



WALBERT JÚNIOR REIS DOS SANTOS

**FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA PARA
SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL;
MAPEAMENTO DE SOLOS E
CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE
MICROBACIA HIDROGRÁFICA PILOTO NOS
TABULEIROS COSTEIROS DO ESPÍRITO
SANTO**

LAVRAS – MG

2012

WALBERT JÚNIOR REIS DOS SANTOS

**FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA PARA SOLOS DO RIO
GRANDE DO SUL; MAPEAMENTO DE SOLOS E CARACTERIZAÇÃO
MORFOMÉTRICA DE MICROBACIA HIDROGRÁFICA PILOTO NOS
TABULEIROS COSTEIROS DO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. João José Marques

Coorientador

Dr. Nilton Curi

LAVRAS – MG

2012

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Santos, Walbert Júnior Reis dos.

Funções de pedotransferência para solos do Rio Grande do Sul;
mapeamento de solos e caracterização morfométrica de microbacia
hidrográfica piloto nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo /
Walbert Júnior Reis dos Santos. – Lavras : UFLA, 2012.

117 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: João José Granate de Sá e Melo Marques.

Bibliografia.

1. Pedofunções. 2. Curva de retenção de água. 3. Levantamento
pedológico. 4. Geoprocessamento. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD – 631.4781

WALBERT JÚNIOR REIS DOS SANTOS

**FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA PARA SOLOS DO RIO
GRANDE DO SUL; MAPEAMENTO DE SOLOS E CARACTERIZAÇÃO
MORFOMÉTRICA DE MICROBACIA HIDROGRÁFICA PILOTO NOS
TABULEIROS COSTEIROS DO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28 de fevereiro de 2012.

Dr. João José Marques UFLA

Dr. Nilton Curi UFLA

MSc. Rodrigo Villela Machado UFLA

Dr. João José Marques
UFLA
Orientador

LAVRAS – MG

2012

Aos meus pais, Waldemar e Rita, e meu irmão Wesllen.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade.

A CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

À Fibria S.A., na pessoa do pesquisador Sebastião da Fonseca e à Celulose Riograndense, na pessoa do pesquisador Elias Frank de Araújo, pelo apoio e liberação dos dados para a dissertação.

Ao professor João José Marques, pela orientação, acolhida, paciência e disposição para ajudar.

Ao professor Nilton Curi, pela confiança, paciência e pelos ensinamentos pedológicos e da vida.

Ao professor Rodrigo Villela Machado, pelas contribuições no trabalho e participação na banca.

A todos os funcionários do DCS/UFLA.

A todos os colegas de departamento, em especial aos colegas Bruno Montoani e Paulo Boldrin que tornaram as horas extras de estudos mais agradáveis.

Aos colegas Sérgio Henrique Godinho, pela ajuda sem igual, exemplo de prestatividade e amizade, à Elen, Michele e Vladimir.

Aos meus pais Waldemar e Rita pelo, amor e apoio incondicional em todas minhas decisões nas diferentes etapas da minha vida e ao meu irmão Wesllen.

À Gilmara, pelo companheirismo, amor, apoio em todos os momentos e torcida ímpar.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

Esta dissertação é composta por dois capítulos. O primeiro é referente à geração de funções de pedotransferência (FPTs) para a retenção de água nos potenciais de -33 kPa (capacidade de campo) e -1500 kPa (ponto de murcha permanente) para diferentes classes de solos do Estado do Rio Grande do Sul. A retenção de água no solo é utilizada em diversas aplicações agrônômicas e ambientais, porém sua medição direta consome tempo e dinheiro, com isso FPTs são alternativas para obtenção dessas informações de forma mais rápida e econômica. Para gerar as FPTs utilizou-se o banco de dados de análises físicas e químicas dos levantamentos de solos da empresa Celulose Riograndense. Os dados foram estratificados por classes de solos e separados em dados para a geração e dados para validação das FPTs. Geraram-se FPTs específicas para cada classe de solo e também FPTs gerais, sem estratificação por classe de solos, por meio de regressão múltipla, através do pacote stepwise da linguagem de programação R. Na maioria das situações, as FPTs específicas por classe de solo apresentaram melhor ajuste do que as FPTs gerais. O ajuste adequado dos dados demonstrou que os valores de retenção de água nos potenciais de -33 kPa e -1500 kPa podem ser estimados com considerável precisão para os solos do Rio Grande do Sul por meio de FPTs. O segundo capítulo é referente ao levantamento detalhado de solos e alguns índices de análise morfométrica de microbacia hidrográfica piloto nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo. Para a caracterização dos solos e levantamento pedológico, amostrou-se e realizou-se descrição morfológica, análises físicas e químicas de 35 microtrincheiras e três perfis modais. O mapa de solos na escala 1:10.000 foi elaborado por meio do programa ArcGIS 9.3, onde foi gerado o modelo digital de elevação (DEM) para a separação das fases de relevo e geração do índice topográfico de umidade (WI) através do programa SAGA, que auxiliou na separação do Organossolo Háplico dos demais solos. A partir dos limites digitais da microbacia hidrográfica e do DEM calcularam-se alguns índices morfométricos (coeficiente de compactidade (Kc), fator de forma (Kf), índice de circularidade (IC), declividade, altitude, ordem e densidade de drenagem (Dd)). Predominam na microbacia o relevo plano (51 %) e a faixa de altitude entre 30 e 35 m. A forma da microbacia é circular e apresenta tendência mediana a enchentes de alta intensidade, a Dd é baixa e a microbacia é de terceira ordem, segundo a classificação de Strahler (1957). A classe de solo predominante na microbacia foi o Argissolo Amarelo Distrófico/Distrocoeso (97 %), com características morfológicas, químicas e físicas representativas do ambiente dos Tabuleiros Costeiros. Técnicas de geoprocessamento auxiliaram tanto na confecção do mapa de solos, quanto na caracterização morfométrica da microbacia.

Palavras-chave: Pedofunções. Curva de retenção de água. Levantamento pedológico. Geoprocessamento

ABSTRACT

This dissertation consists of two chapters. The first is related to the generation of pedotransfer functions (PTFs) for water-holding capacity at potentials of -33 kPa (field capacity) and -1500 kPa (permanent wilting point) for different soil classes in the State of Rio Grande do Sul. Soil water-holding capacity is used in several agronomic and environmental applications, but its direct measurement takes time and money. Thus, PTFs are alternatives to obtain this information more quickly and economically. In order to generate the PTFs, the database of physical and chemical analyses of soil surveys of the Celulose Riograndense Company was used. The data were stratified by soil class and separated into data for generation and data for validation of the PTFs. There were generated specific PTFs for each soil class and also general PTFs, without stratification by soil class, through multiple regression, by means of the use of the stepwise package of the R programming language. In most situations, the specific PTFs by soil class showed better fit than the general PTFs. Proper adjustment of the data showed that the values of water retention at potentials of -33 kPa and -1500 kPa can be estimated with considerable accuracy for the soils of the State of Rio Grande do Sul through PTFs. The second chapter refers to a detailed soil survey and morphometric analysis of a pilot watershed in the Tabuleiros Costeiros of the State of Espírito Santo. For the characterization of soils and the pedological survey, there were performed morphological description, physical and chemical analyses of 35 observation sites and three soil profiles. The soil map, in the 1:10000 scale, was elaborated using the ArcGIS 9.3 software. This software also generated the digital elevation model (DEM) for the division of the slope classes. SAGA software was used for the generation of wetness index (WI) which assisted in the separation of Haplic Organosol from other soils. From the digital limits of the watershed and from the DEM, it were calculated some morphometric indices (coefficient of compacity (Kc), form factor (Kf), circularity index (IC), slope, altitude, order and drainage density (Dd)). The flat relief is predominant in the watershed (51%) and the altitude ranges between 30 and 35 m. The shape of the watershed is circular and has median tendency to high-intensity floods, the Dd is low. The watershed was classed as being third-order, according to the classification of Strahler (1957). The predominant soil class in the watershed was the dystrophic Yellow Argisol (97%), with morphological, chemical and physical representative characteristics of the Tabuleiros Costeiros. Geoprocessing techniques helped in both making the soil map and in the morphometric characterization of the watershed.

Keywords: Pedofuntions. Water retention curve. Soil survey. Geoprocessing.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	10
INTRODUÇÃO GERAL	11
REFERÊNCIAS	15
CAPÍTULO 2	18
RESUMO	19
ABSTRACT	20
1 INTRODUÇÃO	21
2 MATERIAL E MÉTODOS	23
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
3.1 Propriedades físicas e retenção de água	28
3.2 Geração e validação das funções de pedotransferência específicas	32
3.3 Inclusão de classes de solos semelhantes nas funções de pedotransferência específicas	40
5 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DAS FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA	42
6 CONCLUSÕES	54
REFERÊNCIAS	55
CAPÍTULO 3	58
RESUMO	59
ABSTRACT	60
1 INTRODUÇÃO	61
2 MATERIAL E MÉTODOS	63
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
3.1 Levantamento detalhado de solos	67
3.2 Características morfológicas do solo	70
3.3 Características físicas do solo	73
3.4 Características químicas do solo	76
3.4.1 Análises de rotina	76
3.4.2 Ataque Sulfúrico	79
3.5 Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica piloto	81
4 CONCLUSÃO	85
REFERÊNCIAS	86
APÊNDICE A – DESCRIÇÃO DOS PERFIS MODAIS	91
APÊNDICE B – HORIZONTES, COR E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS DAS MICROTRINCHEIRAS	109
APÊNDICE C - RESULTADOS FÍSICOS DOS SOLOS DAS MICROTRINCHEIRAS	113
APÊNDICE D – RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DE ROTINA DOS SOLOS DAS MICROTRINCHEIRAS	117

CAPÍTULO1

Introdução Geral

INTRODUÇÃO GERAL

A medida de retenção de água no solo é utilizada para diversas finalidades ambientais e agronômicas (KHODAVERDILOO et al., 2011), como, por exemplo, para o estudo do movimento de solutos, projetos de irrigação e drenagem, entre outros (MICHELON et al., 2010; NEBEL et al., 2010). Todavia, sua medida direta consome bastante tempo e dinheiro (SANTRA; DAS, 2008; TOMASELLA; HODNETT; ROSSATO, 2000; TWARAKAVI; ŠIMŮNEK; SCHAAP, 2009) e ainda há problemas de inexatidão nas análises de laboratório (OLIVEIRA et al., 2002). Nesse contexto, métodos indiretos são cada vez mais utilizados para fornecer estimativas das propriedades hidráulicas do solo (DASHTAKI; HOMAEE; KHODABERDILOO, 2010). Exemplo disso são os grandes esforços para a geração de funções de pedotransferência (FPTs) para estimar a retenção de água em diferentes solos em várias regiões do mundo (MACBRATNEY et al., 2002), como em Balland, Pollacco e Arp (2008), Khodaverdiloo et al. (2011), Minasny e Hartemink (2011) e Tomasella, Hodnett e Rossato (2000). Ademais, Minasny e Hartemink (2011) destacam que a utilização de FPTs para estimar propriedades do solo é necessária para superar a falta de informações diretamente medidas.

O termo FPT foi cunhado em 1987 por Bouma e van Lanen (STUMPP et al., 2009), e descrevia funções que relacionavam atributos do solo fáceis de mensurar, como textura e matéria orgânica, com as características hidráulicas do solo (BOUMA; VAN LANEN, 1987). Ou seja, FPTs, ou pedofunções, são modelos matemáticos que permitem transformar informações básicas de solos, disponíveis, por exemplo, em relatórios de levantamentos de solos, em outras informações de obtenção mais difíceis e de maior custo (MICHELON et al., 2010).

Embora grande parte das FPTs tenha sido desenvolvida para estimar propriedades hidráulicas dos solos, há FPTs para estimar outros atributos, como a densidade do solo (BENITES et al., 2007) e a pressão de preconsolidação (DIAS JÚNIOR et al., 2004). Porém, todas elas devem obedecer a alguns princípios gerais que são: Não prever atributo que é mais fácil e mais barato de se obter que o preditor (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2003; MINASNY; HARTEMINK, 2011) e, ao prever uma variável, essa deve ter alguma relação causal com o preditor, pois desenvolver uma FPT não é um exercício estatístico. O desenvolvedor deve entender o solo e usar seu conhecimento para selecionar uma lógica na predição (MINASNY; HARTEMINK, 2011). Ressalta-se também que uma determinada FPT não deve ser extrapolada além da região para onde foi desenvolvida, mesmo se estratificada por classe de solo, no intuito de diminuir os erros da predição do atributo estimado (DASHTAKI; HOMAEE; KHODABERDILOO, 2010; NEMES et al., 2009), pois quanto mais homogêneos forem os solos que compõe a base de dados das FPTs, melhor será o desempenho das mesmas (DASHTAKI; HOMAEE; KHODABERDILOO, 2010).

A classe de solos destaca-se como adequada estratificadora de ambientes a nível local (CURI, 2000). Por isso, o levantamento de solos é base para diversos tipos de estudos ambientais e agronômicos, sendo uma das primeiras etapas no estudo de uma microbacia. No entanto, áreas experimentais, como microbacias piloto (caso de um dos capítulos desta dissertação) exigem mapa de solos na escala 1:50.000 ou maiores (STRECK et al., 2008) e o Brasil carece de mapas de solos nesse nível de detalhe, sendo a maioria dos mapas existentes na escala 1:750.000 ou menores (MCBRATNEY; MEDONÇA SANTOS; MINASNY, 2003). Com isso, o uso de recursos computacionais e tecnológicos, bem como a melhoria constante de ferramentas geotecnológicas como os sistemas de informações geográficas (SIGs), GPS e modelos digitais do terreno

em conjunto com técnicas de geoprocessamento constituem importantes ferramentas auxiliares ao mapeamento de solos (MENEZES, 2011).

Segundo Lacerda e Alvarenga (2000), uma microbacia hidrográfica é a unidade fundamental de trabalhos e estudos de planejamento conservacionista do meio ambiente e de manejo do solo, pois representa um ecossistema fechado monitorável pedohidrológicamente e, somado ao levantamento de solos, a análise morfométrica de microbacia hidrográfica é essencial para caracterizar a dinâmica de um sistema fluvial, e existem várias aplicações para tais técnicas, principalmente para um planejamento ambiental e de manejo da terra adequado (CARDOSO et al., 2006).

A microbacia foco de um dos capítulos dessa dissertação está localizada nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo. Os Tabuleiros Costeiros são formações Terciárias que se encontram desde o Amapá até o Rio de Janeiro. A importância deste ecossistema não está relacionada somente ao significativo contingente de população, o qual perfaz cerca de 50% da região Nordeste, mas também por sua utilização com cana-de-açúcar, pecuária, silvicultura e fruticultura (FONSÊCA et al., 2007) e sua considerável área (estimada em 20 milhões de ha) (JACOMINE et al., 1996). Os solos dos Tabuleiros Costeiros são provenientes principalmente de sedimentos pré-intemperizados da Formação Barreiras, o que se reflete na baixa capacidade de troca de cátions desses solos (FONSÊCA et al., 2007). Os Argissolos e os Latossolos Amarelos são os solos predominantes nesse ecossistema (CORRÊA et al., 2008; DUARTE et al., 2000) e apresentam características peculiares, como o baixo teor de óxidos de Fe e Al, baixa permeabilidade, baixa CTC e fertilidade natural e presença de horizonte subsuperficial coeso, que são restritivas ao manejo desses solos (DUARTE et al., 2000).

Diante do exposto, esta dissertação está dividida em dois capítulos. Os objetivos do primeiro capítulo foram: gerar e validar FPTs para estimar o

conteúdo de água nos potenciais de -33 kPa (capacidade de campo) e -1500 kPa (ponto de murcha permanente), para diferentes classes de solos do Estado do Rio Grande do Sul. E os do segundo foram: realizar o levantamento detalhado de solos (escala 1:10.000) da microbacia hidrográfica piloto utilizando técnicas de campo complementadas por geoprocessamento, e fazer a caracterização morfométrica desta microbacia a partir da estimativa de alguns parâmetros físicos.

REFERÊNCIAS

- BALLAND, V.; POLLACCO, A. P.; ARP, P. Modeling soil hydraulic properties for a wide range of soil conditions. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 219, p. 300-316, 2008.
- BENITES, V. M. et al. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 139, n. 1/2, p. 90-97, 2007.
- BOUMA, J.; VAN LANEN, J. A. J. Transfer functions and threshold values: from soil characteristics to land qualities. In: BEEK, K. J. (Ed.). **Quantified land evaluation**. Washington: International Institute of Aerospace Survey Earth, 1987. p. 106-110.
- CARDOSO, C. A. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.
- CORRÊA, M. M. et al. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 1, p. 297-313, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n1/28.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2011.
- CURI, N. Interpretação e decodificação do levantamento de solos das áreas da Aracruz Celulose S.A no Espírito Santo e sul da Bahia para o cultivo de eucalipto. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento generalizado e semidetalhado de solos da Aracruz Celulose S.A. no Espírito Santo e sul da Bahia para o cultivo de eucalipto**. Rio de Janeiro, 2000. p. 70-80. (Boletim de Pesquisa, 1).
- DASHTAKI, S. G.; HOMAEE, M.; KHODABERDILOO, H. Derivation and validation of pedotransfer functions for estimating soil water retention curve using a variety of soil data. **Soil Use Manage**, Hoboken, v. 26, p. 68-74, 2010.
- DUARTE, M. N. et al. Mineralogia, química e micromorfologia de solos de uma microbacia nos tabuleiros costeiros do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1237-1250, 2000.

DIAS JÚNIOR, M. S. et al. Método alternativo de avaliação da pressão de preconsolidação por meio de um penetrômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, p. 805-810, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Revisão sobre funções de pedotransferência (PTFs) e novos métodos de predição de classes e atributos do solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 50 p. (Documentos, 45).

FONSÊCA, M. H. P. et al. Uso de propriedades físico-hídricas do solo na identificação de camadas adensadas nos Tabuleiros Costeiros, Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, campina Grande, v. 11, n. 4, p. 368–373, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbeaa/v11n4/v11n04a04.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2011.

KHODAVERDILOO, H. et al. Deriving and validating pedotransfer functions for some calcareous soils. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 399, p. 93-99, 2011.

LACERDA, M. P. C.; ALVARENGA, M. I. N. Recursos naturais da microbacia. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 21-32, nov./dez. 2000.

McBRATNEY, A. B.; MEDONÇA SANTOS, M. L.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, Amsterdam, v. 109, p. 41-73, 2003.

MENEZES, M. D. Levantamento pedológico de hortos florestais e mapeamento digital de atributos físicos do solo para estudos hidrológicos. 225p. 2011. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

MICHELON, J. M. et al. Funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em alguns solos do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, p. 848-853, 2010.

MINASNY, B.; HARTEMINK, A. E. Predicting soil properties in the tropics. **Earth-Science Reviews**, Amsterdam, v. 106, p. 52-62, 2011.

NEBEL, A. L. C. et al. Pedotransfer functions related to spatial variability of water retention attributes for lowland soils. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Campinas, v. 34, p. 669-680, 2010.

OLIVEIRA, L. B. et al. Funções de pedotransferência para predição da umidade retida a potenciais específicos em solos do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Campinas, v. 26, p. 315-323, 2002.

SANTRA, P.; DAS, B. S. Pedotransfer functions for soil hydraulic properties developed from a hilly watershed of Eastern India. **Geoderma**, Amsterdam, v. 146, p. 439-448, 2008.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: Emater, 2008. 222 p.

STUMPP, C. et al. Evaluation of pedotransfer functions for estimating soil hydraulic properties of prevalent soils in a catchment of the Bavarian Alps. **European Journal of Forest Research**, Freising, v. 128, n. 6, p. 609-620, 2009.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. G.; ROSSATO, L. Pedotransfer functions for the estimation of soil water retention in Brazilian soils. **Soil Science Society of America Journal, Madisom**, v. 64, p. 327-338, 2000.

TWARAKAVI, N. K. C.; ŠIMŮNEK, J.; SCHAAP, M. G. Development of Pedotransfer Functions for Estimation of Soil Hydraulic Parameters using Support Vector Machines. **Soil Science Society of America Journal**, Madisom, v. 73, p. 1443-1452, 2009.

CAPÍTULO 2
Funções de Pedotransferência para Retenção de Água por Diferentes
Classes de Solos do Rio Grande do Sul

RESUMO

A retenção de água no solo é utilizada em diversas aplicações agrônômicas e ambientais, porém sua medição direta consome tempo e dinheiro, com isso funções de pedotransferência (FPTs) são alternativas para obtenção dessas informações de forma mais rápida e econômica. Os objetivos do trabalho foram gerar e validar FPTs para estimar o conteúdo de água nos potenciais de -33 kPa (capacidade de campo) e -1500 kPa (ponto de murcha permanente) para diferentes classes de solos do Estado do Rio Grande do Sul. Utilizou-se o banco de dados de análises físicas e químicas dos levantamentos de solos da empresa Celulose Riograndense, que é composto por dados de textura, matéria orgânica do solo e dados de conteúdo de água nos potenciais de -33 kPa e -1500 kPa. Primeiramente, os dados foram estratificados por classes de solos e profundidades e posteriormente separados para geração das FPTs (70%) e para validação (30%). Geraram-se FPTs específicas para cada solo e também FPTs gerais, sem estratificação por classe de solos, por meio de regressão múltipla, através do pacote stepwise da linguagem de programação R. Na maioria das situações, as FPTs específicas por classe de solo apresentaram melhor ajuste do que as FPTs gerais. O ajuste adequado dos dados demonstrou que os valores de retenção de água nos potenciais de -33 kPa e -1500 kPa pode ser estimados com considerável precisão para os solos do RS por meio de FPTs.

Palavras-chave: Pedofunções. Ponto de murcha permanente. Capacidade de campo. Curva de retenção de água.

ABSTRACT

Soil water-holding capacity is used in many agronomic and environmental applications, but its direct measurement takes time and money. Therefore, pedotransfer functions (PTFs) are alternatives to obtain this information more quickly and economically. The objectives of this study were to generate and validate PTFs in order to estimate the water content at -33 kPa (field capacity) and -1500 kPa (permanent wilting point) potentials for different soil classes of the State of Rio Grande do Sul. It was used the database of physical and chemical analyses of soil survey of the Celulose Riograndense Company, which is composed of texture data (coarse and fine sand, silt and clay), soil organic matter and water content data on potential of -33 kPa and -1500 kPa. First, the data were stratified by soil classes and depths, and then separated into two datasets: one to generate the PTFs (70% of the data) and another to validate (30%). There were generated specific PTFs for each soil class and also general PTFs, which were not stratified by soil class, performing multiple regression through the stepwise package of the R programming language. In most situations PTFs for specific soil class had a better fit than the general PTFs. Proper adjustment of the data showed that the values of water retention at potentials of -33 kPa and -1500 kPa can be estimated with considerable accuracy to the soils of Rio Grande do Sul state through the PTFs.

