deyvid Diego Carvalho Maranhão, Marcos Gervasio Pereira e Leonardo Santos Collier.

II. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ak 0-5 cm, bruno – escuro (7,5 YR 3/2, úmida e 7,5 YR 4/3, seca); francoargilosa; moderada, média e pequena, blocos subangulares e granular; macio, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e clara.

ABk 5-10 cm, bruno muito escuro (7,5 YR 2,5/2, úmida e 7,5 YR 4/3, seca); francoargilosa; moderada, média, blocos angulares e granular; dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

BAk 10-18 cm, bruno – escuro (7,5 YR 3/3,); francoargilosa; moderada, pequena, blocos angulares; dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Bik 18-31 cm, bruno – escuro (7,5 YR 3/3,); franco-argilossiltosa; moderada, pequena, blocos angulares; muito dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Ck 31- 46 cm⁺, bruno muito escuro (10 YR 2/2); argila; fraca, pequena, granular e grão simples; solta, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

III. OBSERVAÇÕES:

Presença de matacões e calhaus de maior tamanho foram descartados durante a coleta, os quais foram evidenciados nos horizontes Ak, ABk, BAK.

Tabela 27. Análises físicas e químicas do perfil 2 da topossequência-T2 do município de Lavandeira-TO.

Horizonte	Frações totais			Composição granulométrica da terra fina							Densidade		Porosidade	
	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	Mg/m ³	Mg/m ³		cm ³ /100cm ³
Hor	Esp cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	TFSA <2 mm	AG 2-0,20 mm	AF 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002mm	Argila <0,002 mm	A.N. g kg ⁻¹	GF %	Silte Argila	Solo	Partícula	cm ³ /100cm ³
Ak	0-5	----	----	----	160	140	380	320	170	47	1,19	----	----	----
ABk	5-10	----	----	----	100	110	480	310	140	55	1,55	----	----	----
BAk	10-18	----	----	----	180	190	310	320	260	19	0,97	----	----	----
Bik	18-31	----	----	----	90	100	490	320	210	34	1,53	----	----	----
Ck	31-46	----	----	----	100	80	530	290	250	14	1,83	----	----	----

Hor	pH		Complexo Sortivo							T	V	m	P	CaCO ₃
	Água	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺					
Ak	7,15	6,38	18,3	7,3	0,2	0	25,8	0,05	2,0	27,9	93	0	5	94,52
ABk	7,07	6,25	14,6	10,9	0,1	0	25,6	0,05	2,0	27,7	93	0	3	94,52
BAk	7,18	6,22	13,7	7,5	0,1	0	21,3	0,05	1,2	22,5	95	0	2	79,41
Bik	7,34	6,16	14,0	7,7	0,1	0	21,8	0,05	2,0	23,9	91	0	3	91,17
Ck	7,00	6,15	14,5	7,2	0,1	0	21,8	0,05	2,0	23,9	91	0	5	96,20

Hor	C-org	N	C/N	Composição química da terra fina					Relações Moleculares			Fed	Feo	
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ki	kr			Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃
Ak	45,5	----	----	152,1	80,5	60,0	4,04	2,65	----	3,21	2,18	2,11	14,17	6,11
ABk	40,8	----	----	157,9	95,0	72,4	4,99	2,60	----	2,83	1,90	2,06	16,36	5,85
BAk	28,2	----	----	167,3	110,6	74,4	4,98	2,30	----	2,57	1,80	2,34	16,11	5,47
Bik	31,9	----	----	163,8	97,4	72,3	6,77	2,30	----	2,86	1,94	2,12	14,18	7,22
Ck	37,0	----	----	163,9	94,4	67,8	4,96	2,45	----	2,95	2,02	2,18	13,54	7,11

Hor: horizonte; **Esp:** espessura; **TFSA:** terra fina seca ao ar; **AG:** areia grossa; **AF:** areia fina; **A.N.:** argila natural; **GF:** grau de flocculação; **Valor T:** CTC a pH 7,0 (SB+H+Al); **V:** (SB x 100) / T; **m:** 100*Al³⁺ / (SB+Al³⁺) **P:** fósforo (Olsen et al., 1954) **ki:** (SiO₂ / Al₂O₃) x 1,7; **kr:** (SiO₂ x 1,7) / (Al₂O₃ + (0,64 x Fe₂O₃)); **Fed:** ferro extraído com ditionito-citrato-bicarbonato; **Feo:** ferro extraído com oxalato de amônio.

i) PERFIL 3 (T2)–Data: 24.07.2011

I. DESCRIÇÃO GERAL

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático léptico, A Moderado, textura argilosa, fase floresta tropical decidual, relevo forte ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: CXk.

LOCALIZAÇÃO: Rodovia TO 110, trecho Taguatinga-Aurora, km 45 do lado esquerdo da rodovia, no terço médio de elevação. Aurora (TO), 12°41'50.0"S 46°22' 55.0.

ALTITUDE: 570 m.

LITOLOGIA: Calcários do Grupo Bambuí.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Grupo Bambuí.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano superior.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto do intemperismo de rocha calcária.