Keywords: Pedofunctions. Permanent wilting point. Field capacity. Water retention curve.

1 INTRODUÇÃO

A retenção de água no solo é utilizada em trabalhos envolvendo disponibilidade de água para as plantas, projetos de irrigação e drenagem, estresse hídrico, movimento de solutos no solo etc. (MICHELON et al., 2010; NEBEL et al., 2010). Porém, sua medição direta demanda bastante tempo e dinheiro (SANTRA; DAS, 2008; TOMASELLA; HODNETT; ROSSATO, 2000; TWARAKAVI; ŠIMŮNEK; SCHAAP, 2009), sendo muitas vezes inviabilizada por restrições práticas ou financeiras (SCHAAP; LEIJ; GENUCHTEN, 2001). Em adição, no laboratório, ainda há problemas de morosidade e inexatidão (OLIVEIRA et al., 2002). Para superar essas dificuldades, grandes esforços têm sido empregados para a determinação de funções de pedotransferência (FPTs) para estimar a retenção de água como, por exemplo, em Balland, Pollacco e Arp (2008), Khodaverdilo et al. (2011), Minasny e Hartemink (2011) e Tomasella, Hodnett e Rossato (2000). Ademais, Minasny e Hartemink (2011) destacam que a utilização de FPTs para estimar propriedades do solo é necessária para superar a falta de informações diretamente medidas.

O termo FPT foi cunhado em 1987 por Bouma e van Lanen (STUMPP et al., 2009), e descrevia funções que relacionavam atributos do solo fáceis de mensurar, como textura e matéria orgânica, com as características hidráulicas do solo (BOUMA; VAN LANEN, 1987). Ou seja, FPTs, ou pedofunções, são modelos matemáticos que permitem transformar informações básicas de solos disponíveis em, por exemplo, relatórios de levantamentos pedológicos, em outras informações de obtenção mais difíceis e de maior custo (MICHELON et al., 2010). Ressalta-se, todavia que uma determinada FPT não deve ser extrapolada além da região geográfica para a qual foi desenvolvida, mesmo se estratificada por classe de solo, no intuito de diminuir os erros da predição do atributo estimado (DASHTAKI; HOMAEE; KHODABERDILOO, 2010;

NEMES et al., 2009), pois quanto mais homogêneos forem os solos que compõe a base de dados das FPTs, melhor será o desempenho das mesmas (DASHTAKI; HOMAEE; KHODABERDILOO, 2010).

Piedally et al. (2010) coletaram um grande número de pontos com informações básicas de solo dos inventários florestais da França com os objetivos de mapear a capacidade de retenção de água no solo e correlacionar o crescimento das espécies florestais com os mapas gerados. Para obter as informações sobre retenção de água os autores utilizaram FPTs das localidades. E concluíram que a capacidade de retenção de água do solo pode ser mapeada com precisão suficiente para prever o crescimento de espécies florestais utilizando técnicas de interpolação (mapeamento) e FPTs.

Diante do exposto, os objetivos deste trabalho foram: gerar e validar FPTs para estimar o conteúdo de água nos potenciais de -33 kPa e -1500 kPa para diferentes classes de solos do Estado do Rio Grande do Sul, e apresentar um exemplo de espacialização da retenção de água utilizando as FPTs hortos florestais da região de estudo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo, pertencente à empresa Celulose Riograndense S.A., situa-se entre os paralelos 29°56'40" e 31°3'12" S, e os meridianos 54°48'34" e 51°37'57" WGr, no Estado do Rio Grande do Sul, abrangendo parte dos Municípios de Arroio dos Ratos, Butiá, Caçapava do Sul, Cachoeira do Sul, Camaquã, Cristal, Dom Feliciano, Encruzilhada do Sul, Lavras do Sul, Mariana Pimental, Pantano Grande, Rio Pardo, Rosário do Sul, Santa Margarida do Sul, Santa Maria, São Gabriel, São Lourenço do Sul, São Sepé e Vila Nova do Sul (Figura 1).

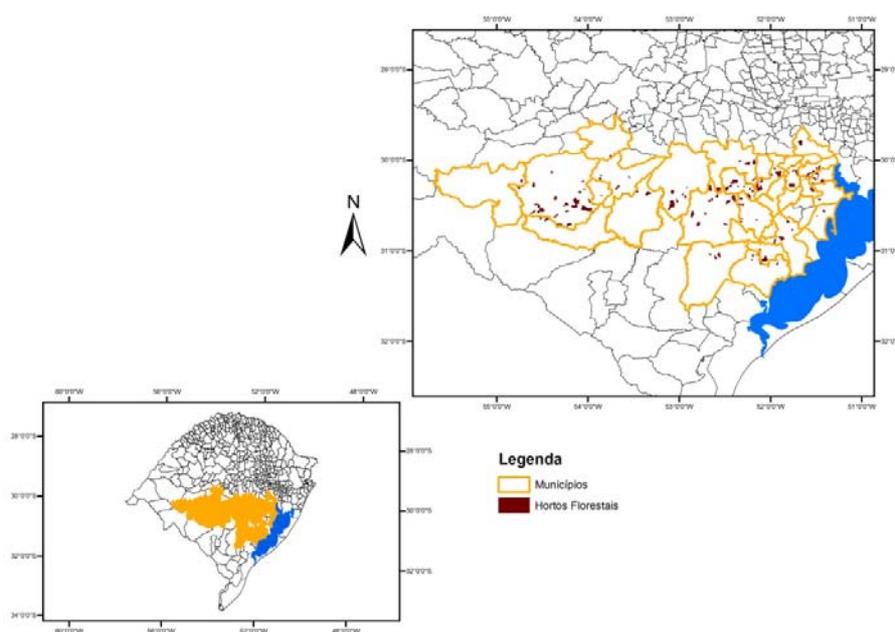


Figura 1 Municípios onde estão localizados os hortos florestais, Estado do Rio Grande do Sul

As FPTs foram desenvolvidas a partir do banco de dados dos levantamentos de solos semidetalhados (escala: 1:25.000) de 111 hortos florestais, e dos levantamentos detalhados (1:10.000) de duas microbacias hidrográficas, perfazendo um total de aproximadamente 54.600 ha, com cerca de 800 observações, descrições e medições de campo. O banco de dados é composto dos resultados físicos e químicos das amostras coletadas, conforme Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (1997). A classificação dos solos foi realizada segundo a Embrapa (2006).

Utilizou-se nesse estudo amostras deformadas, visto que na maioria dos dados de levantamento de solos a retenção de água no solo é medida em amostras deformadas mesmo que, em potenciais maiores como em -33 kPa (Capacidade de Campo – CC), a retenção de água seja influenciada pela estrutura (OLIVEIRA et al., 2002) e a CC de amostras de solos deformadas é superestimada para todos os solos, exceto para solos com textura arenosa (BELL; VAN KEULEN 1996). No entanto, a coleta de amostras indeformadas demanda um maior tempo e é mais onerosa, e as amostras deformadas apresentam menor variabilidade nas medidas de retenção de água. Ressalta-se também que existe a necessidade de desenvolver FPTs com entrada de dados mais simples e baratas, já que vários pesquisadores e usuários de FPTs em vários países com dados insuficientes de propriedades hidráulicas do solo, caso do Brasil, são constantemente confrontados com situações onde um ou mais parâmetros de entrada das FPTs não estão disponíveis (DASHTAKI; HOMAEE; KHODABERDILOO, 2010). Além do mais, trabalhos como de Oliveira et al. (2002) obtiveram bons ajustes de FPTs utilizando amostras de solos deformadas.

Primeiramente, os dados foram estratificados segundo as classes predominantes de solos até o segundo nível categórico (Tabela 1). Observa-se que as sete classes de solos predominantes (Argissolo Vermelho - PV, Cambissolo Háptico - CX, Argissolo Vermelho-Amarelo - PVA, Argissolo

Amarelo - PA, Neossolo Regolítico - RR, Neossolo Litólico - RL e Planossolo Háplico - SX) ocupam cerca de 90% da área total. Essas classes foram escolhidas para a confecção das FPTs devido à maior expressão geográfica e quantidade de pontos amostrados. As demais classes de solos não foram utilizadas para gerar FPTs específicas, devido à baixa quantidade de dados disponíveis, mas, sugeriu-se para elas, de acordo com a semelhança morfogenética das classes de solos, o uso de uma das sete FPTs específicas (Tabela 2).

Após esta fase os dados foram separados em dois grupos de acordo com a profundidade (0 a 20 e 40 a 70 cm), no intuito de homogeneizar os dados. Em cada grupo formado (classe de solo \times profundidade), 70 % dos dados foram separados de modo aleatório para gerar as FPTs e o restante (30%) para validar as FPTs geradas. Os dados foram submetidos à regressão múltipla na linguagem de programação R, por meio do pacote *stepwise*. As variáveis independentes utilizadas para gerar as FPTs foram: teor de areia grossa, areia fina, argila e matéria orgânica do solo. O teor de água foi estimado nos potenciais de -33 kPa e -1500 kPa, que correspondem, respectivamente, ao teor de água na capacidade de campo (CC), considerado o limite superior da faixa de disponibilidade de água às plantas e o ponto de murcha permanente (PMP), considerado o limite inferior de disponibilidade (EMBRAPA, 1995).

Geraram-se também FPTs sem estratificação por classes de solos para as profundidades de 0 a 20 e 40 a 70 cm, aqui denominadas de “FPTs gerais”, para verificar a eficiência da separação dos dados por classes de solos.

Tabela 1 Classes de solos do banco de dados utilizado com sua respectiva distribuição geográfica

Classe	ha	%	Classe	ha	%	Classe	ha	%
PV	16899	31,0%	RQ	1058	1,9%	GM	71	0,1%
CX	9574	17,5%	CH	616	1,1%	LVA	67	0,1%
PVA	7618	14,0%	TC	556	1,0%	FX	33	0,1%
PA	4288	7,9%	FT	445	0,8%	LA	25	<0,1%
RR	3504	6,4%	PAC	365	0,7%	FF	18	<0,1%
RL	2925	5,4%	MX	294	0,5%	CY	11	<0,1%
SX	2824	5,2%	MT	257	0,5%	RY	2	<0,1%
TX	1741	3,2%	NX	144	0,3%			
NV	1157	2,1%	GX	90	0,2%			

TOTAL: 54583 ha (100%)

PV – Argissolo Vermelho; CX – Cambissolo Háplico; PVA – Argissolo Vermelho Amarelo; PA – Argissolo Amarelo; RR – Neossolo Regolítico; RL – Neossolo Litólico; SX – Planossolo Háplico; TX – Luvisso Háplico; NV – Nitossolo Vermelho; RQ – Neossolo Quartzarênico; CH – Cambissolo Húmico; TC – Luvisso Crômico; FT – Plintossolo Argilúvico; PAC – Argissolo Acinzentado; MX – Chernossolo Háplico; MT – Chernossolo Argilúvico; NX – Nitossolo Háplico; GX – Gleissolo Háplico; GM – Gleissolo Melânico; LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; FX – Plintossolo Háplico; LA – Latossolo Amarelo; FF – Plintossolo Pétrico; CY – Cambissolo Flúvico; RY – Neossolo Flúvico

Tabela 2 Correspondência das FPTs específicas com as classes de menor expressão geográfica

FPT específica	Solos incluídos
PV	TX; TC; NV; NX; MT; FT; LVA*; LA*
CX	CH; MX; FF
RR	RQ; RY
SX	PAC; GX; GM; FX

* Incluíram junto ao PV, por apresentarem apenas uma amostra observada em cada, o que inviabilizaria o cálculo dos parâmetros estatísticos.

PV – Argissolo Vermelho; CX – Cambissolo Háplico; PVA – Argissolo Vermelho Amarelo; PA – Argissolo Amarelo; RR – Neossolo Regolítico; RL – Neossolo Litólico; SX – Planossolo Háplico; TX – Luvisso Háplico; NV – Nitossolo Vermelho; RQ – Neossolo Quartzarênico; CH – Cambissolo Húmico; TC – Luvisso Crômico; FT – Plintossolo Argilúvico; PAC – Argissolo Acinzentado; MX – Chernossolo Háplico; MT – Chernossolo Argilúvico; NX – Nitossolo Háplico; GX – Gleissolo Háplico; GM – Gleissolo Melânico; LVA – Latossolo Vermelho Amarelo; FX – Plintossolo Háplico; LA – Latossolo Amarelo; FF – Plintossolo Pétrico; CY – Cambissolo Flúvico; RY – Neossolo Flúvico.

O desempenho das FPTs foi avaliado por meio dos parâmetros estatísticos que foram o coeficiente de determinação (R^2), o erro médio (ME) e a raiz quadrada do erro médio ao quadrado (RMSE), e também pela relação 1:1 dos dados estimados versus observados. O ME e o RMSE foram obtidos através das seguintes equações:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (ei - mi)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (ei - mi)^2}$$

Onde: n é o número de observações; ei é o valor estimado pela FPT da variável de interesse; mi é o valor medido da variável de interesse.

O ME é um indicador da exatidão da estimativa que revela a tendência da FPT de superestimar (valores positivos) ou subestimar (valores negativos). O RMSE quantifica a dispersão dos dados medidos em relação aos dados estimados. Com base nos resultados dos indicadores estatísticos, as FPTs foram ranqueadas de acordo com o menor valor absoluto do ME, da RMSE e do R^2 . As FPTs que apresentaram quaisquer dois dos três índices considerados melhores foram incluídas como as de melhor desempenho (CORNELIS et al., 2001). Para as FPTs com mesmo índice, a FPT com o menor ME foi considerada a de melhor ajuste.

Optou-se por expressar os valores da matéria orgânica, das frações texturais e da umidade do solo em dag kg^{-1} , que equivale numericamente à porcentagem, para facilitar as comparações e diminuir o efeito conservativo dos indicadores estatísticos ME e RMSE para baixos graus de umidade (OLIVEIRA et al., 2002).

A parte metodológica do exemplo do uso da FPT e espacialização da retenção de água deste trabalho foram incluídas no tópico específico, com o intuito de ilustrar melhor o exemplo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Propriedades físicas e retenção de água

A tabela 3 apresenta os valores mínimos, máximos e médios das amostras do banco de dados de cada solo utilizado para gerar e validar as FPTs específicas nas profundidades 0 a 20 e 40 a 70 cm. Observa-se que as amostras utilizadas para gerar as FPTs apresentam distribuição semelhante às amostras empregadas para validar as FPTs.

Há uma grande amplitude nos dados. A matéria orgânica na profundidade de 0 a 20 cm variou de 0,2 a 5,9 dag kg⁻¹ e na profundidade de 40 a 70 cm variou de 0,1 a 3,8 dag kg⁻¹. Já a argila, o silte, a areia grossa e fina, na profundidade de 0 a 20 cm, variou de 3 a 49; 2 a 52; 2 a 69 e 2 a 65 dag kg⁻¹, respectivamente. Na profundidade de 40 a 70 cm a argila, silte e areia grossa e fina variaram de 5 a 82; 2 a 51; 1 a 77; 1 a 60 dag kg⁻¹, respectivamente. Essa substancial amplitude dos dados é favorável e essencial para a geração de FPTs (GIAROLA et al., 2002; PACHEPSKY; RAWLS, 1999), e reflete os diferentes materiais de origem e processos de formação dos solos do banco de dados.

Observa-se na tabela 3, que os valores de umidade do solo, tanto no potencial -1500 kPa (PMP) quanto no de -33 kPa (CC), são maiores na profundidade de 40 a 70 cm. Isso está associado ao maior teor de argila nessa profundidade, principalmente devido à significativa ocorrência de solos com horizonte B textural (PV, PVA e PA) e B plânico (SX). A argila aumenta a área específica da matriz do solo e, por consequência, favorece os processos de adsorção e retenção de água (REICHERT et al., 2009). A maior quantidade de argila também favorece a capilaridade do solo, pois propicia a ocorrência de microporos, que são os responsáveis pelas forças de capilaridade (REICHERT et al., 2009). Porém, o fenômeno de capilaridade influencia pouco no presente

estudo, pois as amostras são deformadas, prevalecendo, portanto, as forças de adsorção mesmo em potenciais mais elevados.

Tabela 3 Valores mínimos, máximos e médios do banco de dados utilizados para gerar e validar as funções de pedotransferência (FPTs) em duas profundidades dos solos

Variáveis	Amostras para gerar as FPTs						Amostras para validar as FPTs					
	Mín		Máx		Média		Mín		Máx		Média	
Prof. (cm)	0 a 20	40 a 70	0 a 20	40 a 70	0 a 20	40 a 70	0 a 20	40 a 70	0 a 20	40 a 70	0 a 20	40 a 70
Todos os dados												
MOS	0,2	0,1	5,95	3,8	2,1	1,2	0,19	0,1	6	3,8	2,2	1,1
Argila	6	5	47	80	18,9	30,5	3	9	49	82	18,8	32,3
Silte	2	2	51	46	23,3	20,2	8	3	52	51	23,5	21,6
AG	3	1	69	77	33,6	29,4	2	1	60	70	33,8	26,0
AF	2	1	65	60	24,2	19,9	2	2	62	59	23,9	19,5
CC	3,5	5,0	39,6	39,7	14,7	17,8	4,52	4,1	38,89	38,87	15,4	19,0
PMP	1,7	1,4	28,2	36,2	9,0	11,1	1,23	1,4	23,58	26	9,4	11,6
Argissolo Vermelho												
MOS	0,21	0,1	5,84	3,8	1,8	1,2	0,33	0,2	6	3,7	1,92	1,2
Argila	8	20	42	74	19,5	38,0	8	12	36	79	20,16	38,0
Silte	3	2	46	42	19,8	16,9	10	5	39	36	22,25	16,8
AG	2	3	60	56	35,3	25,6	5	3	58	52	34,5	25,9
AF	4	4	57	58	25,3	19,5	3	2	53	54	23,1	19,6
CC	3,5	5,0	35,0	39,7	12,2	17,1	4,7	4,1	19,2	37,4	12,5	16,3
PMP	2,0	1,9	21,0	29,2	7,6	11,1	2,3	3,3	14,2	23,3	7,5	10,7
Cambissolo Háplico												
MOS	0,24	0,2	5,95	3	2,3	1,2	0,19	0,2	4,4	2,5	2,2	1,1
Argila	7	11	47	67	20,2	30,6	10	10	37	72	19,5	31,1
Silte	8	7	50	45	20,4	19,7	10	10	36	49	20,3	22,8
AG	3	1	53	52	36,6	32,5	2	4	49	55	34,7	26,8
AF	2	3	48	39	22,9	17,2	4	6	56	30	25,8	17,4
CC	3,7	5,0	5,4	38,6	14,6	18,6	4,5	5,5	39,6	34,2	13,5	20,5
PMP	3,1	2,5	26,7	32,9	9,2	12,7	3,8	1,4	16,1	25,7	8,9	13,5
Argissolo Vermelho Amarelo												
MOS	0,1	0,2	4,3	2,4	1,7	1,0	0,2	0,3	4,1	2,19	2,0	1,0
Argila	6	15	47	80	18,8	34,7	7	8	35	82	17,5	32,8
Silte	3	5	50	46	21,7	19,0	8	7	48	45	19,5	20,3
AG	4	1	62	54	34,4	26,8	6	1	58	53	37,3	25,4
AF	3	2	65	60	25,1	19,4	10	4	56	54	25,8	21,6
CC	3,7	5,6	28,6	39,4	12,0	17,1	4,8	5,7	21,9	31,5	12,3	16,9
PMP	1,7	2,7	23,6	31,3	7,4	10,9	1,2	2,3	15,7	22,4	7,6	10,5
Argissolo Amarelo												
MOS	0,5	0,3	4,1	3,16	1,7	1,1	0,6	0,4	4,3	3,88	2,0	1,1
Argila	8	13	34	71	14,9	27,5	3	10	49	70	17,8	30,5
Silte	7	10	50	44	22,9	22,8	13	9	52	41	32,1	22,3
AG	7	1	60	65	35,5	28,4	9	2	58	59	28,5	25,8
AF	9	1	59	60	26,8	21,2	2	2	48	59	21,6	21,4
CC	5,4	6,4	30,3	35,1	12,7	16,0	7,3	7,1	38,9	33,9	16,8	17,0
PMP	2,5	1,4	23,9	23,8	7,2	8,7	2,6	3,0	23,6	20,9	8,6	9,5

Tabela 3, continua

Variáveis	Amostras para gerar as FPTs						Amostras para validar as FPTs					
	Mín		Máx		Média		Mín		Máx		Média	
Prof. (cm)	0 a 20	40 a 70	0 a 20	40 a 70	0 a 20	40 a 70	0 a 20	40 a 70	0 a 20	40 a 70	0 a 20	40 a 70
Neossolo Regolítico												
MOS	0,6	0,6	4,6	2,5	2,3	1,3	1	0,1	4,8	3,8	2,8	1,3
Argila	7	6	43	56	18,0	19,3	10	7	30	49	18,0	22,5
Silte	9	7	42	42	19,1	17,7	10	3	39	45	20,7	18,3
AG	18	10	69	77	40,6	43,8	6	3	60	70	38,3	39,0
AF	4	5	48	51	21,9	19,3	10	2	49	42	23,0	18,2
CC	7,0	7,1	27,2	31,2	14,2	15,9	8,2	10,0	24,2	37,3	14,8	17,7
PMP	4,2	2,7	19,2	22,4	9,4	9,9	3,7	5,4	17,8	23,0	9,9	11,2
Neossolo Litólico												
MOS	1	-	4,62	-	2,74	-	1	-	4,8	-	2,8	-
Argila	8	-	35	-	21,46	-	10	-	30	-	18,0	-
Silte	2	-	59	-	24,51	-	10	-	39	-	20,7	-
AG	9	-	66	-	32,74	-	6	-	60	-	38,0	-
AF	4	-	52	-	21,28	-	10	-	49	-	23,0	-
CC	7,5	-	38,0	-	16,9	-	7,2	-	28,1	-	19,1	-
PMP	3,0	-	26,0	-	11,3	-	4,1	-	20,2	-	13,8	-
Planossolo Háptico												
MOS	0,9	0,3	4	2,6	2,3	1,2	1,1	0,5	3,3	2,5	2,2	1,3
Argila	8	10	45	68	19,2	33,0	10	10	46	64	21,1	38,7
Silte	9	4	51	40	34,3	24,8	8	12	46	51	28,8	28,9
AG	3	1	53	64	20,1	19,4	4	2	47	32	25,2	13,4
AF	5	1	53	50	26,4	22,8	4	2	62	50	24,9	18,9
CC	9,0	9,7	38,6	38,0	20,0	22,4	10,3	10,5	33,6	38,9	18,6	25,7
PMP	4,1	3,5	28,2	36,1	10,8	13,0	5,5	2,9	22,0	26,0	9,6	14,2

MOS – matéria orgânica do solo (dag kg^{-1}); AG – areia grossa (dag kg^{-1}); AF – areia fina (dag kg^{-1}); CC – Capacidade de Campo (dag kg^{-1}); PMP – Ponto de Murcha Permanente (dag kg^{-1}); número de amostras para gerar as FPTs nas profundidades de 0 a 20; 40 a 70: todos os dados – 504; 484; Argissolo Vermelho – 163; 157; Cambissolo Háptico – 84; 78; Argissolo Vermelho Amarelo – 101; 97; Argissolo Amarelo – 47; 46; Neossolo Regolítico – 36; 34; Neossolo Litólico – 39; -; Planossolo Háptico – 34; 33; número de amostras para validar as FPTs nas profundidades de 0 a 20; 40 a 70: todos os dados – 210; 188; Argissolo Vermelho – 69; 67; Cambissolo Háptico – 33; 32; Argissolo Vermelho Amarelo – 42; 41; Argissolo Amarelo – 19; 19; Neossolo Regolítico – 16; 15; Neossolo Litólico – 17; -; Planossolo Háptico – 14; 14.

3.2 Geração e validação das funções de pedotransferência específicas

A tabela 4 apresenta as FPTs para todos os solos nas profundidades de 0 a 20 e 40 a 70 cm nos potenciais de -33 kPa e -1500 kPa, com seus respectivos coeficientes de determinação. Para a classe de solo RL, não houve dados suficientes para gerar as FPTs na profundidade de 40 a 70 cm, por ser um solo que por definição, não ultrapassa 50 cm de profundidade (EMBRAPA, 2006).

A estratificação dos dados por classe de solos apresentou um coeficiente de determinação muito próximo ou superior àquele das FPTs gerais, exceto para o RL e o RR, que apresentaram coeficientes de determinação nas profundidades de 0 a 20 e 40 a 70 cm e no potencial de -1500 kPa muito inferiores (0,29 e 0,45, respectivamente) em comparação ao das FPTs gerais (0,56 e 0,61, respectivamente). Tanto o RL quanto o RR são solos muito pouco desenvolvidos (não têm horizonte B, por definição), tendendo a apresentar uma ampla variação na sua mineralogia, e além da textura, a retenção de água no solo é fortemente dependente da mineralogia do solo, que varia em conjunto com a classe de solo (EMBRAPA, 2003; OLIVEIRA et al., 2002; REICHERT et al., 2009). Tendência semelhante foi verificada por Oliveira et al. (2002) que geraram FPTs para solos com diferentes graus de desenvolvimento pedogenético de Pernambuco, e apenas a FPT específica para os Neossolos, gerada pelos autores, apresentou significativa variação do R^2 quando comparada à FPT sem divisão por grau de desenvolvimento de solos.

As figuras 2, 3 e 4 apresentam o ME, RMSE e os gráficos das relações 1:1 dos resultados das FPTs específicas para cada solo e das FPTs gerais por profundidade. Os MEs das FPTs gerais, para o potencial de -33 kPa nas profundidades de 0 a 20 e 40 a 70 cm foram de 0,08 e 0,06 dag kg⁻¹, e para o potencial de -1500 kPa, foram de -1,08 e -0,07 dag kg⁻¹, respectivamente, mostrando a tendência das FPTs gerais de superestimar o valor da umidade para

o potencial de -33 kPa e de subestimá-lo para o potencial de -1500 kPa. Esse mesmo comportamento também foi verificado nos trabalhos de Nebel et al. (2010), Reichert et al. (2009) e Tomasella, Hodnett e Rossato (2000).

Os valores foram subestimados principalmente nos solos muito pouco desenvolvidos (RL e RR), no potencial de -1500 kPa e utilizando as FPTs gerais. Quando estratificados por classes de solos, as FPTs específicas desses solos tiveram o valor absoluto do ME reduzido (Figura 2). Tal comportamento indica a necessidade da geração de FPTs mais específicas para esses solos, o que é visto na figura 3, onde, para todas as situações, os RMSEs das FPTs específicas dos RR e RL foram consideravelmente menores em comparação com as FPTs gerais.

Tabela 4 Funções de pedotransferência (FPTs) para estimar a umidade do solo nos potenciais -33 e -1500 kPa em duas profundidades nos solos

Solo	Equação	R ²
0 a 20 cm		
PV	$\hat{U}_{-33} = 17,1565 + 2,5169 \cdot \text{MOS} - 0,1554 \cdot \text{AG} - 0,1621 \cdot \text{AF}$	0,65
	$\hat{U}_{-1500} = 7,70062 + 1,91701 \cdot \text{MOS} + 0,07225 \cdot \text{ARG} - 0,07730 \cdot \text{AG} - 0,09263 \cdot \text{AF}$	0,69
CX	$\hat{U}_{-33} = 29,65022 + 1,06092 \cdot \text{MOS} - 0,27668 \cdot \text{AG} - 0,31970 \cdot \text{AF}$	0,51
	$\hat{U}_{-1500} = 0,8351 + 0,5599 \cdot \text{MOS} + 0,3506 \cdot \text{ARG}$	0,57
PVA	$\hat{U}_{-33} = 20,6977 + 1,7475 \cdot \text{MOS} - 0,2127 \cdot \text{AG} - 0,1728 \cdot \text{AF}$	0,58
	$\hat{U}_{-1500} = 2,57914 + 1,85627 \cdot \text{MOS} + 0,1759 \cdot \text{ARG} - 0,04588 \cdot \text{AG}$	0,56
PA	$\hat{U}_{-33} = 30,1220 + 1,1781 \cdot \text{MOS} - 0,3264 \cdot \text{AG} - 0,2956 \cdot \text{AF}$	0,90
	$\hat{U}_{-1500} = 11,7889 + 0,9991 \cdot \text{MOS} + 0,1557 \cdot \text{ARG} - 0,1419 \cdot \text{AG} - 0,1361 \cdot \text{AF}$	0,72
RR	$\hat{U}_{-33} = 22,07036 + 2,37679 \cdot \text{MOS} - 0,21787 \cdot \text{AG} - 0,20096 \cdot \text{AF}$	0,70
	$\hat{U}_{-1500} = 17,31904 + 1,75679 \cdot \text{MOS} - 0,17837 \cdot \text{AG} - 0,21368 \cdot \text{AF}$	0,69
RL	$\hat{U}_{-33} = 34,1352 - 0,3028 \cdot \text{AG} - 0,34317 \cdot \text{AF}$	0,52
	$\hat{U}_{-1500} = 21,5649 - 0,1932 \cdot \text{AG} - 0,2004 \cdot \text{AF}$	0,29
SX	$\hat{U}_{-33} = 21,9359 + 3,35081 \cdot \text{MOS} - 0,22751 \cdot \text{AG} - 0,19371 \cdot \text{AF}$	0,64
	$\hat{U}_{-1500} = 2,44219 + 5,17011 \cdot \text{MOS} - 0,13334 \cdot \text{AF}$	0,63
GERAL	$\hat{U}_{-33} = 24,88952 + 1,46274 \cdot \text{MOS} - 0,24526 \cdot \text{AG} - 0,23454 \cdot \text{AF}$	0,61
	$\hat{U}_{-1500} = 9,944674 + 1,01884 \cdot \text{MOS} + 0,14405 \cdot \text{ARG} - 0,09538 \cdot \text{AG} - 0,10520 \cdot \text{AF}$	0,56
40 a 70 cm		
PV	$\hat{U}_{-33} = 18,15868 + 0,21328 \cdot \text{ARG} - 0,23668 \cdot \text{AG} - 0,16258 \cdot \text{AF}$	0,66
	$\hat{U}_{-1500} = 8,11431 + 0,21634 \cdot \text{ARG} - 0,13063 \cdot \text{AG} - 0,09715 \cdot \text{AF}$	0,69
CX	$\hat{U}_{-33} = 36,46889 + 2,63862 \cdot \text{MOS} - 0,44002 \cdot \text{AG} - 0,38987 \cdot \text{AF}$	0,63
	$\hat{U}_{-1500} = 27,08723 + 1,18014 \cdot \text{MOS} - 0,29777 \cdot \text{AG} - 0,35548 \cdot \text{AF}$	0,68
PVA	$\hat{U}_{-33} = 23,40215 + 1,94753 \cdot \text{MOS} + 0,10749 \cdot \text{ARG} - 0,29745 \cdot \text{AG} - 0,22021 \cdot \text{AF}$	0,73
	$\hat{U}_{-1500} = 7,20816 + 3,64925 \cdot \text{MOS} + 0,17031 \cdot \text{ARG} - 0,15310 \cdot \text{AG} - 0,10005 \cdot \text{AF}$	0,74
PA	$\hat{U}_{-33} = 31,45465 - 0,33496 \cdot \text{AG} - 0,27794 \cdot \text{AF}$	0,70
	$\hat{U}_{-1500} = 7,85992 + 0,19079 \cdot \text{ARG} - 0,08866 \cdot \text{AG} - 0,08919 \cdot \text{AF}$	0,74
RR	$\hat{U}_{-33} = 39,45134 - 2,47572 \cdot \text{MOS} - 0,33157 \cdot \text{AG} - 0,30641 \cdot \text{AF}$	0,56
	$\hat{U}_{-1500} = 24,36079 - 0,22125 \cdot \text{AG} - 0,24720 \cdot \text{AF}$	0,45
SX	$\hat{U}_{-33} = 17,8200 + 5,5292 \cdot \text{MOS} + 0,2094 \cdot \text{ARG} - 0,1698 \cdot \text{AG} - 0,2433 \cdot \text{AF}$	0,70
	$\hat{U}_{-1500} = 0,82593 + 5,38527 \cdot \text{MOS} + 0,29199 \cdot \text{ARG} - 0,16418 \cdot \text{AF}$	0,68
GERAL	$\hat{U}_{-33} = 26,18555 + 1,84737 \cdot \text{MOS} + 0,07352 \cdot \text{ARG} - 0,28332 \cdot \text{AG} - 0,26753 \cdot \text{AF}$	0,62
	$\hat{U}_{-1500} = 11,50346 + 1,55563 \cdot \text{MOS} + 0,14390 \cdot \text{ARG} - 0,13118 \cdot \text{AG} - 0,16458 \cdot \text{AF}$	0,61

MOS – matéria orgânica do solo (dag kg⁻¹); AG – areia grossa (dag kg⁻¹); AF – areia fina (dag kg⁻¹); ARG – argila (dag kg⁻¹); \hat{U} – Umidade estimada (dag kg⁻¹); PV – Argissolo Vermelho; CX – Cambissolo Háplico; PVA – Argissolo Vermelho-Amarelo; PA – Argissolo Amarelo; RR – Neossolo Regolítico; RL – Neossolo Litólico; SX – Planossolo Háplico

Para praticamente todos os solos, as FPTs apresentaram menores RMSEs quando separadas por classes de solos. Quando isso não ocorreu, os valores das RMSEs ficaram muito próximos (Figura 3), caso do PVA no potencial de -33 kPa na profundidade de 0 a 20 cm, do PA no potencial de -1500 kPa na profundidade de 0 a 20 cm e nos dois potenciais avaliados para a profundidade de 40 a 70 cm, e do SX no potencial de -1500 kPa na profundidade de 40 a 70 cm. Porém, na figura 4, nota-se que os resultados entre os dados estimados e observados nesses solos, apresentaram resultados muito semelhantes aos das duas FPTs (gerais e específicas).

De acordo com o ranqueamento entre FPTs específicas e gerais, no potencial de -33 kPa na profundidade de 0 a 20 cm, apenas os solos CX e PVA apresentaram melhores resultados com as FPTs gerais, já para o potencial de -1500 kPa, nessa profundidade apenas, o solo PA apresentou melhor resultado com a FPT geral, e no potencial de -33 kPa na profundidade de 40 a 70 cm apenas o PA. Todavia, nessas condições, o desempenho foi similar entre as FPTs específicas e gerais, o que pode ser confirmado pelo comportamento dos dados observados e estimados desses solos na figura 4.

Das 26 condições analisadas (2 potenciais x 7 classes de solos, para a profundidade de 0 a 20 cm, e 2 potenciais x 6 classes de solos, para a profundidade de 40 a 70 cm), em apenas quatro, as FPTs específicas mostraram-se menos eficientes, mas com resultados muito próximos das FPTs gerais, indicando que a estratificação dos dados por classe de solo apresentou melhor resultado na maioria dos casos, pois quanto mais homogêneos são os solos que compõem a base de dados para a geração das FPTs melhor é a estimativa dos dados, conforme também observado por Piedallu et al. (2011), Poggio et al. (2010) e Santra e Das (2008).

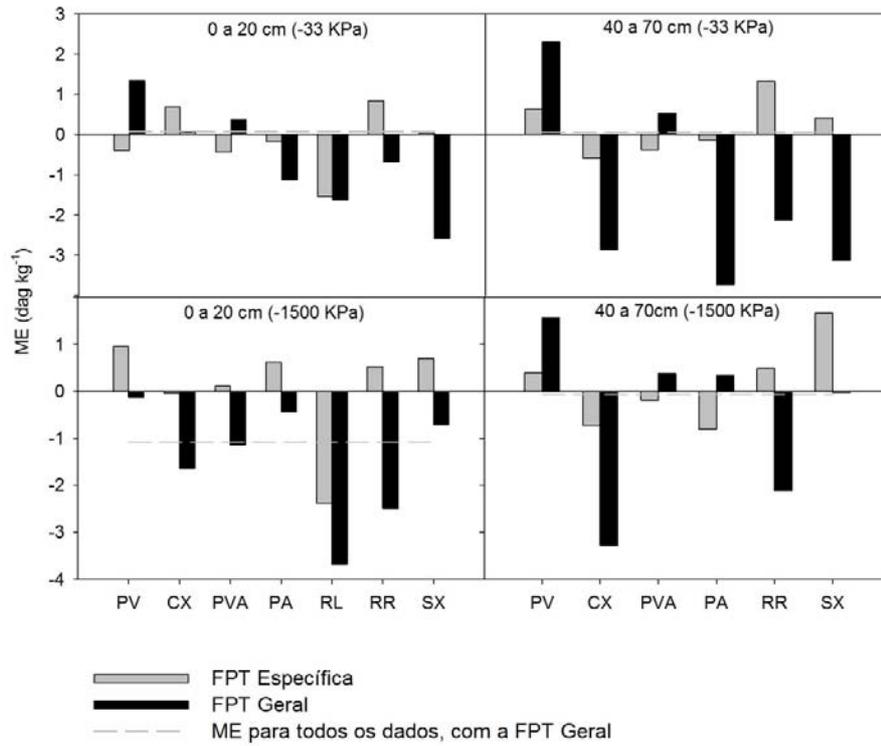


Figura 2 Erro médio (ME) das funções de pedotransferência (FPTs) gerais e específicas em duas profundidades nos solos

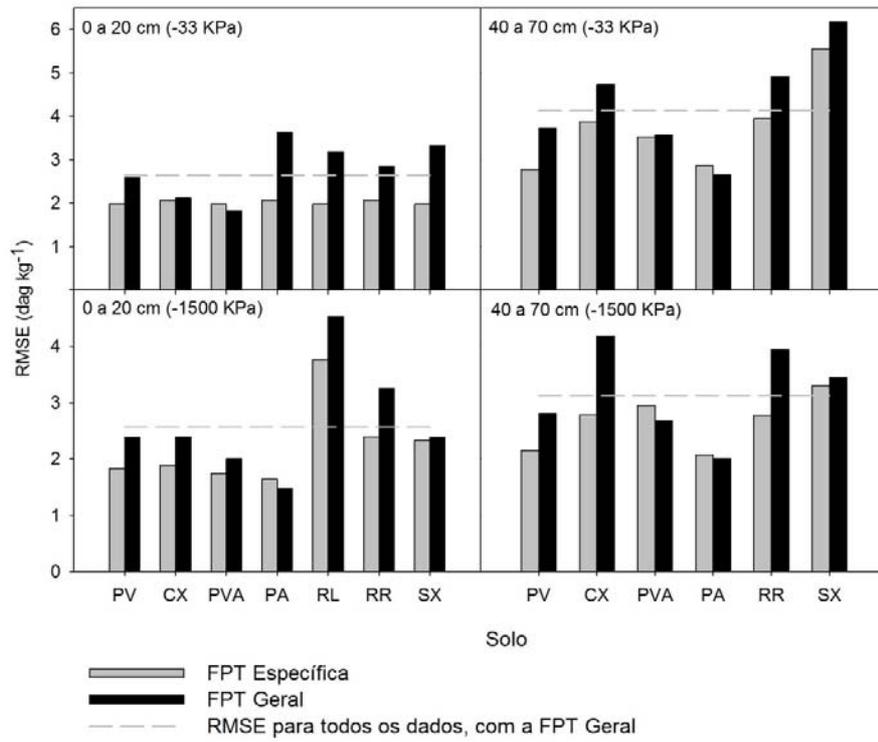
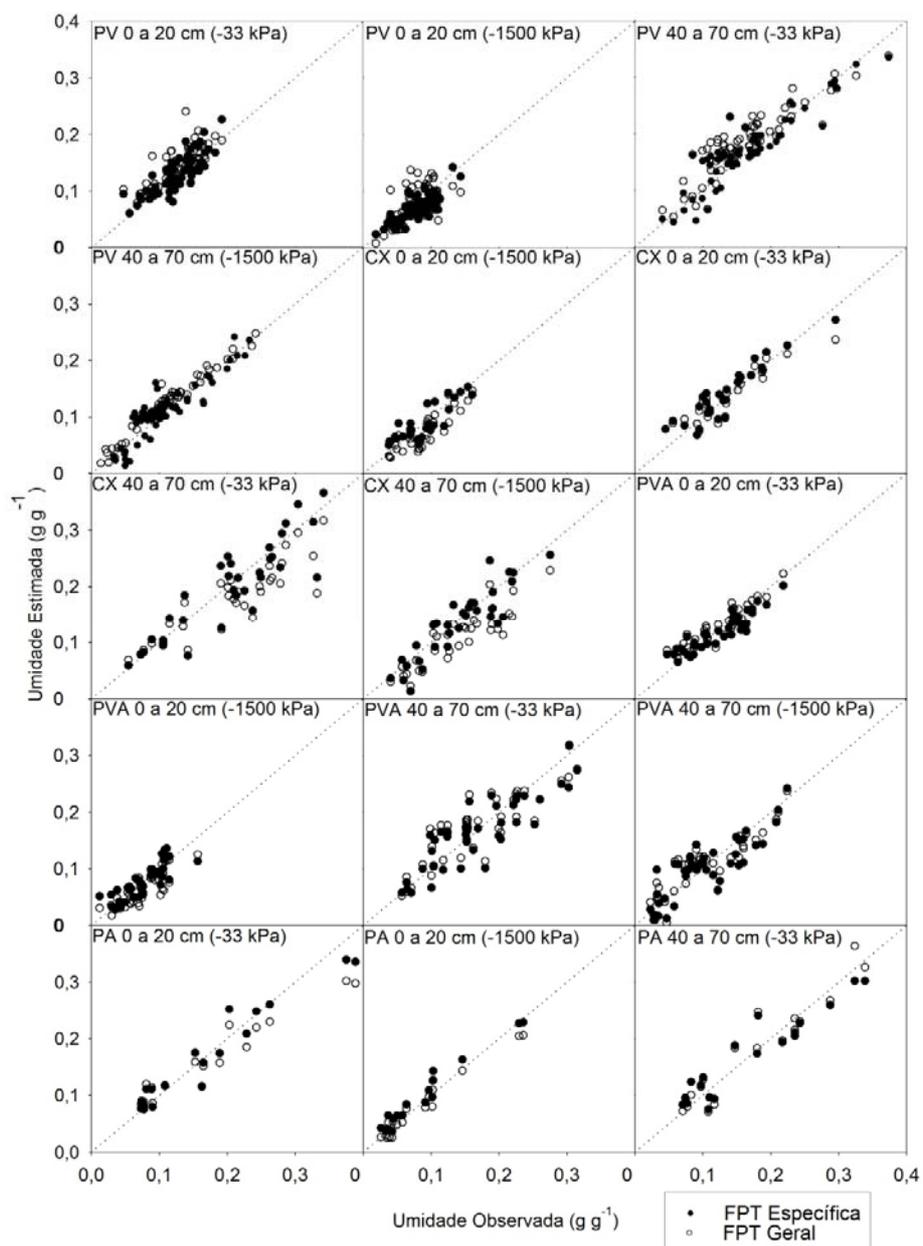


Figura 3 Raiz quadrada do erro médio (RMSE) das funções de pedotransferência (FPTs) gerais e específicas em duas profundidades nos solos



(...continua...)