PEDREGOSIDADE: Pedregoso.

ROCHOSIDADE: Rochoso.

RELEVO LOCAL: Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL: Plano a forte ondulado.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical decidual.

USO ATUAL: Remanescente floresta.

CLIMA: C1da'a' (Clima subúmido seco com moderada deficiência hídrica), da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Deyvid Diego Carvalho Maranhão, Marcos Gervasio Pereira e Leonardo Santos Collier.

II. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ak 0-5 cm, bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/2, úmida e 5 YR 4/3, seca); francoargilosa; forte, média e pequena, blocos subangulares; muito duro, friável, muito plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

AB \bar{k} 5-10 cm, bruno - avermelhado (5 YR 3/2, úmida e 5 YR 4/4, seca); argila; forte, grande e média, blocos angulares; muito dura, muito firme, muito plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

Bik 10-33 cm, bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/4, úmida); francoargilosa; moderada, média, prismática e blocos angulares; muito dura, friável, plástica e pegajosa; transição abrupta e clara.

R 33-50 cm⁺, calcário

III. OBSERVAÇÕES:

Calhaus foram descartados durante a coleta, sendo evidenciados no horizonte Ak.

Tabela 28. Análises físicas e químicas do perfil 3 da topossequência-T2 do município de Lavandeira-TO.

Horizonte	Frações totais			Composição granulométrica da terra fina							Densidade		Porosidade	
	Hor	Esp cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	TFSA <2 mm	AG 2-0,20 mm	AF 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002mm	Argila <0,002 mm	A.N. g kg ⁻¹	GF %	Silte Argila		Solo Particula Mg/m ³
Ak	0-5	----	----	----	150	190	290	370	280	24	0,78	----	----	----
ABk	5-10	----	----	----	130	180	290	400	270	33	0,73	----	----	----
Bik	10-33	----	----	----	110	160	300	430	300	30	0,70	----	----	----
R	33-50 ⁺	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Hor	pH		Complexo Sortivo							T	V	m	P	CaCO ₃
	Água	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺					
Ak	25,9	6,02	5,80	6,40	0,30	0,02	12,52	0,05	3,66	16,23	77	0	3	87,81
ABk	22,7	6,28	6,50	5,60	0,25	0,02	12,37	0,05	2,01	14,43	86	0	2	220,56
Bik	13,4	6,72	6,00	5,50	0,10	0,02	11,62	0,05	2,01	13,68	85	0	2	81,09
R	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Hor	C-org	N	C/N	Composição química da terra fina						Relações Moleculares			Fed	Feo
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ki	kr	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃		
Ak	25,9	----	----	150,4	123,1	90,4	5,60	0,69	----	2,08	1,41	2,14	26,75	7,16
ABk	22,7	----	----	157,8	125,2	83,9	5,58	0,73	----	2,14	1,50	2,34	21,73	8,16
Bik	13,4	----	----	178,2	159,0	96,1	6,94	0,65	----	1,91	1,37	2,60	27,21	7,35
R	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Hor: horizonte; **Esp:** espessura; **TFSA:** terra fina seca ao ar; **AG:** areia grossa; **AF:** areia fina; **A.N.:** argila natural; **GF:** grau de floculação; **Valor T:** CTC a pH 7,0 (SB+H+Al); **V:** (SB x 100) / T; **m:** 100*Al³⁺ / (SB+Al³⁺) **P:** fósforo (Olsen et al., 1954) **ki:** (SiO₂/Al₂O₃) x 1,7; **kr:** (SiO₂ x 1,7) / (Al₂O₃ + (0,64 x Fe₂O₃)); **Fed:** ferro extraído com ditionito-citrato-bicarbonato; **Feo:** ferro extraído com oxalato de amônio.

j) PERFIL 4 (T2)–Data: 24.07.2011

I. DESCRIÇÃO GERAL

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: LUVISSOLO HÁPLICO Órtico típico, A Moderado, textura média, fase floresta tropical decidual, relevo ondulado.

UNIDADE DE MAPEAMENTO: TXo

LOCALIZAÇÃO: Rodovia TO 110, trecho Taguatinga-Aurora, km 45 do lado esquerdo da pista, terço inferior da pendente. Aurora (TO), 12°41'50.0"S 46°22'57.0"W

ALTITUDE: 546 m.

LITOLOGIA: Calcários do Grupo Bambuí.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Grupo Bambuí.

CRONOLOGIA: Pré-Cambriano superior

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos coluviais, resultante do intemperismo de rocha calcária,

PEDREGOSIDADE: Ausente.

ROCHOSIDADE: Ausente.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Plano a forte ondulado.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical decidual

USO ATUAL: Pastagem brachiária.

CLIMA: C1da'a' (Clima subúmido seco com moderada deficiência hídrica), da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Deyvid Diego Carvalho Maranhão, Marcos Gervasio Pereira e Leonardo Santos Collier.

II. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Apk 0-8 cm, bruno - avermelhado (5 YR 3/3, úmida e 5 YR4/4, seca); francoargilosa; moderada, pequena e muito pequena, granular; muito duro, firme, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

ABk 8-13 cm, bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/2, úmida e 5 YR 4/4, seca); francoargilosa; moderada, média e pequena, blocos angulares e subangulares; dura, muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

BAk1 13-18 cm, vermelho-escuro-acinzentado (2,5 YR 3/2); francoargilosa; moderada, média e pequena, blocos angulares e subangulares; muito dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

BAk2 18-32 cm, vermelho-escuro-acinzentado (2,5 YR 3/3); francoargilosa; moderada, média e pequena, blocos angulares; muito dura, friável, ligeiramente plástica e muito pegajosa; transição plana e gradual.

Btk1 32-43 cm, vermelho-escuro-acinzentado (2,5 YR 3/2); francoargilosa; forte, grande e média, blocos angulares; cerosidade comum e moderada; muito dura, friável, plástica e muito pegajosa; transição plana e gradual.

Btk2 43-57 cm, bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4); argila; moderada, média, blocos angulares; cerosidade comum e moderada; muito dura, muito friável, plástica e muito pegajosa; transição plana e gradual.

Bck 57-70 cm⁺, bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4); argila; fraca, pequena e muito pequena, blocos angulares; muito dura, friável, plástica e muito pegajosa.

Tabela 29. Análises físicas e químicas do perfil 4 da topossequência-T2 do município de Lavandeira-TO.

Horizonte	Frações totais			Composição granulométrica da terra fina							Densidade		Porosidade	
	Hor	Esp cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2 mm	TFSA <2 mm	AG 2-0,20 mm	AF 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002mm	Argila <0,002 mm	A.N. g kg ⁻¹	GF %	Silte Argila		Solo Mg/m ³
Apk	0-8	----	----	----	140	200	370	290	250	14	1,28	----	----	----
ABk	8-13	----	----	----	150	190	330	330	240	27	1,00	----	----	----
BAk1	13-18	----	----	----	120	180	330	370	280	24	0,89	----	----	----
BAk2	18-32	----	----	----	120	170	390	320	300	6	1,22	----	----	----
Btk1	32-43	----	----	----	120	150	350	380	370	3	0,92	----	----	----
Btk2	43-57	----	----	----	90	80	360	470	430	9	0,77	----	----	----
BCK	57-70	----	----	----	90	120	270	520	500	4	0,52	----	----	----

Hor	pH		Complexo Sortivo							T	V	m	P	CaCO ₃
	Água	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺					
Apk	6,42	5,00	6,3	9,2	0,1	0	15,7	0,05	2,8	18,6	84	0	4	81,09
ABk	6,06	4,86	7,8	6,9	0,1	0	14,8	0,05	2,8	17,7	84	0	3	81,09
BAk1	6,18	4,86	6,3	6,7	0,1	0	13,1	0,05	2,0	15,2	86	0	3	81,09
BAk2	6,17	4,93	7,5	5,3	0,1	0	12,9	0,05	2,0	15,0	86	0	3	79,41
Btk1	6,11	4,94	5,1	9,4	0,1	0	14,6	0,05	1,2	15,8	92	0	2	79,41
Btk2	6,74	5,28	4,8	7,0	0,1	0	11,9	0,05	1,2	13,1	91	0	2	81,09
BCK	6,52	5,41	5,7	6,1	0,1	0	11,9	0,05	1,2	13,2	91	0	2	82,77

Hor	C-org	N	C/N	Composição química da terra fina					Relações Moleculares			Fed	Feo	
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ki	kr			Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃
Apk	24,9	----	----	123,7	103,6	77,2	7,87	0,68	----	2,03	1,37	2,11	14,49	7,64
ABk	27,8	----	----	134,6	104,0	80,6	5,34	0,62	----	2,20	1,47	2,03	21,93	8,48
BAk1	20,4	----	----	133,0	111,5	83,4	8,40	0,55	----	2,03	1,37	2,10	20,75	7,72
BAk2	18,9	----	----	150,2	116,9	87,6	5,99	0,55	----	2,18	1,48	2,09	27,71	7,17
Btk1	12,8	----	----	175,2	137,7	88,6	5,55	0,51	----	2,16	1,53	2,44	24,46	6,70
Btk2	8,4	----	----	205,7	169,0	101,9	6,22	0,45	----	2,07	1,49	2,60	25,13	9,46
BCK	7,2	----	----	219,3	176,8	102,0	6,22	0,42	----	2,11	1,54	2,72	29,11	8,60

Hor: horizonte; **Esp:** espessura; **TFSA:** terra fina seca ao ar; **AG:** areia grossa; **AF:** areia fina; **A.N.:** argila natural; **GF:** grau de flocculação; **Valor T:** CTC a pH 7,0 (SB+H+Al); **V:** (SB x 100) / T; **m:** 100*Al³⁺ / (SB+Al³⁺) **P:** fósforo (Olsen et al., 1954) **ki:** (SiO₂ / Al₂O₃) x 1,7; **kr:** (SiO₂ x 1,7) / (Al₂O₃ + (0,64 x Fe₂O₃)); **Fed:** ferro extraído com ditionito-citrato-bicarbonato; **Feo:** ferro extraído com oxalato de amônio.