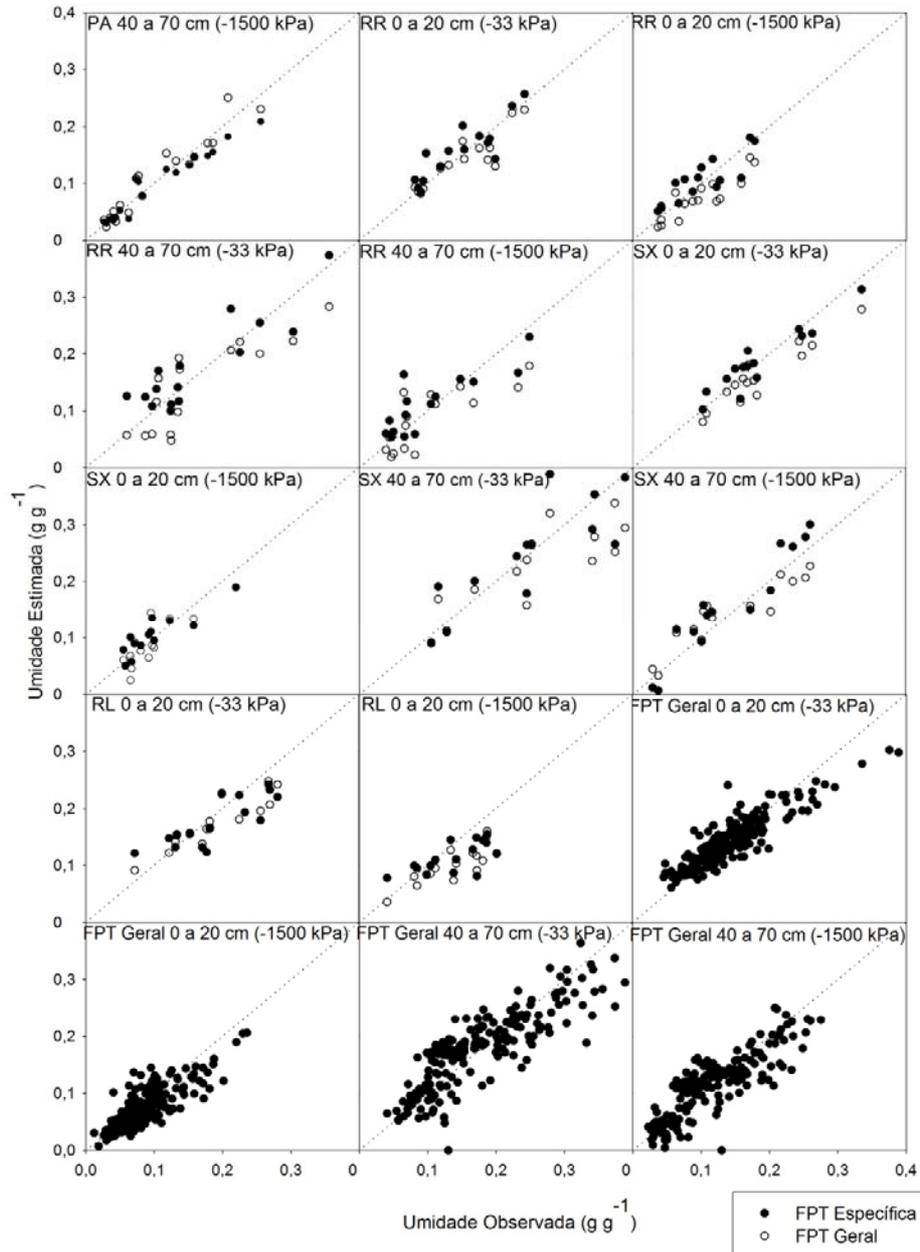


Figura 4 Relação 1:1 entre os valores observados e estimados por meio das funções de pedotransferência (FPTs) geradas em duas profundidades nos solos

3.3 Inclusão de classes de solos semelhantes nas funções de pedotransferência específicas

A tabela 4 apresenta os resultados dos indicadores estatísticos RMSE e ME dos solos de menor expressão geográfica do banco de dados e com menor quantidade de amostras. Os valores dos indicadores estatísticos das FPTs gerais foram muito próximos das FPTs específicas. Somente para os solos CH, MX e FF incluídos na FPT específica do CX na profundidade de 40 a 70 cm, todos os parâmetros apresentaram melhor ajuste do que a FPT geral. Todavia, poucas amostras foram analisadas para esses solos, sendo, portanto, apenas um indicativo, necessitando de maior número de amostras para confecção de FPTs específicas ou para a validação das FPTs gerais para esses solos.

Tabela 4 Resultados estatísticos dos solos de menor expressão do banco de dados utilizado

FPT esp.	Classes de solos incluídas	FPT Especifica				FPT Geral				
		n	RMSE	ME	RMSE	ME	RMSE	ME	RMSE	ME
			-33	-33	-1500	-1500	-33	-33	-1500	-1500
0 a 20 cm (dag kg⁻¹)										
PV	TX; TC; NV; NX; MT; FT; LVA; LA	46	3,5	1,92	3,2	1,62	3,03	-1,17	2,5	2,19
CX	CH; MX; FF	10	3,61	-0,98	3,39	-0,62	4,23	-1,93	1,31	0,4
RR	RQ; RY	12	0,95	0,43	1,74	-0,4	1,12	-0,45	0,83	0,21
SX	PAC; GX; GM; FX	9	2,99	1,24	3,37	1,47	2,9	-0,059	2,98	-0,37
FPT esp.	Solos Incluídos	40 a 70 cm (dag kg⁻¹)								
PV	TX; TC; NV; NX; MT; FT; LVA; LA	45	4,9	1,97	2,79	-0,64	3,94	0,24	2,76	0,8
CX	CH; MX; FF	8	4,35	-1,87	3,28	-0,47	6,41	-4,88	5,3	-3,88
RR	RQ; RY	12	3,92	3,57	2,77	2,02	2,43	-2,16	2,33	-1,51
SX	PAC; GX; GM; FX	9	3,56	0,44	3,41	1,27	3,44	-1,48	2,93	1,06

FPT – Funções de pedotransferência; esp. – específica; n – quantidade de amostras; RMSE – raiz quadrada do erro médio; ME – erro médio; PV – Argissolo Vermelho; CX – Cambissolo Háplico; PVA – Argissolo Vermelho Amarelo; PA – Argissolo Amarelo; RR – Neossolo Regolítico; RL – Neossolo Litólico; SX – Planossolo Háplico; TX – Luvisso Háplico; NV – Nitossolo Vermelho; RQ – Neossolo Quartzarênico; CH – Cambissolo Húmico; TC – Luvisso Crômico; FT – Plintossolo Argilúvico; PAC – Argissolo Acinzentado; MX – Chernossolo Háplico; MT – Chernossolo Argilúvico; NX – Nitossolo Háplico; GX – Gleissolo Háplico; GM – Gleissolo Melânico; LVA – Latossolo Vermelho Amarelo; FX – Plintossolo Háplico; LA – Latossolo Amarelo; FF – Plintossolo Pétrico; CY – Cambissolo Flúvico; RY – Neossolo Flúvico

5 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DAS FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA

Os hortos florestais (HFs) Morrinhos e Capivara (Figuras 5 e 6) contêm dados de retenção de água medidos de amostras georreferenciadas (dados do levantamento de solos – Tabela 5) e dados de textura e matéria orgânica do solo de talhões do banco de dados da empresa Celulose Riograndense, onde não se contemplam medidas de retenção de água nos potenciais de -33 e -1500 kPa e nem as coordenadas geográficas das amostras (Tabela 6).

A classe de solo do HF Morrinhos é o Argissolo Vermelho (PV) (Figura 5) e do HF Capivara são as classes Cambissolo Háplico (CX), Argissolo Amarelo (PA), Argissolo Vermelho (PV), Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), Nossolo Litólico (RL) e Neossolo Regolítico (RR) (Figura 6). Para estimar o conteúdo de água nos potenciais -33 e -1500 kPa na profundidade de 0 a 20 cm, utilizou-se as FPTs específicas das referidas classes de solos nessa profundidade (Tabela 4).

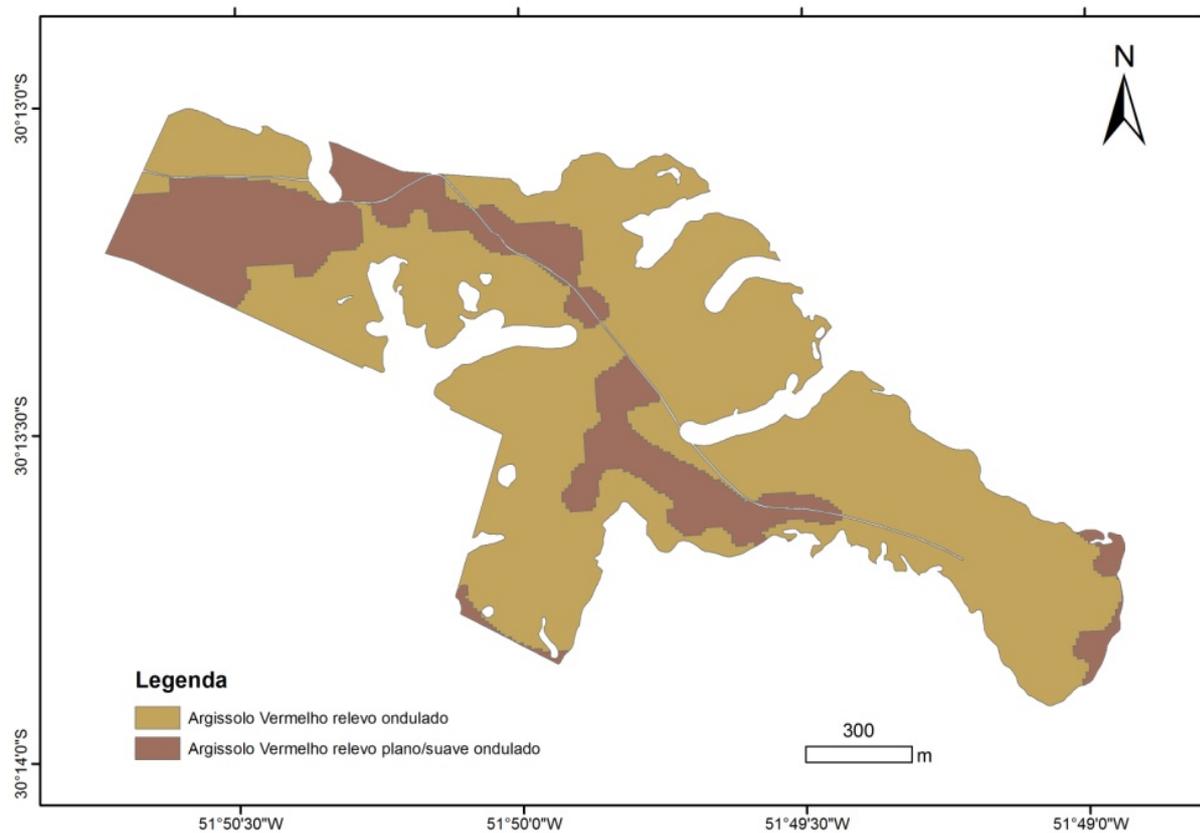
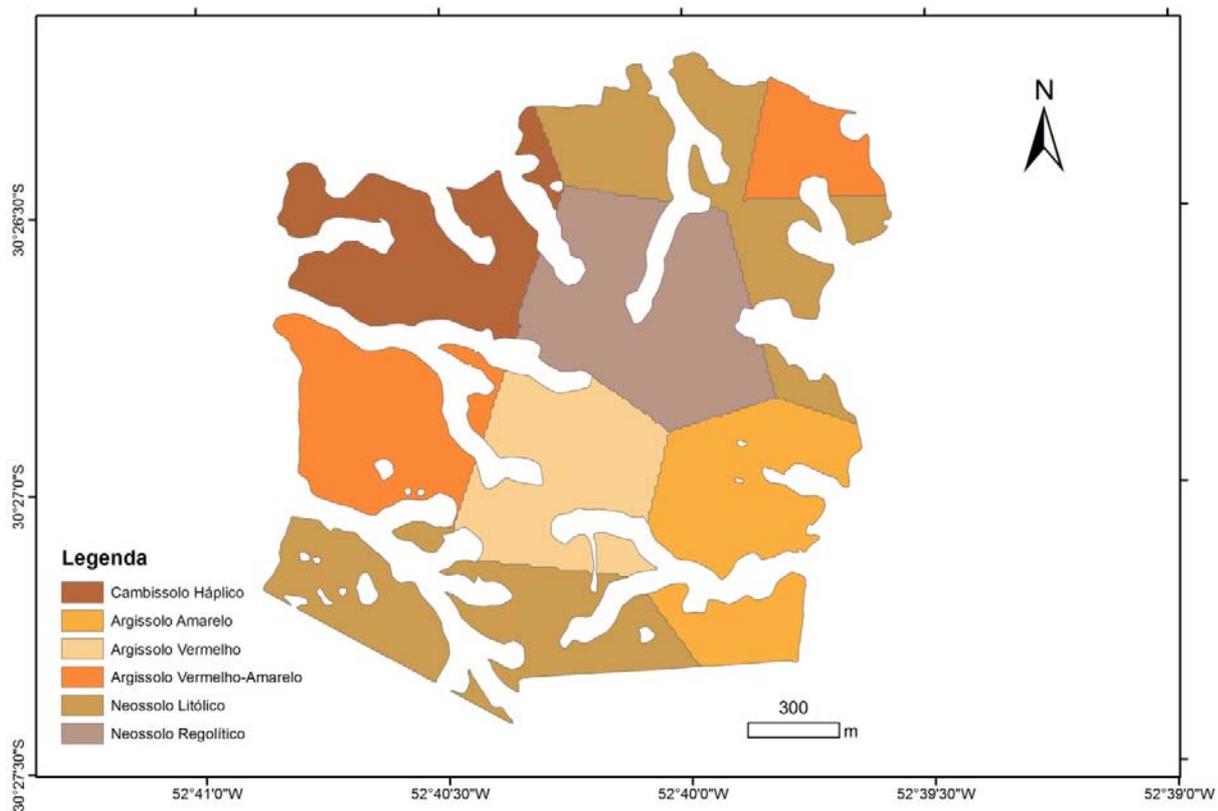


Figura 5 Mapa de solos do horto florestal Morrinhos



HF Capivara, os polígonos dos talhões foram transformados em pontos, utilizando o centroide do polígono como referência (Figuras 7 e 8). Posteriormente, os valores estimados de retenção de água foram correlacionados com os seus respectivos pontos do talhão, e unidos com os dados do levantamento de solos em um mesmo *shapefile*. Esse procedimento foi feito com o intuito de aumentar o número de pontos para a interpolação. A partir do *shapefile* (dados medidos + dados estimados) utilizou-se o interpolador IDQ (inverso do quadrado da distância) para criar o mapa contínuo (*raster*) da retenção de água nos potenciais -33 e -1500 kPa (Figuras 7, 8, 9 e 10).

Por meio da ferramenta *Raster Calculator* do ArcGIS 9.3, calculou-se o conteúdo de água disponível (CAD) subtraindo o *raster* do conteúdo de água em -33 kPa do *raster* do conteúdo de água em -1500 kPa, obtendo assim o CAD espacializado do HF Morrinhos e Capivara (Figura 11 e 12).

Os mapas gerados podem ser cruzados com outros atributos espaciais do solo ou relativos à produção de culturas agrícolas, fornecendo assim subsídio para tomadas de decisão e informações para agricultura de precisão. O procedimento executado nesse exemplo é um guia para usuários de SIG e FPTs, no entanto, modificações como o tipo de interpolador, número de amostras e presença ou ausência de coordenadas geográficas ficam a critério do usuário e da disponibilidade de dados.

Tabela 5 Amostras georreferenciadas do levantamento de solos, com os valores de retenção de água nos potenciais de -33 e -1500 kPa

Amostras	Coordenadas UTM		-33 kPa	-1500 kPa
	(Fuso 22, Datum SAD69)			
	X	Y	----dag kg-1---	
Horto Florestal - Morrinhos				
1	419486	6656688	9,41	7,55
2	420442	6655750	12,23	7,96
3	418859	6656699	12,37	8,13
4	420859	6655711	15,35	10,83
5	421212	6655542	17,21	8,29
Horto Florestal - Capivara				
1	339942	6630722	9,62	6,56
2	338994	6631076	11,04	7,13
3	340409	6630847	11,79	7,76
4	339565	6630203	12,10	8,19
5	340154	6630059	12,43	7,98
6	339501	6629581	13,29	6,04
7	340387	6631412	14,23	9,04
8	339009	6630384	14,62	6,79
9	340056	6631480	22,57	16,06

Tabela 6 Dados de matéria orgânica do solo e textura do banco de dados da empresa

Celulose Riograndense e estimativa do teor de água estimado nos potenciais de -33 e -1500 kPa

	MOS	AG	AF	SILTE	ARG	\hat{U}_{-33}	\hat{U}_{-1500}
Talhões	dag kg⁻¹						
	Horto Florestal - Morrinhos						
1	2,3	55	11	13	21	12,6	8,4
2	2,1	50	16	9	25	12,1	8,2
3	2,7	43	15	17	25	14,8	10
4	2,2	43	14	16	27	13,7	9,2
5	1,7	49	13	11	27	11,7	7,9
	Horto Florestal - Capivara						
1	2,5	33	22	19	26	16,6	10,8
2	3,5	20	26	18	36	19,2	12,5
3	2,5	40	22	14	24	14,9	9,9
4	3,1	32	20	22	26	17,7	11,7
5	3	33	20	23	24	18,0	12,4
6	2,9	33	20	19	28	16,1	10,9
7	2,1	45	19	18	18	11,5	7,6
8	3,5	34	17	21	28	18,0	11,6
9	3,1	35	20	10	35	16,7	10,8
10	3,1	28	20	17	35	18,7	13,6
11	2,2	49	12	10	29	15,2	9,7

MOS – matéria orgânica do solo; AG – areia grossa; AF – areia fina; ARG – argila ; \hat{U} – Umidade estimada

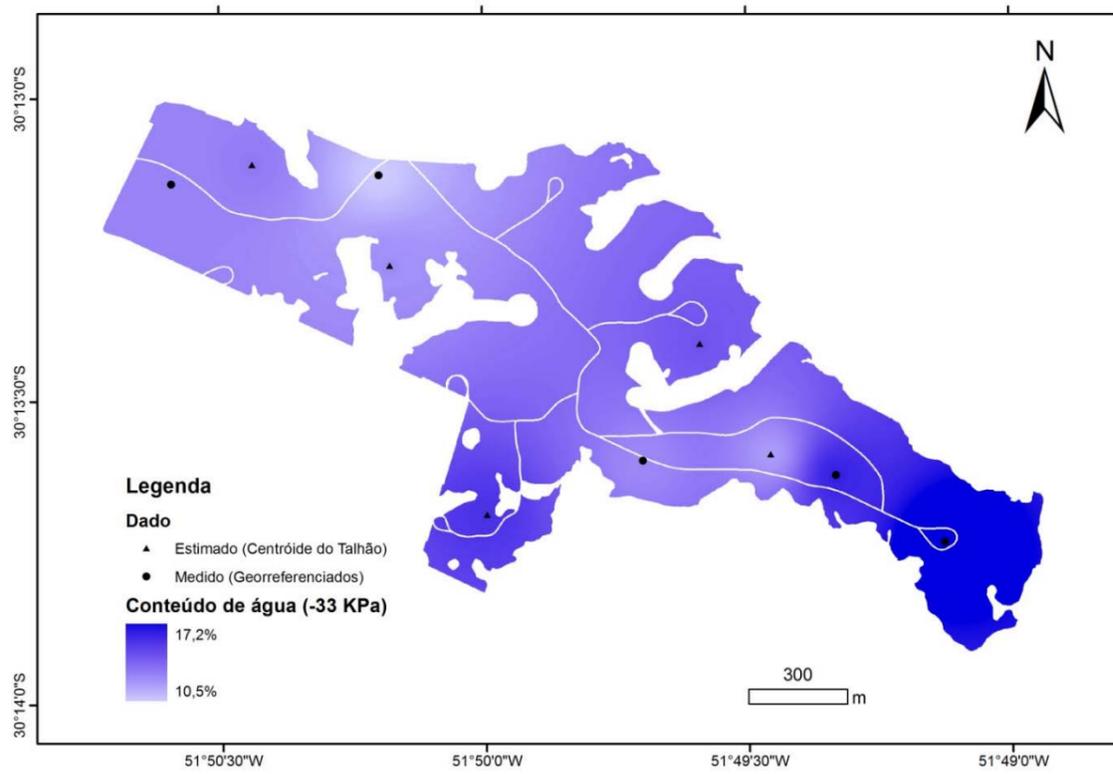


Figura 7 Mapa contínuo de conteúdo de água no potencial de -33 kPa do horto florestal Morrinhos

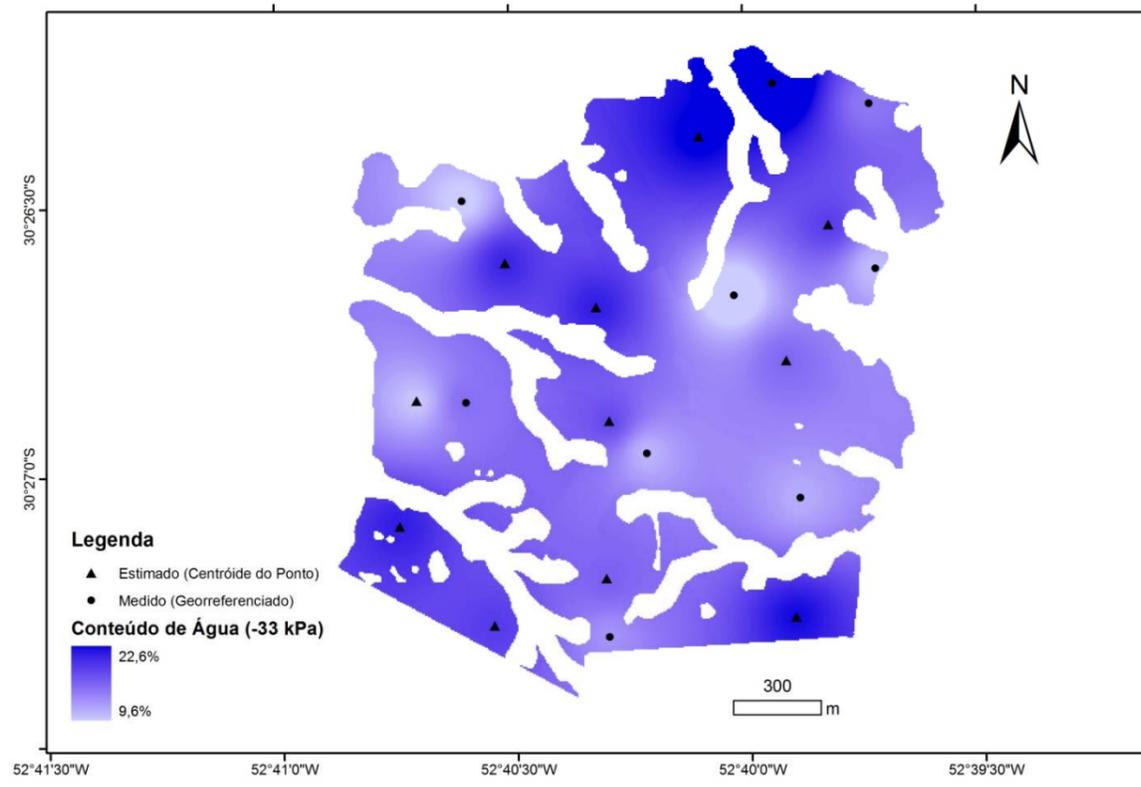


Figura 8 Mapa contínuo de conteúdo de água no potencial de -33 kPa do horto florestal Capivara

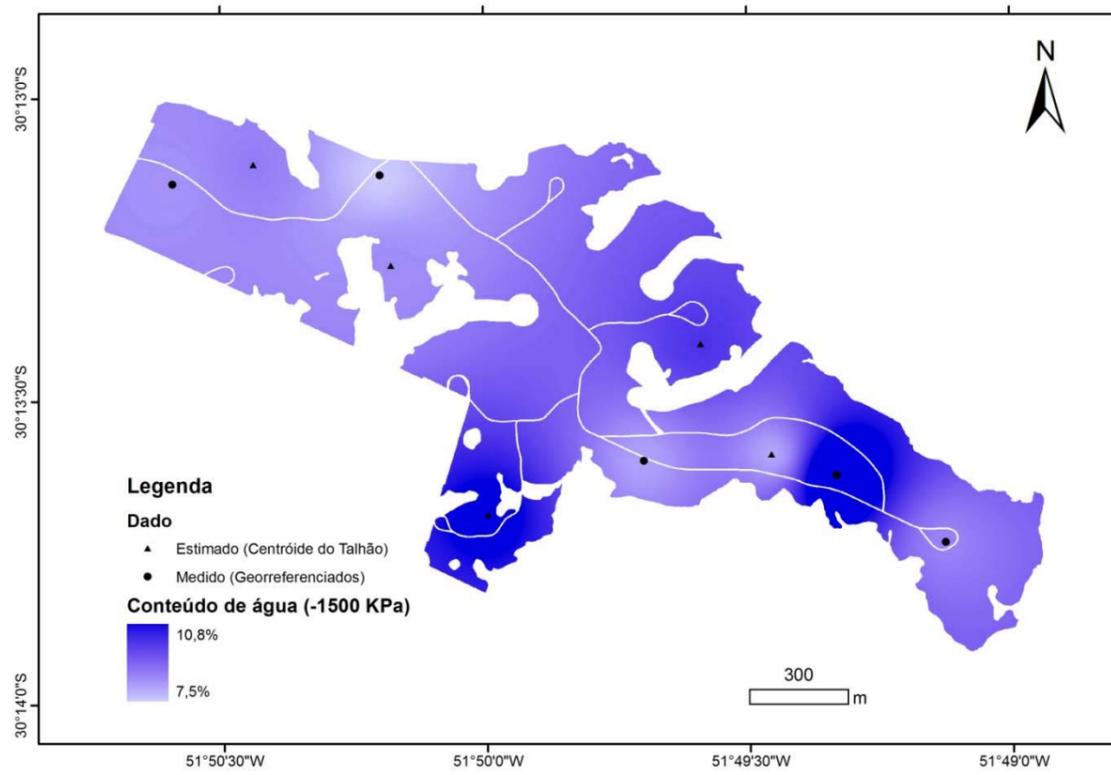


Figura 9 Mapa contínuo de conteúdo de água no potencial de -1500 kPa do horto florestal Morrinhos

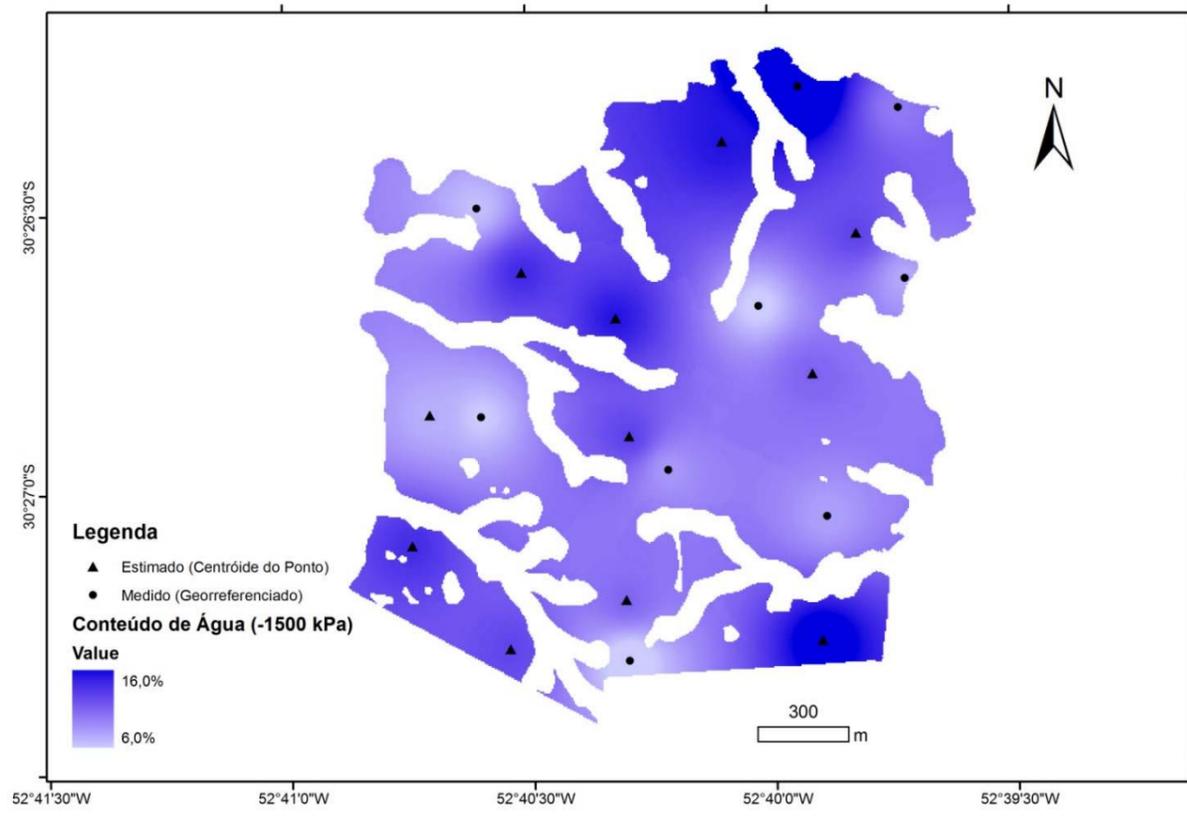


Figura 10 Mapa contínuo de conteúdo de água no potencial de -1500 kPa do horto florestal Capivara

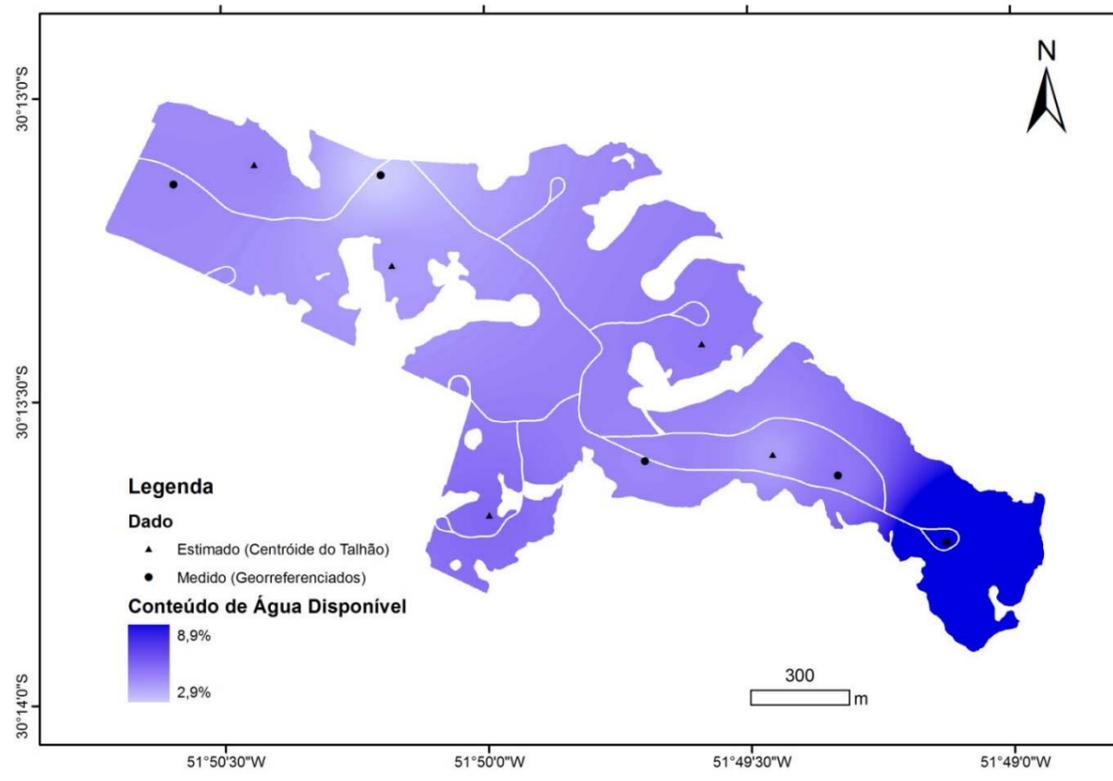


Figura 11 Mapa contínuo de conteúdo de água disponível (CAD) do horto florestal Morrinhos

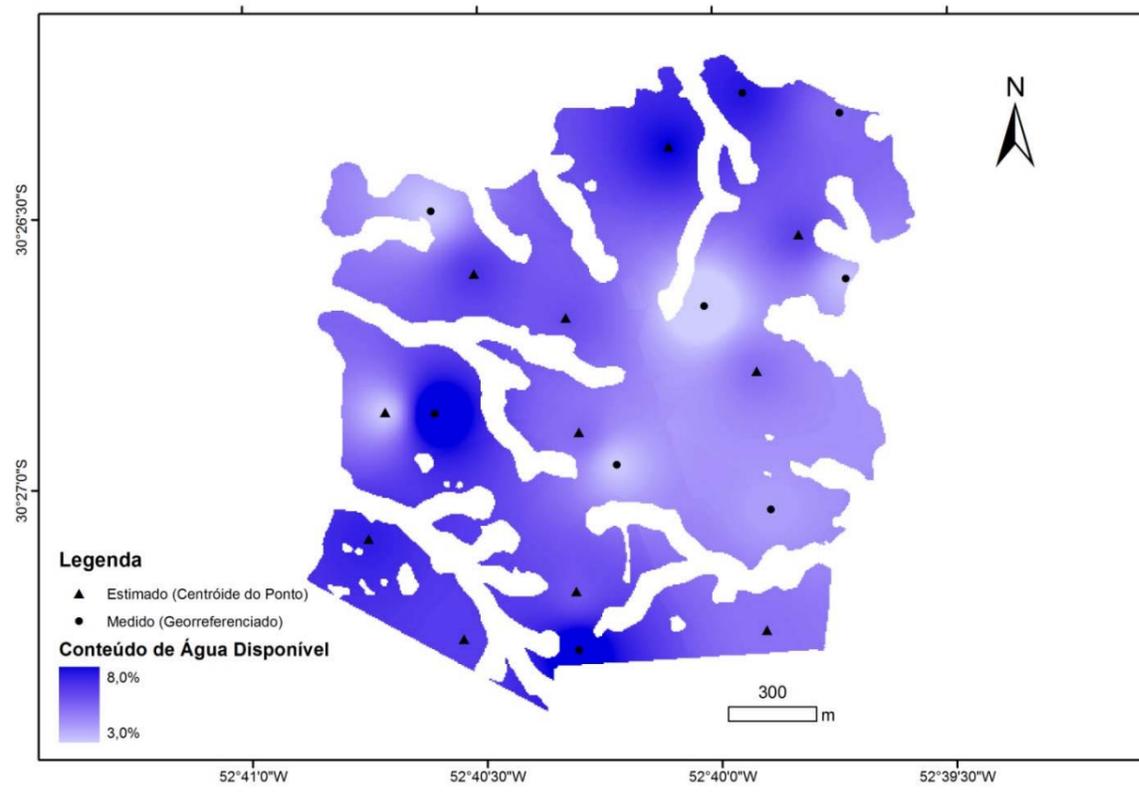


Figura 12 Mapa contínuo de conteúdo de água disponível (CAD) do horto florestal Capivara

6 CONCLUSÕES

Na profundidade de 40 a 70 cm há maior retenção de água em associação com o maior teor de argila dos solos.

Na grande maioria das situações, a estratificação dos dados por classe de solos aumentou a acurácia das FPTs para os solos do Rio Grande do Sul, sobretudo para os solos menos desenvolvidos pedogeneticamente.

Não foi possível gerar FPTs para os solos com menor expressão geográfica. Porém, para tais solos, as FPTs gerais podem ser utilizadas com razoável acurácia.

A informação da retenção de água pode ser espacializada utilizando técnicas de geoprocessamento em conjunto com as FPTs.

Para os solos estudados no Rio Grande do Sul, os dados de retenção de água nos potenciais de -33 e -1500 kPa, podem ser confiavelmente estimados a partir de atributos simples como textura e matéria orgânica do solo, por meio de FPTs.

REFERÊNCIAS

- BALLAND, V.; POLLACCO, A. P.; ARP, P. Modeling soil hydraulic properties for a wide range of soil conditions. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 219, p. 300-316, 2008.
- BOUMA, J.; VAN LANEN, J. A. J. Transfer functions and threshold values: from soil characteristics to land qualities. In: BEEK, K. J. (Ed.). **Quantified land evaluation**. Washington: International Institute of Aerospace Survey Earth, 1987. p. 106-110.
- CORNELIS, W. M. et al. Evaluation of pedotransfer functions for predicting the soil moisture retention curve. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 65, p. 638-648, 2001.
- DASHTAKI, S. G.; HOMAEE, M.; KHODABERDILOO, H. Derivation and validation of pedotransfer functions for estimating soil water retention curve using a variety of soil data. **Soil Use Manage**, Hoboken, v. 26, p. 68-74, 2010.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. Rio de Janeiro, 1995. 247 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Revisão sobre funções de pedotransferência (PTFs) e novos métodos de predição de classes e atributos do solo**. Rio de Janeiro, 2003. 50 p. (Documentos, 45).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

GIAROLLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S. Relações entre propriedades físicas e características de solos da Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, p. 885-893, 2002.

KHODAVERDILOO, H. et al. Deriving and validating pedotransfer functions for some calcareous soils. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 399, p. 93-99, 2011.

MICHELON, J. M. et al. Funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em alguns solos do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, p. 848-853, 2010.

MINASNY, B.; HARTEMINK, A. E. Predicting soil properties in the tropics. **Earth-Science Reviews**, Amsterdam, v. 106, p. 52-62, 2011.

NEBEL, A. L. C. et al. Pedotransfer functions related to spatial variability of water retention attributes for lowland soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 34, p. 669-680, 2010.

NEMES, A. et al. Evaluation of the pedotransfer functions for their applicability at the U.S. National Scale. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 73, p. 1638-1645, 2009.

OLIVEIRA L. B. et al. Funções de pedotransferência para predição da umidade retida a potenciais específicos em solos do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, p. 315-323, 2002.

PACHEPSKY, Y. A.; RAWLS, W. J. Accuracy and reliability of pedotransfer functions as affected by grouping soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, p. 1748-1756, 1999.

PIEDALLU, C. et al. Mapping soil water holding capacity over large areas to predict potential production of forest stands. **Geoderma**, Amsterdam, v. 160, p. 355-366, 2011.

POGGIO, L. et al. Soil available water capacity interpolation and spatial uncertainty modelling at multiple geographical extents. **Geoderma**, Amsterdam, v. 160, p. 175-188, 2010.

REICHERT, J. M. et al. Estimation of water retention under availability in soils of Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, p. 1547-1560, 2009.

SANTRA, P.; DAS, B. S. Pedotransfer functions for soil hydraulic properties developed from a hilly watershed of Eastern India. **Geoderma**, Amsterdam, v. 146, p. 439-448, 2008.

SCHAAP, M. G.; LEIJ, F. J. ; GENUCHTEN, M. T. Rosetta²: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 251, p. 163-176, 2001.

STUMPP, C. et al. Evaluation of pedotransfer functions for estimating soil hydraulic properties of prevalent soils in a catchment of the Bavarian Alps. **European Journal of Forest Research**, Heidelberg, v. 128, n. 6, p. 609-620, 2009.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. G.; ROSSATO, L. Pedotransfer functions for the estimation of soil water retention in Brazilian soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 327- 338, 2000.

TWARAKAVI, N. K. C.; ŠIMŮNEK, J.; SCHAAP, M. G. Development of Pedotransfer Functions for Estimation of Soil Hydraulic Parameters using Support Vector Machines. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 73, p. 1443-1452, 2009.

CAPÍTULO 3

Levantamento Detalhado de Solos e Caracterização Morfométrica de Microbacia Hidrográfica Piloto nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo

RESUMO

Este trabalho apresenta o levantamento detalhado e alguns índices de análise morfométrica de microbacia hidrográfica piloto nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo. Para o levantamento pedológico foram amostrados e descritos 35 microtrincheiras e três perfis modais, que foram morfologicamente descritos e submetidos a análises físicas (textura) e químicas (rotina e ataque sulfúrico). A confecção do mapa de solos foi realizada utilizando-se o sistema de informação geográfica ArcGIS 9.3, onde foi gerado o modelo digital de elevação (DEM) para a separação das fases de relevo. Utilizou-se também o programa SAGA para a geração do índice topográfico de umidade (WI) que auxiliou na separação mais precisa do Organossolo Háptico dos demais solos. A partir dos limites digitais da microbacia hidrográfica e do DEM calcularam-se alguns índices morfométricos da microbacia hidrográfica (coeficiente de compactidade (Kc), fator de forma (Kf), índice de circularidade (IC), declividade, altitude, ordem e densidade de drenagem (Dd)). A classe de solo predominante na microbacia foi o Argissolo Amarelo Distrófico/Distrocoeso (97%), com características morfológicas, químicas e físicas representativas dos solos dos Tabuleiros Costeiros. Predominam na microbacia o relevo plano (51%) e a faixa de altitude entre 30 e 35 m. A forma da microbacia é circular e apresenta tendência mediana a enchentes de alta intensidade, a Dd é baixa e a microbacia é de terceira ordem. Técnicas de geoprocessamento auxiliaram tanto na confecção do mapa de solos, quanto na caracterização morfométrica da microbacia.

Palavras-chave: Mapa de solos. Geoprocessamento. SIG.

ABSTRACT

This paper presents a detailed survey and some indices of morphometric analysis of a pilot watershed in the Tabuleiros Costeiros of the State of the Espírito Santo. For the pedological survey, there were sampled and described 35 observation sites and three soil profiles, which were morphologically described and subjected to physical (texture) and chemical analyses (routine and sulfuric acid digestion). The soil map was made using the geographic information system ArcGIS 9.3. The GIS software was also used to generate the digital elevation model (DEM) for the separation of the phases of slope. The SAGA software was used to calculate the wetness index (WI) which assisted in a more accurate separation of Haplic Organosol from other soils. From the digital limits of the watershed and from the DEM, there were calculated some morphometric indices of the watershed (compactness coefficient (Kc), form factor (Kf), circularity index (CI), slope, altitude, drainage density (Dd) and Strahler order). The predominant soil class in the watershed was the dystrophic/dystrocohesive Yellow Argisol (97%), with representative morphological, chemical and physical characteristics of the soils of the Tabuleiros Costeiros. The flat relief is the slope class predominant in the watershed (51%) and the altitude ranges between 30 and 35 m. The shape of the watershed is circular and it has a median tendency to high-intensity floods, the Dd is low and it is a third-order watershed. Geoprocessing techniques helped both in making the soil map and in morphometrically characterizing the watershed.

Keywords: Soil map, Geoprocessing, GIS.

1 INTRODUÇÃO

O levantamento de solos constitui uma das primeiras etapas do estudo fisiográfico e geomorfológico de uma microbacia, sendo base para diversos tipos de trabalho, como pode ser visto em Costa et al. (2009), Menezes et al. (2009) e Tonello et al. (2006), pois o solo é considerado o principal recurso natural na elaboração do planejamento do uso da terra (LACERDA; ALVARENGA, 2000) e a classe de solo destaca-se como estratificadora adequada de ambientes a nível local (CURI, 2000). No entanto, o Brasil carece de levantamentos detalhados de solos (MCBRATNEY; MEDONÇA SANTOS; MINASNY, 2003), sendo a maioria dos levantamentos na escala 1:1.000.000 ou 1:750.000. Para o planejamento de áreas que exigem maior nível de detalhamento, caso das microbacias hidrográficas, são necessários mapas na escala 1:50.000 ou maiores (STRECK et al., 2008). Nesse sentido, o uso de geotecnologias como o GPS, mapas digitais, Modelos Digitais de Elevação (DEM) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), em conjunto com técnicas modernas de geoprocessamento, auxiliam na confecção de mapas de solos de maior escala, facilitando na delimitação mais precisa das classes de solos (HORTA et al., 2009; MCBRATNEY; MEDONÇA SANTOS; MINASNY, 2003).

A bacia hidrográfica, particularmente a microbacia, constitui uma unidade fundamental de trabalhos e estudos de planejamento conservacionista do meio ambiente e do manejo do solo, pois representa um ecossistema fechado, monitorável em quase todos os seus aspectos (LACERDA; ALVARENGA, 2000). Além do levantamento de solos, a análise morfométrica da microbacia também é essencial para caracterizar a dinâmica de seu sistema fluvial, e existem várias aplicações para tais técnicas, principalmente para um planejamento ambiental e de manejo do solo adequado (CARDOSO et al., 2006).

A microbacia em estudo é uma área experimental que tem por finalidade acolher diversas pesquisas científicas. Ela está situada na região dos Tabuleiros Costeiros, que apresentam uma área estimada em 20 milhões de há. Um indicativo da importância desse ecossistema para o Brasil é que ele abriga cerca de 50 % da população da região nordeste (JACOMINE et al., 1996). Os solos dos Tabuleiros Costeiros são provenientes de sedimentos pré-intemperizados da Formação Barreiras e seus principais usos são cana-de-açúcar, pecuária, silvicultura e fruticultura (FONSÊCA et al., 2007). As classes de solos dominantes nessa região são os Argissolos e os Latossolos Amarelos (Corrêa et al., 2008a; Duarte et al., 2000) ambos apresentando características químicas e físicas restritivas ao manejo. Quimicamente, a restrição é causada pela baixa capacidade de troca de cátions, devido à natureza essencialmente caulínica dos sedimentos da Formação Barreiras, enquanto a restrição física ocorre pela presença de horizontes subsuperficiais coesos e baixa permeabilidade que impedem o aprofundamento radicular das plantas, limitando assim a absorção de água e nutrientes pelas mesmas (FONSÊCA et al., 2007).

Diante do exposto, os objetivos do presente trabalho foram realizar o levantamento detalhado de solos (escala 1:10.000) da microbacia utilizando técnicas de geoprocessamento na complementação aos trabalhos de campo, e fazer a caracterização morfométrica da microbacia a partir da estimativa de alguns parâmetros físicos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi executado na microbacia hidrográfica piloto de propriedade da Fibria Celulose S.A., no Município de Aracruz - ES, coordenada central de $40^{\circ} 06' 34''$ WGr e $19^{\circ} 47' 41''$ S, com 181,7 ha (Figura 1). O clima da região é Aw (clima tropical com estação seca no inverno), segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 23°C , com precipitação de 1.400 mm ano^{-1} . A geologia compreende sedimentos da Formação Barreiras (DUARTE et al., 2000). A vegetação nativa predominante é representada pela floresta tropical subperenifólia. Porém, a maior parte da microbacia se encontra sob plantio de eucalipto (aproximadamente de 135 ha).

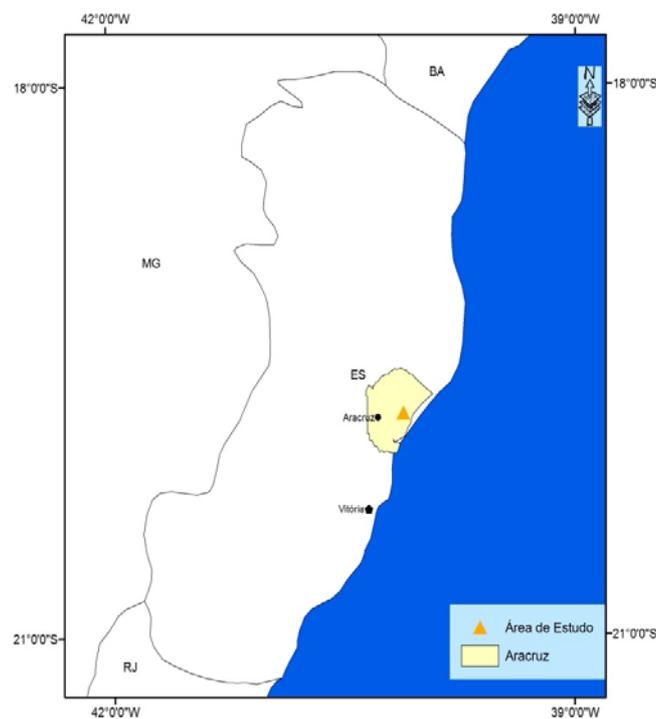


Figura 1 Localização da área de estudo

Nos trabalhos de campo para o levantamento detalhado de solos, utilizou-se como mapas-base o levantamento planialtimétrico da microbacia na escala 1:2.500, com distância vertical entre curvas de nível igual a 1 m. A prospecção da área foi feita pelo método do caminhamento livre, com 22 observações (microtrincheiras) na área sob cultivo de eucalipto e 13 microtrincheiras em áreas de preservação, perfazendo uma densidade amostral de 0,19 observações ha⁻¹. Para a abertura das microtrincheiras, executou-se uma escavação nas dimensões de 40 x 40 x 40 cm para a observação e descrição do horizonte A e coleta de amostra superficial. Para as observações e coletas mais profundas, até 1,20 m, utilizou-se um trado. Todas as observações foram georreferenciadas com GPS. Coletaram-se amostras de algumas microtrincheiras (22) em locais representativos, nas profundidades de 0 a 20 cm, 40 a 70 cm e 100 a 120 cm para realização de análises químicas e físicas de rotina (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 1997) para dar suporte tanto na caracterização física e química, quanto ao mapeamento de solos.

Após a descrição das observações de campo e coleta de amostras, escolheram-se pontos que representassem a variabilidade dos solos para serem descritos como perfis modais (trincheiras de aproximadamente 2 m de profundidade), onde foram executadas descrições morfológicas e coletas de amostras de solos segundo Lemos et al. (2005), sendo os solos classificados de acordo com Embrapa (2006). Nos perfis modais, além da caracterização física e química de rotina dos solos, realizou-se também a quantificação dos elementos Si, Al, Fe e Ti determinados na fração TFSA após ataque sulfúrico, segundo Embrapa (1997).

Para definição das unidades de mapeamento (UMs) de solos foram consideradas como características determinantes: gradiente textural, presença de mosqueados, pedregosidade, rochiosidade, drenagem do perfil, entre outras.

Para a confecção do mapa de solos, utilizou-se o programa ArcGIS 9.3 da ESRI. Primeiramente foi criado o modelo digital de elevação (DEM) por meio da função *topo-to-raster* do ArcGIS, utilizando-se as cotas das curvas de nível. A partir do DEM, foi gerado o índice topográfico de umidade (WI) no programa SAGA 2.0.7 que auxiliou na separação mais precisa do Organossolo Háplico dos demais solos, pois o WI reflete a tendência da água em se acumular em algum ponto da bacia de drenagem (SULEBAK; TALLAKSEN; ERICHSEN, 2000). Para a definição dos limites das outras UMs estratificaram-se os ambientes de plantio de eucalipto (relevo mais suavizado) das áreas de preservação (relevo mais movimentado). Em cada ambiente, criou-se um *raster* de probabilidade, variando de 0 a 1 para cada UM, por meio do pacote *Geostatistic* do ArcGIS 9.3. Posteriormente, os *rasters* de probabilidade das UMs foram sobrepostos utilizando a ferramenta *Highest Position* do ArcGIS, fazendo com que, para uma determinada área, o *raster* que apresentasse maior probabilidade em determinada área fosse classificado com a sua UM correspondente, delimitando assim os limites espaciais das UMs. Após estes procedimentos, o DEM foi utilizado para definir as seguintes classes de declive: plano (0-3%), suave ondulado (3-8%), ondulado (8-20%) e forte ondulado (20-45%), que foram cruzadas com as UMs, e pequenos ajustes necessários foram feitos manualmente por meio da ferramenta *Advanced Editing* do ArcGIS.

A partir dos limites digitais da microbacia e do DEM, utilizaram-se alguns índices para a caracterização morfométrica da microbacia, sendo eles: altitude, declividade, coeficiente de compactidade (Kc), fator de forma (Kf), índice de circularidade (IC), ordem e densidade de drenagem (Dd).

A caracterização e a quantificação dos dados de altitude e declive foram executadas por meio da classificação do DEM em faixas de altitude (< 15 m, 15-20 m, 20-25 m, 25-30 m, > 30 m) e em classes de relevo (plano, suave ondulado, ondulado e forte ondulado).

O K_c relaciona a forma da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Quanto mais irregular a bacia, maior será o K_c , e menor a semelhança a um círculo. Já para bacias regulares, mais circulares, o índice será mais próximo de 1 (valor mínimo do índice). Segundo Cardoso et al. (2006), quanto mais próximo o K_c for de 1, mais suscetível a bacia será a enchentes mais acentuadas. O K_c foi determinado de acordo com Villela e Matos (1975).

O K_f relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia. Segundo Villela e Mattos (1975), uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, mas com um fator de forma maior. O fator de forma foi determinado de acordo com Villela e Matos (1975).

Semelhante ao K_c , o IC verifica o quanto a forma da bacia é próxima a um círculo, sendo que quanto mais próximo a 1 for o valor, mais a bacia se aproxima da forma circular. O IC foi calculado de acordo com Cardoso et al. (2006).

A classificação da ordem dos cursos d'água representa o grau de ramificação do sistema de drenagem da bacia (TUCCI, 2001). Neste trabalho, utilizou-se a classificação de Strahler (1957) para a classificação da ordem dos cursos d'água. Para o cálculo da D_d , utilizou-se a relação entre o comprimento total dos canais e a área da microbacia.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir a apresentação dos resultados e discussão dividida em tópicos.

3.1 Levantamento detalhado de solos

A Figura 2 e a Tabela 1 apresentam o mapa de solos e a expressão geográfica das UMs, respectivamente. Observa-se que 96,4% dos solos da microbacia pertencem à classe Argissolo Amarelo Distrófico/Distrocoeso. Segundo Duarte et al. (2000), os principais solos dos Tabuleiros Costeiros são os Argissolos Amarelos e os Latossolos Amarelos. As UMs escolhidas para serem representadas por um perfil modal correspondente foram PA1, PA2 e PA4, que, somadas, contabilizam aproximadamente 95% dos solos da microbacia (Tabela 1). A classificação dos perfis modais é apresentada na Tabela 2 e a descrição completa no APÊNDICE A.

Somente 3,6% dos solos da microbacia não pertencem à classe Argissolo Amarelo (PA), pertencendo à classe Organossolo Háptico (OX), cuja gênese está relacionada a ambientes sujeitos a encharcamento e acúmulo de matéria orgânica (RESENDE et al., 2007), confirmada pela sua ocorrência na parte mais baixa da microbacia, onde se concentraram os maiores valores do índice topográfico de umidade (WI). O valor WI usado para separar o OX das demais UMs foi de 15, cujo valor está em sintonia com as observações de campo.

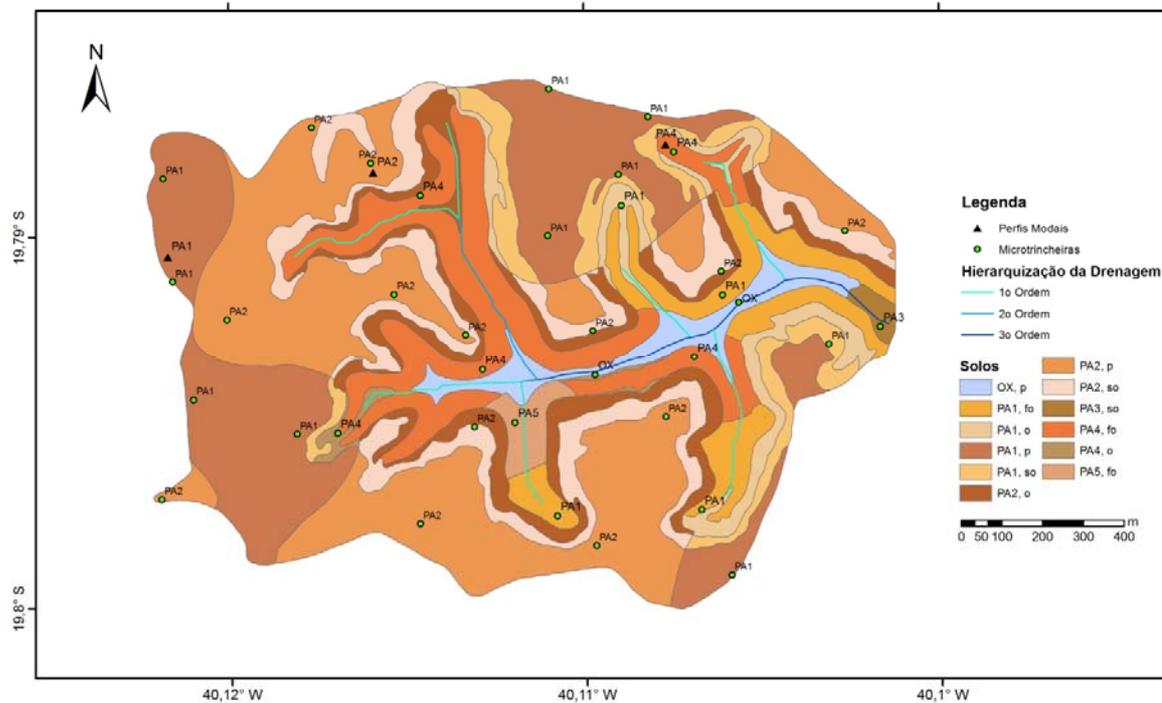


Figura 2 Mapa de solos da microbacia hidrográfica piloto nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo e hierarquização da drenagem segundo Strahler (1957). Em que: UM's – Unidades de mapeamento de solos; GX - Gleissolo Háplico Tb Distrófico; OX - Organossolo Háplico; PA1 – Argissolo Amarelo Distrófico/Distrocoeso típico bem drenado; PA2 – Argissolo Amarelo Distrófico/Distrocoeso típico moderadamente drenado; PA3 – Argissolo Amarelo Distrófico típico imperfeitamente drenado; PA4 – Argissolo Amarelo Distrófico típico bem drenado endopedregoso/epipedregoso/pedregoso; PA5 – Argissolo Amarelo Distrófico típico bem drenado moderadamente rochoso; p – plano; so – suave ondulado; o – ondulado; fo – forte ondulado.

Tabela 1 Expressão geográfica das unidades de mapeamento de solos (UMs) da microbacia hidrográfica piloto nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo

UMs	Area (ha)	%
OX, plano	6,6	3,6%
PA1, plano	37,6	20,7%
PA1, suave ondulado	9,5	5,2%
PA1, ondulado	7,4	4,1%
PA1, forte ondulado	11,9	6,6%
PA2, plano	48,3	26,6%
PA2, suave ondulado	18,9	10,4%
PA2, ondulado	14,9	8,2%

PA3, suave ondulado	0,9	0,5%
PA4, ondulado	1,1	0,6%
PA4, forte ondulado	22,2	12,2%
PA5, ondulado	2,3	1,3%
TOTAL	181,7	100,0%

UMs – Unidade de mapeamento de solos, OX – Organossolo Háplico; PA1 – Argissolo Amarelo Distrófico/Distrocoeso típico bem drenado; PA2 – Argissolo Amarelo Distrófico/Distrocoeso típico moderadamente drenado; PA3 – Argissolo Amarelo Distrófico típico imperfeitamente drenado; PA4 – Argissolo Amarelo Distrófico típico bem drenado endopedregoso/epipedregoso/pedregoso; PA5 – Argissolo Amarelo Distrófico típico bem drenado moderadamente rochoso.

Tabela 2 Classificação dos perfis modais da microbacia hidrográfica piloto nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo

UMs	Classificação
PA1	Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado bem drenado textura média/argilosa relevo plano
PA2	Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado com mosqueado moderadamente drenado textura média/argilosa relevo plano
PA4	Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado pedregoso bem drenado textura média/argilosa relevo forte ondulado

3.2 Características morfológicas do solo

A Tabela 3 apresenta as características morfológicas resumidas dos perfis modais e o APÊNDICE B, a cor e os horizontes dos solos de algumas microtrincheiras. Nota-se que há significativas variações de cor, consistência e estrutura entre os horizontes e entre os solos. Os perfis modais mostraram sequência de horizontes A, AB, BA e Bt no PA2; A, AB, BA, Bt, BC, C e Cx no PA4; e A, BA e Bt no perfil PA1.

Os solos apresentam cores predominantemente amareladas nos matizes 10YR e 7,5YR, o que se deve ao baixo teor de Fe₂O₃ (Tabela 6) e ao predomínio

de goethita, o que confere aos solos de Tabuleiros Costeiros as cores amareladas típicas (CARDOSO et al., 2006; MOREAU et al., 2006). Nota-se que no perfil modal PA2, há incremento de mosqueados em profundidade, passando de comum para abundante, sendo que no horizonte Bt3 desse perfil a matriz do solo torna-se 7,5YR ao passo que o mosqueado é 10YR. Isso ocorreu, possivelmente, porque o ambiente pedogenético atual está propiciando a manutenção da caulinita herdada e a formação de goethita, removendo a hematita dos horizontes superficiais, o que favorece o amarelecimento no topo desses solos (DUARTE et al., 2000).

A estrutura é predominantemente em blocos subangulares no horizonte Bt, com fraco grau de desenvolvimento (aspecto maciço coeso *in situ*), característica peculiar de Argissolos e Latossolos desenvolvidos de sedimentos mais finos do Grupo Barreiras (CORRÊA et al., 2008a), caso do presente estudo. Os horizontes BA e Bt apresentaram aspecto maciço coeso *in situ* em todos os perfis modais. A origem dos horizontes coesos nos Tabuleiros Costeiros é ainda controversa (GIAROLA et al., 2009), sendo associada a fatores múltiplos e interrelacionados, principalmente de ordem química e física (CORRÊA et al., 2008a; GIAROLA et al., 2009; LIMA NETO et al., 2009). Segundo alguns autores, o predomínio da caulinita na fração argila desses solos pode contribuir para sua coesão, pois a forma laminar das partículas de caulinita possibilita um ajuste face a face nos horizontes com menores teores de matéria orgânica e óxidos de Fe e de Al (MARTINS et al., 2011; RESENDE et al., 2007). Por outro lado, outros autores demonstram que os maiores teores de argila fina iluviada nesses horizontes podem ser um fator preponderante na gênese dos horizontes coesos (CORRÊA et al., 2008a; GIAROLA et al., 2009; LIMA NETO et al., 2010). No entanto, nos perfis analisados não foi observado presença de cerosidade, que é um indicativo da iluviação de argila (RESENDE et al., 2007).

As raízes nos horizontes coesos variaram de poucas a raras. A elevada resistência à penetração desses horizontes quando secos dificulta o crescimento das raízes, que tendem a se concentrar na superfície (LIMA NETO et al., 2009; SANTANA et al., 2006). Portela et al. (2001) e Souza (1996) ressaltam que embora os solos dos Tabuleiros Costeiros sejam considerados profundos, eles possuem uma profundidade efetiva reduzida pela presença desses horizontes coesos, particularmente nas áreas com período seco mais pronunciado.

Tabela 3 Características morfológicas dos perfis modais da microbacia hidrográfica piloto nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo

Horizonte	Profundidade	Cor (úmida)	Mosqueado	Estrutura	Classe Textural	Cons. Úmida	Transição
Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado com mosqueado moderadamente drenado – PA2 (Eucalipto)							
A1	0-5/0-20	10YR 4/2	-	1 MPq a Pq Gr e GS	faa	MFri	go
A2	5-27/20-35	10YR 5/3	-	1 a 2 MPq a Pq Blsa e GS	faa	Fri	go
AB	27-45/35-45	10YR 6/3	-	1 Blsa*	aa	Fri	cp
BA	45-61	10YR 6/4	Pco a Com M Pro 7,5 YR 6/6	1 Blsa*	arg	Fir	cp
Bt1	61-105	10YR 6/4	Com M Pro 7,5 YR 6/6	1 Blsa*	ma	Fir	cp
Bt2	105-162	10YR 6,5/4	Abd M Pro 7,5 YR 6/6	1 Blsa*	ma	Fir	cp
Bt3	162-191	7,5 YR 6/6	Com M Pro 10 YR 7/4	1 Blsa*	ma	Fir	dp
Bt4	191-200+	7,5 YR 6/6	-	1 Blsa*	ma	Fir	-
Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado pedregoso bem drenado – PA4 (Mata Nativa)							
A	0-13	10 YR 4/2	-	1 M a Peq Gr e GS	faa	Fri	pc
AB	13-43	10YR 5/3	-	1 a 2 Blsa e Gr	aa	Fri	pg
BA	43-61	10YR 6/6	-	1 Blsa*	arg	Fri	pc
Bt1	61-85	10YR 5/6	-	1 Blsa*	arg	Fri	pc
Bt2	85-193	9YR 6/6	-	1 Blsa*	arg	Fir	pc
BC	193-225	7,5YR 5/6	-	1 Blsa*	arg	Fir	pc
C	225-251/225-316	7,5YR 7/4	-	1 Blsa*	arg	Fir	dc
Cx	251-329+/316-329+	-	-	1 Blsa*	aa	EFir	-
Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado bem drenado – PA1 (Mata Nativa)							
A1	0-15	10YR 4/2	-	1 Peq Gr e GS	faa	Fri	gp
A2	15-23/15-35	10YR 5/3	-	1 a 2 Peq Gr e GS	faa	Fri	co
BA	23-65/35-65	10YR 6/4	-	1 Blsa*	aa	Fir	cp
Bt1	65-98	10YR 6/4	-	1 Blsa*	aa	Fir	gp
Bt2	98-127	10YR 6,5/4	-	1 Blsa*	arg	Fir	gp
Bt3	127-159	10YR 7/4	-	1 Blsa*	arg	Fir	cp
Bt4	159-200+	10YR 7/4	-	1 Blsa*	arg	Fir	-

Estrutura: 1 - Fraca; 2 - Moderada; Blsa* - Blocos subangulares com aspecto de maciça coesa (*in situ*); Peq - Pequena; M - Média; Gr - Granular; GS - Grão Simples; Blsa - Bloco Subangular. Mosqueado: Pco - Pouco; Com - Comum; Pro - Proeminente; Abd - Abundante. Classe textural: faa - franco-argilo-arenosa, aa - argila arenosa, arg - argila, ma - muito argilosa. Consistência: Fir - Firme; Fri - Friável; MFri - Muito Friável. Transição: go - gradual e ondulado; cp - clara e plana; dp - difusa e plana; dc - descontínua e clara.

3.3 Características físicas do solo

Em todos os perfis modais (Tabela 4) e pontos observados, exclusive o OX (APÊNDICE C), houve aumento no conteúdo de argila em profundidade e diminuição no percentual de areia grossa e fina, passando de textura média para argilosa. Tal incremento de argila em profundidade foi suficiente para classificar os solos como Argissolos (EMBRAPA, 2006). A ocorrência de gradientes texturais nos Tabuleiros Costeiros deve-se à remoção preferencial das partículas finas, conferida pela estabilidade natural da paisagem (UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV, 1984). Além disso, o processo de destruição de argila pode ocorrer conjuntamente a essa remoção, aumentando ainda mais a diferenciação textural dos horizontes (CORRÊA et al., 2008a). E no campo, não se observa a presença de cerosidade no Bt.

Os perfis estudados apresentaram baixos teores de silte e baixa relação silte/argila. A baixa relação silte/argila dos solos dos Tabuleiros Costeiros ocorre por estes serem originados de sedimentos pré-intemperizados. Nesse sentido, a baixa relação silte/argila é característica dos sedimentos do Grupo Barreiras, não expressando bem a maturidade genética do solo (MOREAU et al., 2006). Os maiores valores da relação silte/argila ocorreram nos horizontes superficiais (A, AB e BA), e devem-se provavelmente, à perda relativa de argila na superfície por eluviação ou dissolução (SILVA et al., 2002), além da dificuldade de dispersão da fração argila relacionada aos maiores teores de matéria orgânica.

O teor de argila dispersa em água encontra-se mais elevada nos horizontes mais superficiais, em consonância com o maior teor de matéria orgânica. Os horizontes mais profundos apresentam 100% da argila floculada, comportamento que também foi observado por Moreau et al. (2006) e Silva e Carvalho(2007).

Tabela 4 Características físicas dos perfis modais da microbacia hidrográfica piloto nos Tabuleiros Costeiros

Santo.

Horizonte	Profundidade cm	Areia		Silte	Argila	ADA	IF
		Grossa	Fina				
		-----g kg ⁻¹ -----				%	
Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado com mosqueado moderadamente drenado – PA2							
A1	0-5/0-20	480	230	50	240	170	29
A2	5-27/20-35	420	230	90	260	200	23
AB	27-45/35-45	410	210	80	300	240	20
BA	45-61	360	210	40	390	140	64
Bt1	61-105	270	140	50	540	0	100
Bt2	105-162	240	120	40	600	0	100
Bt3	162-191	210	120	70	600	0	100
Bt4	191-200+	240	100	60	600	0	100
Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado pedregoso bem drenado – PA4							
A	0-13	440	200	60	300	22	27
AB	13-43	320	200	70	410	32	22
BA	43-61	250	180	80	490	34	31
Bt1	61-85	260	120	40	580	0	100
Bt2	85-193	260	120	50	570	0	100
BC	193-225	320	100	70	510	0	100
C	225-251/225-316	220	90	130	560	0	100
Cx	251-329+/316-329+	420	70	80	430	0	100
Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado bem – PA1							
A1	0-15	440	240	80	240	220	8
A2	15-23/15-35	400	240	80	280	280	0
BA	23-65/35-65	300	180	70	450	0	100
Bt1	65-98	300	170	60	470	0	100
Bt2	98-127	300	150	70	480	0	100
Bt3	127-159	270	150	20	560	0	100

ADA – Argila dispersa em água e IF – Índice de flocação.

3.4 Características químicas do solo

3.4.1 Análises de rotina

A Tabela 5 apresenta os resultados de análise de rotina dos perfis modais e o APÊNDICE D, os resultados das microtrincheiras. Tanto nos perfis modais quanto nas microtrincheiras os resultados apresentaram baixa disponibilidade de nutrientes com elevados teores de alumínio trocável (Al) e saturação por Al (m), baixa soma de bases (SB), saturação por bases (V), pH, P e capacidade de troca de cátions (CTC). Os baixos valores de CTC, inferiores a $8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, são reflexo da mineralogia caulínica da fração argila dos solos. Esses resultados foram semelhantes aos de vários autores que estudaram solos dos Tabuleiros Costeiros (CORRÊA et al., 2008a, 2008b; DUARTE et al., 2000; GIAROLA et al., 2009; LIMA NETO et al., 2009; MOREAU et al., 2006). Essa pobreza química dos solos dos Tabuleiros é influência direta do material de origem altamente intemperizado (LIMA NETO et al., 2009).

Foi observado microtrincheiras que apresentaram epieutrofismo ($V > 50\%$ em superfície), em que o Ca e o Mg predominam como os principais componentes da SB, e baixa saturação por Al em superfície. No entanto, foram poucos pontos observados com essa característica, e isso se deve ao enriquecimento via aplicações de fertilizantes e corretivos, durante o preparo do solo para o eucalipto. Para quantificar e localizar as áreas de plantio de eucalipto com características epieutróficas, especializou-se o V das amostras da profundidade de 0 a 20 cm, pois essa é uma característica importante no manejo da fertilidade do solo. Observou-se que apenas 20% da área de plantio de eucalipto apresentou epieutrofismo (Figura 3).

Tabela 5 Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis modais

Horizonte	Profundidade	$\frac{pH}{H_2O}$	Ca	Mg	K	Na	SB	Al	H+Al	CTC	V	m	P	MOS
							----- cmol _c dm ⁻³ -----			----%----	mg dm ⁻³	g kg ⁻¹		
Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado com mosqueado moderadamente drenado – PA2														
A1	0-5/0-20	5	0,9	0,2	0,06	0,04	1,2	0,5	4,5	5,7	20,4	30,1	7,8	27
A2	5-27/20-35	4,4	0,1	0,1	0,02	0,02	0,2	1,4	6,3	6,5	3,4	86,2	2,9	20
AB	27-45/35-45	4,3	0,1	0,1	0,02	0,01	0,2	1,2	5,0	5,3	4,1	84,7	2,6	12
BA	45-61	4,3	0,1	0,1	0,01	0,01	0,2	1,2	4,0	4,2	4,9	85,2	2,3	6
Bt1	61-105	4,2	0,1	0,1	0,01	<0,01	0,2	1,3	4,0	4,2	4,8	86,4	1,5	3
Bt2	105-162	4,8	0,2	0,2	0,01	<0,01	0,4	0,7	2,3	2,7	14,8	63,4	1,2	1
Bt3	162-191	4,6	0,1	0,2	0,01	<0,01	0,3	0,6	2,1	2,4	12,8	66,4	1,5	1
Bt4	191-200+	4,4	0,1	0,1	0,01	<0,01	0,2	0,5	1,9	2,1	9,9	71	1,8	2
Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado pedregoso bem drenado – PA4														
A	0-13	4,7	1,1	0,6	0,11	0,05	1,9	0,6	5,6	7,4	24,3	24,9	2,9	29
AB	13-43	4,6	0,3	0,4	0,07	0,04	0,8	0,9	5,6	6,4	12	53,8	2,9	19
BA	43-61	4,6	0,1	0,2	0,06	0,03	0,4	1	4,5	4,9	7,4	73,5	2	1,
Bt1	61-85	4,8	0,1	0,1	0,04	0,04	0,3	1	4,0	4,3	5,5	80,9	2	9
Bt2	85-193	5,0	0,1	0,2	0,01	0,05	0,4	0,5	2,3	2,6	11,6	62,2	1,5	1
BC	193-225	4,9	0,1	0,2	0,01	0,05	0,4	0,5	2,1	2,4	12,8	62,2	1,2	<1
C	225-251/225-316	4,8	0,1	0,2	0,01	0,08	0,4	0,9	2,9	3,2	9,5	74,8	1,5	<1
Cx	251-329+/316-329+	4,8	0,1	0,1	0,01	0,06	0,3	1	2,6	2,8	7,3	83,1	1,5	<1
Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado bem drenado – PA1														
A1	0-15	5,1	1,1	0,7	0,18	0,04	2,0	0,2	3,6	5,6	35,4	9,2	2,6	21
A2	15-23/15-35	5,0	0,7	0,5	0,12	0,03	1,3	0,4	4,0	5,4	24,6	23,3	2,6	18
BA	23-65/35-65	4,8	0,2	0,2	0,03	0,02	0,5	0,7	2,6	3,0	14,2	62,1	1,2	6
Bt1	65-98	4,9	0,1	0,6	0,01	0,03	0,7	0,5	2,1	2,8	25,5	41,3	0,7	4
Bt2	98-127	4,9	0,1	0,7	0,02	0,02	0,8	0,5	1,9	2,7	30,7	37,8	1,0	1
Bt3	127-159	4,8	0,1	0,6	0,04	0,02	0,8	0,5	2,1	2,8	26,2	40,5	1,0	1
Bt4	159-200+	4,8	0,1	0,5	0,02	0,03	0,7	0,6	2,1	2,7	23,1	49	1,0	<1

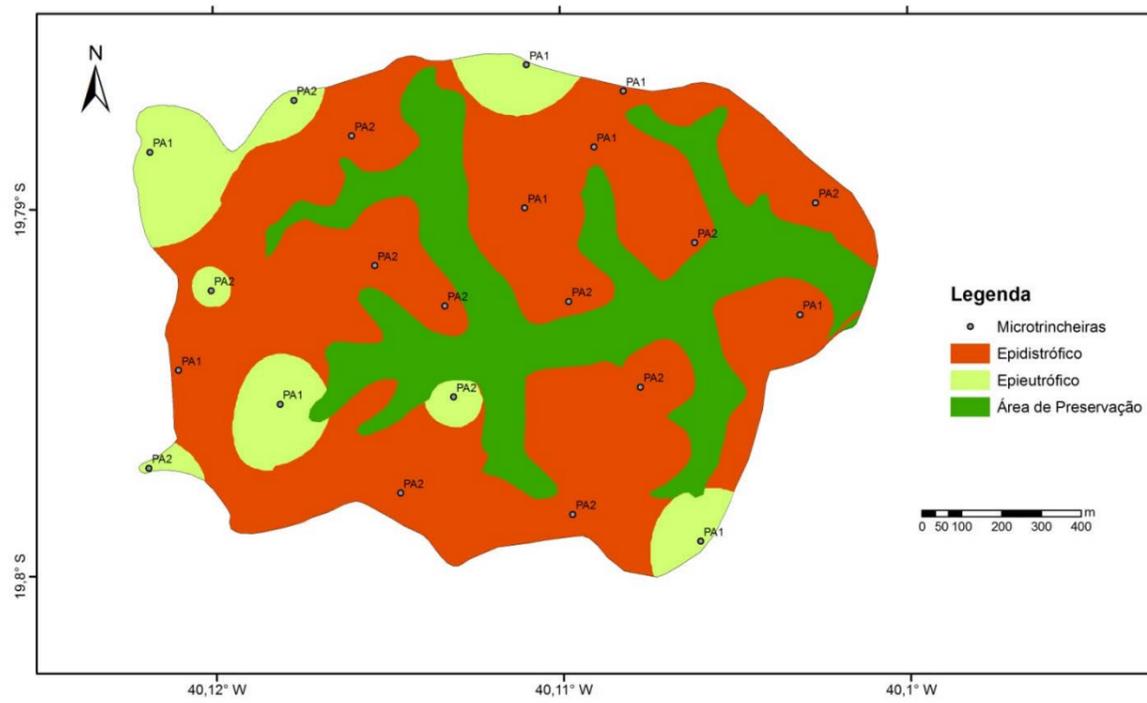


Figura 3 Mapa de saturação por base (V) das amostras de 0 a 20 cm da microbacia hidrográfica piloto nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo

3.4.2 Ataque Sulfúrico

A Tabela 6 apresenta o resultado da digestão sulfúrica dos horizontes dos perfis modais. Observa-se o baixo teor de Fe_2O_3 (valores $< 80 \text{ g kg}^{-1}$), característica que é marcante dos solos nos Tabuleiros Costeiros (CORRÊA et al., 2008b; DUARTE et al., 2000; LIMA et al., 2004), e que reflete o baixo teor de Fe do material de origem desses solos. Nota-se que o teor de Fe_2O_3 tende a aumentar em profundidade, assim como o teor de argila. Pelo fato de os óxidos de ferro ocorrer em associação com argila, seus menores valores em superfície são justificados pela perda de argila nas camadas superficiais (UFV, 1984).

O índice k_i de todos os perfis indica a natureza caulínica da fração argila, pois, segundo Embrapa (2006), k_i igual a 1,7 ou maior é característico de mineralogia caulínica da fração argila, no caso de Argissolos dos Tabuleiros Costeiros. Esse fato indica relativamente avançado estágio de intemperismo, resultado coerente com diversos autores (LIMA et al., 2004; LIMA NETO et al., 2009; MOREAU et al., 2006).

Tabela 6 Resultados do ataque sulfúrico e relações Ki, Kr e Al₂O₃/Fe₂O₃ dos dos horizontes dos perfis modais

Horizonte	Profundidade	g kg ⁻¹					Ki	Kr	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅			
Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado com mosqueado moderadamente drenado – PA2									
A1	0-5/0-20	94	93	18	20	0,1	1,7	1,5	8,2
A2	5-27/20-35	125	105	21	28	0,1	2,0	1,8	7,8
AB	27-45/35-45	139	104	20	27	0,1	2,3	2,0	8,0
BA	45-61	165	156	25	33	0,1	1,8	1,6	9,6
Bt1	61-105	246	203	40	36	0,2	2,1	1,8	8,0
Bt2	105-162	259	224	39	37	0,3	2,0	1,8	9,0
Bt3	162-191	269	242	39	39	0,2	1,9	1,7	9,6
Bt4	191-200+	271	242	44	40	0,2	1,9	1,7	8,6
Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado pedregoso bem drenado – PA4									
A	0-13	129	120	38	30	0,2	1,8	1,5	5,0
AB	13-43	168	147	45	36	0,2	2,0	1,6	4,9
BA	43-61	199	146	56	39	0,2	2,3	1,9	4,1
Bt1	61-85	245	216	67	39	0,2	1,9	1,6	5,1
Bt2	85-193	221	207	71	37	0,2	1,8	1,5	4,6
BC	193-225	220	205	59	35	0,4	1,8	1,6	5,5
C	225-251/225-316	294	271	80	44	0,5	1,8	1,6	5,2
Cx	251-329+/316-329+	207	170	19	28	0,3	2,1	1,9	13,9
Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado bem drenado – PA1									
A1	0-15	109	100	18	26	0,1	1,9	1,7	8,7
A2	15-23/15-35	135	109	18	29	0,1	2,1	1,9	9,3
BA	23-65/35-65	210	188	25	37	0,1	1,9	1,8	11,5
Bt1	65-98	219	185	20	35	0,1	2,0	1,9	14,4
Bt2	98-127	228	188	23	35	0,1	2,1	1,9	12,7
Bt3	127-159	232	183	32	34	0,1	2,2	1,9	8,9
Bt4	159-200+	250	232	38	37	0,1	1,8	1,7	9,5

3.5 Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica piloto

A Tabela 7 apresenta as características físicas da microbacia. A área da microbacia hidrográfica é de 1,82 km² e o perímetro, de 5,78 km, aproximadamente de 25% da microbacia (48 ha) é destinada a preservação (Figura 3) e o restante é ocupado com plantio de eucalipto. As altitudes mínima, média e máxima da microbacia são 8, 28 e 35 m, respectivamente (Tabela 7 – Figura 4), com a faixa de altitude entre 30 e 35 m ocupando 60% da área da microbacia (Tabela 8).

O relevo plano predomina ocupando 51% da área (Tabela 8 – Figura 5). O predomínio de relevo plano auxilia na menor perda de solo na área de plantio de eucalipto, pois de acordo com Martins et al. (2011) os Argissolo Amarelos dos Tabuleiros Costeiros são solos que apresentam baixa erodibilidade devido a alta coesão característica desses solos. Este é um sistema altamente conservador de nutrientes em relevo plano (RESENDE et al., 1988). Por outro lado, a baixa permeabilidade desses solos à água, faz com que em declive um pouco mais acentuado já ocorram perdas de solo por erosão (RESENDE et al., 1988), o que possivelmente explica a ocorrência de solos pedregosos (PA4) e rochosos (PA5) somente em relevos ondulados e forte ondulados (Figura 1).

O Kc da microbacia é 1,20 e o IC é 0,68 (Tabela 8), o que demonstra que o seu formato é circular (valores próximos de 1). Segundo Cardoso et al. (2006), o formato circular não proporciona um fluxo bem distribuído ao longo de todo o canal, produzindo cheias de volume superior quando comparado a uma bacia alongada. Os valores de Kc e IC indicam que a bacia tem alta propensão ao alagamento das partes baixas (VILLELA; MATTOS, 1975), o que pode ser confirmado pelos maiores valores do WI nessas localidades (Figura 6), o que também explica a ocorrência do OX nessa localidade, pois é um solo associado a ambientes de excesso de água (RESENDE et al., 2007).

O Kf diz respeito à tendência de ocorrerem alagamentos temporários, mas não informa a sua intensidade. O Kf da microbacia é 0,56 (Tabela 8), indicando que microbacia, em condições normais de pluviosidade, possui tendência mediana para enchentes (VILLELA; MATTOS, 1975). Portanto, com base nos índices Kf e Kc, pode-se inferir que a microbacia apresenta tendência mediana a alagamentos e, se estes ocorrerem, poderão ser de alta intensidade.

A Dd encontrada na microbacia hidrográfica é de 2,18 km km⁻² (Tabela 7), tal valor classifica a drenagem da microbacia como de baixa densidade (< 5 km km⁻²) (CARDOSO et al., 2006), típico de bacias pequenas (COLLARES, 2000). Valores maiores são geralmente encontrados em bacias de grande porte, com área superior a 40 km² (COLLARES, 2000).

A ordem da rede de drenagem é uma classificação que reflete o grau de ramificações ou bifurcações dentro de uma microbacia. A ordem da microbacia estudada é 3, segundo a classificação de Strahler (1957) (Figura 2). Ordem inferior ou igual a 4 é comum em pequenas bacias hidrográficas e considera-se que quanto mais ramificada for a rede, mais eficiente será o sistema de drenagem (TONELLO et al., 2006).

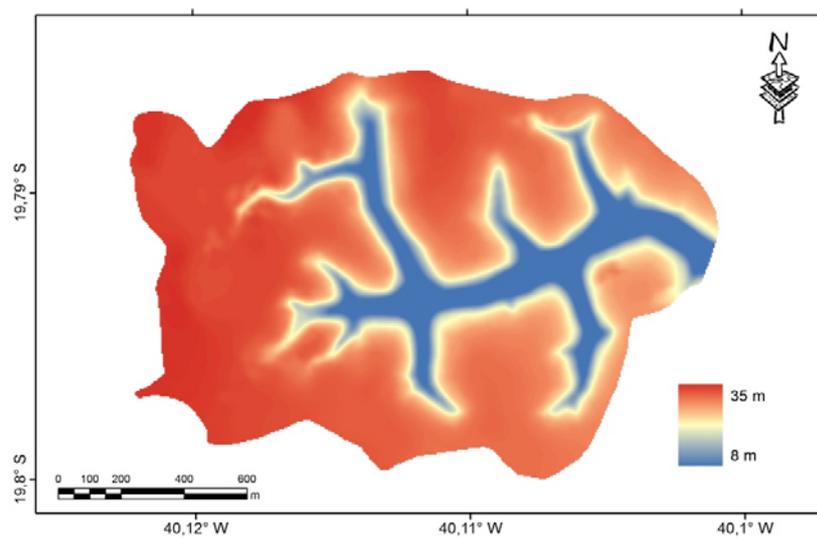


Figura 4 Modelo digital de elevação (DEM) da microbacia hidrográfica piloto nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo

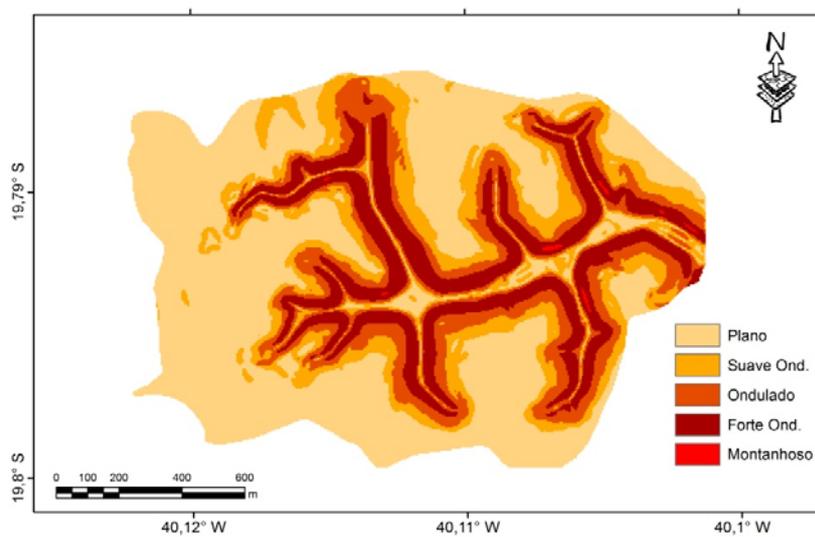


Figura 5 Mapa de classes de declive da microbacia hidrográfica piloto nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo

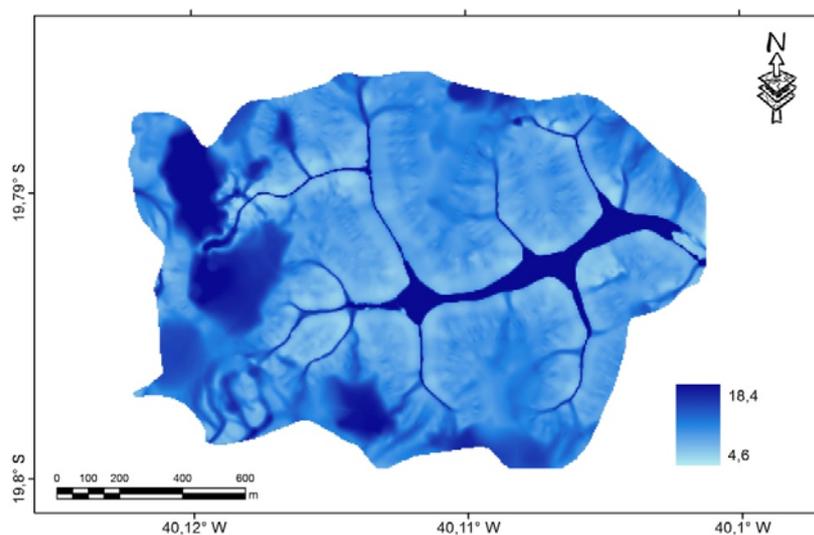


Figura 6 Índice topográfico de umidade (WI) da microbacia hidrográfica piloto nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo

Tabela 7 Características físicas da microbacia hidrográfica piloto nos Tabuleiros Costeiros do ES

Características Físicas	Valores
Área (km ²)	1,82
Perímetro (km)	5,78
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,20
Fator de Forma (Kf)	0,56
Índice de Circularidade (IC)	0,68
Declividade máxima (%)	49,81
Declividade mínima (%)	0,00
Declividade média (%)	8,51
Altitude máxima (m)	35,00
Altitude mínima (m)	8,00
Altitude média (m)	28,40
Ordem da Bacia	3,00
Densidade de Drenagem (km/km ²)	2,18

Tabela 8 Expressão geográfica das classes de relevo e faixas de altitude da microbacia hidrográfica piloto nos Tabuleiros Costeiros do ES

Classes de Relevo	Há	%	Faixas de Altitude	ha	%
Plano	92,5	50,9%	< 15 m	16,2	8,9%
Suave Ondulado	29,3	16,1%	15-20 m	10,0	5,5%
Ondulado	25,7	14,2%	20-25 m	14,3	7,9%
Forte Ondulado	34,1	18,8%	25-30 m	32,1	17,7%
-			30-35 m	108,9	60,0%
TOTAL	181,6	100%	TOTAL	181,6	100%

4 CONCLUSÃO

A classe de solo amplamente predominante na microbacia é o Argissolo Amarelo Distrófico/Distrocoeso (96,4%), que é também a classe de solo predominante nos Tabuleiros Costeiros brasileiros.

Técnicas de geoprocessamento e o DEM auxiliaram na estratificação mais precisa das classes de solo no mapa pedológico.

Os atributos físicos, químicos e morfológicos dos solos da microbacia são característicos dos solos dominantes dos Tabuleiros Costeiros, sendo a microbacia, portanto, uma unidade de pesquisa altamente representativa dos solos da referida região.

REFERÊNCIAS

CARDOSO, C. A. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

COLLARES, E. G. **Avaliação de alterações em redes de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: aplicação na bacia do Rio Capivari, SP**. 193 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

CORRÊA, M. M. et al. Caracterização de óxidos de ferro de solos do ambiente tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 3, p. 1017-1031, 2008a.

CORRÊA, M. M. et al. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 1, p. 297-313, 2008b. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n1/28.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2011.

COSTA, A. M. et al. Avaliação do risco de anoxia para o cultivo do eucalipto no Rio Grande do Sul utilizando-se levantamento de solos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 367-375, 2009.

CURI, N. Interpretação e decodificação do levantamento de solos das áreas da Aracruz Celulose S.A no Espírito Santo e sul da Bahia para o cultivo de eucalipto. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento generalizado e semidetalhado de solos da Aracruz Celulose S.A. no Espírito Santo e sul da Bahia para o cultivo de eucalipto**. Rio de Janeiro, 2000. p. 70-80. (Boletim de Pesquisa, 1).

DUARTE, M. N. et al. Mineralogia, química e micromorfologia de solos de uma microbacia nos tabuleiros costeiros do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p.1237-1250, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FONSÊCA, M. H. P. et al. Uso de propriedades físico-hídricas do solo na identificação de camadas adensadas nos Tabuleiros Costeiros, Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, campina Grande, v. 11, n. 4, p. 368–373, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbeaa/v11n4/v11n04a04.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2011.

GIAROLA, N. F. B. et al. Mineralogia e cristalografia da fração argila de horizontes coesos de solos nos tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, n. 1, p. 33-40, 2009.

HORTA, I. M. F. et al. Levantamento de reconhecimento com apoio digital dos solos do município de Nazareno-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, p. 1940-1947, 2009.

LACERDA, M. P. C.; ALVARENGA, M. I. N. Recursos naturais da microbacia. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 21-32, nov./dez. 2000.

LEMOS, R. C. et al. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 5. ed. Viçosa, MG: SBCS, 2005. 92 p.

LIMA, H. V. et al. Identificação e caracterização de solos coesos no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 467-476, 2004.

LIMA NETO, J. D. A. et al. Caracterização e gênese do caráter coeso em latossolos amarelos e argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, n. 4, p. 1001-1011, 2009.

MARTINS, S. G. et al. Erodibilidade do solo nos tabuleiros costeiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 322-327, 2011.

McBRATNEY, A. B.; MEDONÇA SANTOS, M. L.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, Amsterdam, v. 109, p. 41-73, 2003.

MENEZES, M. D. et al. Levantamento pedológico e sistema de informações geográficas na avaliação do uso das terras em sub-bacia hidrográfica de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1544-1553, 2009.

MOREAU, A. M. S. S. et al. Caracterização de solos de duas toposequências em Tabuleiros Costeiros do Sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 30, p. 1007-1019, 2006.

PORTELA, J. C. et al. Retenção da água em solo sob diferentes usos no ecossistema tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, campina Grande, v. 5, n. 1, p. 49-54, 2001.

RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, D. P. **Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações**. Brasília, 1988. 81 p.

RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para a distinção de ambientes**. 5. ed. Viçosa, MG: NEPUT, 2007. 322 p.

SANTANA, M. B. et al. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de Tabuleiros Costeiros do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 30, n. 3, p. 1-12, 2006.

SILVA, A. J. N. D.; CARVALHO, F. G. D. Coesão e resistência ao cisalhamento relacionadas a atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, n. 5, p. 853-862, 2007.

SILVA, M. S. L. et al. Adensamento subsuperficial em solos do semi-árido: Processos geológicos e, ou, pedogenéticos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, campina Grande, v. 6, p. 314-320, 2002.

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

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transaction of the American Geophysical Union**, Washington, v. 36, n. 6, p. 913-920, 1957.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222 p.

SULEBAK, J. R.; TALLAKSEN, L. M.; ERICHSEN, B. Estimation of areal soil moisture by use of terrain data. **Geografiska Annaler**, Stockholm, n. 82, p. 89-105, 2000.

TONELLO, K. C. et al. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 943 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **Caracterização de solos e avaliação dos principais sistemas de manejo dos tabuleiros costeiros do baixo Rio Doce e da região norte do Estado do Espírito Santo e sua interpretação para uso agrícola.** Viçosa, MG: UFV,CVRD, 1984. 153 p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

APÊNDICE A – DESCRIÇÃO DOS PERFIS MODAIS

Perfil 1

DESCRIÇÃO GERAL

Classificação: Argissolo Amarelo Distrocoeso com mosqueado A moderado textura média/argilosa

Localização: 0383380 mE 7811360 mN Fuso 24k Datum horizontal SAD69

Situação e declive: trincheira situada no terço superior de elevação com 1% de declive

Altitude: 32 m

Material Originário; Período e formação geológica: sedimentos do terciário; formação Barreiras.

Relevo Local: Plano

Erosão: Não aparente

Drenagem: Moderadamente drenado

Vegetação Nativa: Floresta tropical subperenifólia

Uso atual: Plantio de eucalipto

Examinadores: Nilton Curi; Walbert Júnior Reis dos Santos; Sérgio Henrique Godinho Silva e Geraldo Messias Sabino.

Data: 14/10/2010

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

O 10-0 cm, serrapilheira.

A1 0-5 cm/0-20 cm, bruno-acizentado-escuro (10YR 4/2, úmido); franco-argilo-arenoso; fraca, muito pequena a pequena granular e grãos

- simples; dura, muito friável, ligeiramente plástica; transição gradual e ondulada.
- A2 5-27 cm/20-35 cm, bruno (10YR 5/3, úmido); franco-argilo-arenoso; fraca a moderada, muito pequena a pequena blocos subangulares e grãos simples; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e ondulada.
- AB 27-45 cm/35-45 cm, bruno-claro-acizentado (10YR 6/3, úmido); franco-argilo-arenoso; fraca blocos subangulares com aspecto de maciça coesa (*in situ*); ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- BA 45-61 cm, bruno-amarelo-claro (10YR 6/4, úmido); mosqueado pouco a comum, médio e proeminente, amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6, úmido); argila arenosa; fraca blocos subangulares com aspecto de maciça coesa (*in situ*); muito dura, firme, plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- Bt1 61-105 cm, bruno-amarelo-claro (10YR 6/4, úmido); mosqueado comum, médio e proeminente, amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6, úmido); argila; fraca blocos subangulares com aspecto de maciça coesa (*in situ*); muito dura, firme, plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- Bt2 105-162 cm, bruno-amarelo-claro (10YR 6,5/4, úmido); mosqueado abundante, médio e proeminente, amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6, úmido); muito argiloso; fraca blocos subangulares com aspecto de maciça coesa (*in situ*); muito dura, firme, plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- Bt3 162-191 cm, amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6, úmido); mosqueado comum, médio e proeminente bruno-amarelo-claro (10YR 7/4, úmido); muito argiloso; fraca blocos subangulares com aspecto de maciça coesa (*in situ*); muito dura, muito firme, plástica e pegajosa; transição difusa.
- Bt4 191-200+ cm, amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6, úmido); muito argiloso; fraca blocos subangulares com aspecto de maciça coesa (*in situ*); ligeiramente dura, firme, plástica e pegajosa.

Observações:

- Raízes: comuns no A1, poucas no A2 e BA, raras nos demais horizontes;
- Perfil descrito e coletado em dia nublado;
- Área recém-cortada;
- Área sutilmente abaciada;
- Presença de serrapilheira;
- Esparsos fragmentos de plintida a partir do horizonte BA (em profundidade).

Tabela 1 Análise granulométrica

Horizonte	Profundidade	Frações da amostra total		Composição granulométrica TFSA			
		Cascalho	TFSA	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	cm			g kg ⁻¹			
A1	0-5/5-20	-	1000	480	230	50	240
A2	5-27/20-35	-	1000	420	230	90	260
AB	27-45/35-45	-	1000	410	210	80	300
BA	45-61	-	1000	360	210	40	390
Bt1	61-105	-	1000	270	140	50	540
Bt2	105-162	-	1000	240	120	40	600
Bt3	162-191	-	1000	210	120	70	600
Bt4	191-200+	-	1000	240	100	60	600

Em que: TFSA – Terra Fina Seca ao Ar

Tabela 2 Relação silte/argila, argila dispersa em água (ADA), índice de floculação (IF), pH em água, acidez extraível e carbono orgânico (C org.)

Horizonte	Silte/Argila	ADA	IF	pH		Acidez extraível		C org g kg ⁻¹
				H ₂ O		Al	H+Al	
		g kg ⁻¹	%			cmol _c dm ⁻³		
A1	0,2	170	29	5		0,5	4,5	46,5
A2	0,3	200	23	4,4		1,4	6,3	34,5
AB	0,3	240	20	4,3		1,2	5	20,7
BA	0,1	140	64	4,3		1,2	4	10,3
Bt1	0,1	0	100	4,2		1,3	4	5,1
Bt2	0,1	0	100	4,8		0,7	2,3	1,7
Bt3	0,1	0	100	4,6		0,6	2,1	1,7
Bt4	0,1	0	100	4,4		0,5	1,9	3,4

Tabela 3 Complexo sortivo, soma de bases (SB), CTC a pH 7 (T), CTC efetiva (t), saturação por alumínio (m) e saturação por bases (V)

Horizonte	Cátions trocáveis			P	P	P	N	SB	T	t	m	V
	Ca	Mg	K	rem.	Resina		total					
	cmol _c kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	kg L ⁻¹	mg dm ⁻³		%	-----cmol _c dm ⁻³ -----	%			
A1	0,9	0,2	23	44,8	0,9	7,8	1,8	1,2	5,7	1,7	30,1	20,4
A2	0,1	0,1	9	42,3	0,1	2,9	1,6	0,2	6,5	1,6	86,2	3,4
AB	0,1	0,1	6	41,0	0,1	2,6	1,4	0,2	5,3	1,4	84,7	4,1
BA	0,1	0,1	3	41,0	0,1	2,3	1	0,2	4,2	1,4	85,2	4,9
Bt1	0,1	0,1	2	36,3	0,1	1,5	0,8	0,2	4,2	1,5	86,4	4,8
Bt2	0,2	0,2	2	35,2	0,1	1,2	0,8	0,4	2,7	1,1	63,4	14,8
Bt3	0,1	0,2	2	29,8	0,1	1,5	0,8	0,3	2,4	0,9	66,4	12,8
Bt4	0,1	0,1	2	30,8	0,1	1,8	0,8	0,2	2,1	0,7	71	9,9

Tabela 4 Sódio (Na), índice de saturação de sódio (ISNA), boro, enxofre e micronutrientes (Mn, Cu, Zn e Fe)

Horizonte	Na	ISNA	B	S	Mn	Cu	Zn	Fe
	mg kg ⁻¹	%	-----mg kg ⁻¹ ----		-----mg kg ⁻¹ -----			
A1	8,3	2,12	0,1	7,1	2,068	0,482	1,908	191,21
A2	4,6	1,25	0,1	4,5	0,571	0,18	1,026	204,47
AB	2,8	0,87	0,1	5,8	0,392	0,093	0,521	125,59
BA	2,8	0,87	0,1	34,4	0,336	0,087	0,69	31,68
Bt1	1,8	0,52	0,1	56	0,081	0,058	0,598	8323
Bt2	1,8	0,71	0,1	85,7	0,128	0,043	0,458	2282
Bt3	1,8	0,87	0,1	85,7	0,211	0,088	1,59	0,933
Bt4	0,9	0,56	0,1	97,5	0,087	0,052	0,551	0,83

Tabela 5 Ataque sulfúrico, índices Ki e Kr e relação Al₂O₃/ Fe₂O₃

Horizonte	Ataque sulfúrico					Ki	Kr	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅			
	g kg ⁻¹							
A1	94,4	92,8	17,7	20,04	0,11	1,73	1,54	8,24
A2	125,3	105,1	21,1	27,71	0,12	2,03	1,8	7,81
AB	139,4	104,1	20,4	26,76	0,06	2,28	2,02	8,01
BA	165	156	25,5	32,36	0,06	1,8	1,63	9,61
Bt1	246,1	203,2	39,8	36,12	0,18	2,06	1,83	8,01
Bt2	259,7	224,1	39,3	36,62	0,25	1,97	1,77	8,96
Bt3	269,9	242,3	39,5	38,9	0,17	1,89	1,71	9,63
Bt4	271	242,5	44,1	40,11	0,18	1,9	1,7	8,62

Tabela 6 Curva de retenção de umidade

Horizonte	Curva de retenção de umidade			
	15 atm	0,33 atm	0,10 atm	0,02 atm
A1	7,7	9,8	11,6	20,3
A2	9,0	11,6	16,7	22,1
AB	10,0	13,3	18,1	29,8
BA	10,9	15,9	18,3	32,4
Bt1	16,4	23,1	24,3	43,7
Bt2	18,6	25,2	26,1	44,5
Bt3	19,3	25,7	25,9	45,0
Bt4	18,2	24,5	26,2	44,1



Figura 1 Foto do perfil modal 1

DESCRIÇÃO GERAL

Perfil 2

Classificação: Argissolo Amarelo Distrocoeso típico pedregoso A moderado
textura média/argilosa

Localização: 0384120 mE 7811382 mN Fuso 24k Datum horizontal SAD69

Situação e declive: corte de estrada no terço médio de elevação com 25% de
declive

Altitude: 27 m

Material Originário; Período e formação geológica: sedimentos do terciário;
formação Barreiras

Relevo Local: Forte Ondulado

Erosão: Laminar ligeira

Drenagem: Bem drenado

Vegetação Nativa: Floresta tropical subperenifolia

Uso atual: Reserva de flora e fauna

Examinadores: Nilton Curi; Walbert Júnior Reis dos Santos; Sérgio Henrique
Godinho Silva e Geraldo Messias Sabino.

Data: 15/10/2010

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- O 8-0 cm, serrapilheira.
- A 0-13 cm, bruno-aceizentado-escuro (10YR 4/2, úmida); franco-argilo-arenoso; média pequena granular e grãos simples; ligeiramente dura, friável; transição plana e clara.
- AB 13-43 cm, bruno (10YR 5/3, úmida); argila arenosa; fraca a moderada bloco subangular e granular; dura, firme; transição plana e gradual.

- BA 43-61 cm, amarelo-brunado (10YR 6/6, úmida); argila; fraca blocos subangulares com aspecto de maciça coesa (*in situ*); ligeiramente dura, friável; transição plana e clara.
- Bt1 61-85 cm, bruno-amarelado (10YR 5/6, úmida); argila; fraca blocos subangulares com aspecto de maciça coesa (*in situ*); muito dura, friável; transição plana e clara.
- Bt2 85-193 cm, amarelo-brunado (9YR 6/6, úmida); argila; fraca blocos subangulares com aspecto de maciça coesa (*in situ*); muito dura, firme; transição plana e clara.
- BC 193-225 cm, bruno-forte (7,5YR 5/6, úmida); argila; fraca blocos subangulares com aspecto de maciça coesa (*in situ*); muito dura, firme; transição plana e clara.
- C 225-251 cm/ 225-316 cm, rosado (7,5YR 7/4, úmida); argila; fraca blocos subangulares com aspecto de maciça coesa (*in situ*); muito dura, firme; transição descontínua e clara.
- Cx 251-329+ cm/316-329+ cm, horizonte constituído por material semialterado, apresentando mescla de cores avermelhadas e esbranquiçadas; argila arenosa; fraca blocos subangulares com aspecto de maciça coesa (*in situ*); extremamente dura, extremamente firme.

Observações:

- Raízes: comuns no A, poucas no AB, BA e Bt1, raras nos demais horizontes;
- Área em regeneração natural;
- Perfil descrito em dia chuvoso;
- Horizonte C contendo faixas de material mais esbranquiçado (fragipã), alternadas de faixas material mais róseo;
- O material concrecionário é proveniente da consolidação da plintita (petroplintita);
- A percentagem de material petroplintítico foi estimada em 5% da massa do solo, naqueles horizontes que o contém (Cx, BC, Bt2);

- Os testes de campo executados no horizonte Cx indicaram a ocorrência de fragipã.

Tabela 7 Análise granulométrica

Horizonte	Profundidade	Frações da amostra total		Composição granulométrica TFSA			
		Cascalho	TFSA	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	cm	g kg ⁻¹					
A	0-13	-	1000	440	200	60	300
AB	13-43	-	1000	320	200	70	410
BA	43-61	-	1000	250	180	80	490
Bt1	61-85	-	1000	260	120	40	580
Bt2	85-193	-	1000	260	120	50	570
BC	193-225	-	1000	320	100	70	510
C	225-251/225-316	-	1000	220	90	130	560
Cx	251-329+/316-329+	-	1000	420	70	80	430

Em que: TFSA – terra fina seca ao ar.

Tabela 8 Relação silte/argila, argila dispersa em água (ADA), índice de floculação (IF), pH em água, acidez extraível e carbono orgânico (C org.)

Horizonte	Silte/Argila	ADA	IF	Acidez extraível			C org
				pH			
				H ₂ O	Al	H+Al	
		g kg ⁻¹	%		cmol _c dm ⁻³	g kg ⁻¹	
A	0,2	22	27	4,7	0,6	5,6	49,9
AB	0,2	32	22	4,6	0,9	5,6	32,7
BA	0,2	34	31	4,6	1,0	4,5	18,9
Bt1	0,1	0	100	4,8	1,0	4,0	15,5
Bt2	0,1	0	100	5,0	0,5	2,3	1,7
BC	0,1	0	100	4,9	0,5	2,1	0
C	0,2	0	100	4,8	0,9	2,9	0
Cx	0,2	0	100	4,8	1,0	2,6	0

Tabela 9 Complexo sortivo, soma de bases (SB), CTC a pH 7 (T), CTC efetiva (t), saturação por alumínio (m) e saturação por bases (V)

Horizonte	Cátions trocáveis			P	P	P	N	SB	T	t	m	V
	Ca	Mg	K	rem.	Resina		total					
	cmol _c kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	kg L ⁻¹	mg dm ⁻³		%	-----cmol _c kg ⁻¹ -----					
A	1,1	0,6	42	43,5	2,9	2,9	1,8	1,8	7,4	2,4	24,9	24,3
AB	0,3	0,4	28	38,6	1,4	2,9	1,6	0,8	6,4	1,7	53,8	12,0
BA	0,1	0,2	23	33	0,1	2,0	1,2	0,4	4,9	1,4	73,5	7,4
Bt1	0,1	0,1	14	29,8	0,1	2,0	1,4	0,2	4,3	1,2	80,9	5,5
Bt2	0,1	0,2	2	25,1	0,1	1,5	1,0	0,3	2,6	0,8	62,2	11,6
BC	0,1	0,2	2	25,9	0,1	1,2	0,8	0,3	2,4	0,8	62,2	12,8
C	0,1	0,2	2	23,5	0,1	1,5	0,8	0,3	3,2	1,2	74,8	9,5
Cx	0,1	0,1	2	29,3	0,1	1,5	0,8	0,2	2,8	1,2	83,1	7,3

Tabela 10 Sódio (Na), índice de saturação de sódio (ISNA), boro, enxofre e micronutrientes (Mn, Cu, Zn e Fe)

Horizonte	Na	ISNA	B	S	Mn	Cu	Zn	Fe
	mg dm ⁻³	%	---mg dm ⁻³ ---			-----mg kg ⁻¹ -----		
A	12	2,17	0,3	16,6	7,605	0,128	0,862	144,12
AB	8,3	2,12	0,2	9,4	0,432	0,143	0,814	111,9
BA	7,4	2,30	0,2	42,5	0,815	0,086	0,835	33,38
Bt1	8,3	3,01	0,2	52,9	0,257	0,074	0,552	10458
Bt2	12,9	7,01	0,1	71,8	0,119	0,094	0,856	1606
BC	12,9	7,01	0,1	85,7	0,049	0,065	0,533	1,37
C	18,4	6,67	0,1	94,5	0,033	0,165	1,027	9,37
Cx	13,8	5,00	0,1	85,7	0,068	0,184	0,601	2,47

Tabela 11 Ataque sulfúrico, índices Ki e Kr e relação Al₂O₃/ Fe₂O₃

Horizonte	Ataque sulfúrico					Ki	Kr	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅			
	g kg ⁻¹							
A	129,4	120,3	37,9	29,98	0,23	1,83	1,52	4,98
AB	168,9	147,2	47,4	36,52	0,23	1,95	1,62	4,87
BA	199,3	146	56,2	38,62	0,24	2,32	1,86	4,08
Bt1	245,2	216	66,7	38,57	0,24	1,93	1,61	5,08
Bt2	220,7	207,1	71,1	36,99	0,23	1,81	1,49	4,58
BC	220,1	204,6	58,6	35,44	0,35	1,83	1,55	5,48
C	294,2	271,1	81,8	44,29	0,48	1,84	1,55	5,2
Cx	207,2	169,6	19,2	28,68	0,31	2,08	1,94	13,91

Tabela 12 Curva de retenção de umidade

Horizonte	Curva de retenção de umidade			
	15 atm	0,33 atm	0,10 atm	0,02 atm
	dag kg ⁻¹			
A	10,9	13,8	15,7	18,1
AB	13,9	16,9	20,6	34,3
BA	14,7	19,8	20,9	33,4
Bt1	18,5	23,9	27,4	45,4
Bt2	17,4	22,8	24,5	39,4
BC	16,6	22,4	22,6	38,2
C	21,5	31,3	35,7	45,3
Cx	14,7	19,7	21,6	37,7



Figura 2 Foto do perfil modal 2

DESCRIÇÃO GERAL

Perfil 3

Classificação: Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado textura média/argilosa.

Localização: 0382831 mE 7810978 mN Fuso 24k *Datum* horizontal SAD69.

Situação e declive: trincheira situada no terço superior de elevação com 1% de declive.

Altitude: 34 m

Material Originário; Período e formação geológica: sedimentos do terciário; formação Barreiras.

Relevo Local: Plano de Tabuleiro Costeiro com murundus

Erosão: Não Aparente

Drenagem: Bem drenado

Vegetação Nativa: Floresta tropical subperenifolia

Uso atual: Reserva de flora e fauna

Examinadores: Nilton Curi; Walbert Júnior Reis dos Santos; Sérgio Henrique Godinho Silva e Geraldo Messias Sabino.

Data: 16/10/2010

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- O 2-0 cm, serrapilheira.
- A1 0-15 cm, bruno-acizentado-escuro (10YR 4/2, úmida); franco-argilo-arenoso; fraca pequena granular e grãos simples; friável; transição gradual e plana.
- A2 15-23/15-35 cm, bruno (10YR 5/3, úmida); franco-argilo-arenoso; fraca a moderada pequena granular e grãos simples; friável; transição clara e ondulada.

- BA 23-65/35-65 cm, bruno-amarelo-claro (10YR 6/4, úmida); argila arenosa; fraca blocos subangulares com aspecto de maciça coesa (*in situ*); firme; transição clara e plana.
- Bt1 65-98 cm, bruno-amarelo-claro (10YR 6/4, úmida); argila arenosa; fraca blocos subangulares com aspecto de maciça coesa (*in situ*); firme; transição gradual e plana.
- Bt2 98-127 cm, bruno-amarelo-claro (10YR 6,5/4, úmida); argila; fraca blocos subangulares com aspecto de maciça coesa (*in situ*); dura, firme; transição gradual e plana.
- Bt3 127-159 cm, bruno-amarelo-claro (10YR 7/4, úmida); argila; fraca blocos subangulares com aspecto de maciça coesa (*in situ*); ligeiramente dura a dura, firme; transição clara e plana.
- Bt4 159-200+ cm, bruno-amarelo-claro (10YR 7/4, úmida); argila; fraca blocos subangulares com aspecto de maciça coesa (*in situ*); firme.

Observações:

- Raízes: comuns no A1, poucas a comuns no A2, raras nos demais horizontes;
- Perfil descrito e coletado em dia chuvoso;
- Vegetação nativa;
- Presença de murundus;
- Presença de crotovinas nos horizontes A2; BA; Bt1 e Bt2;
- Presença de fendas verticais nos horizontes BA e Bt1;
- Muito pouco mosqueado a partir do BA;
- Optou-se por considerar o solo como bem drenado, devido aos mosqueados serem muito poucos e esparsos na massa do solo;
- Presença de serrapilheira.

Tabela 13 Análise granulométrica

Horizonte	Profundidade	Frações da amostra total		Composição granulométrica TFSA			
		Cascalho	TFSA	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	cm	-----g kg ⁻¹ -----					
A1	0-15	-	1000	440	240	80	240
A2	15-23	-	1000	400	240	80	280
BA	23-65/35-65	-	1000	300	180	70	450
Bt1	65-98	-	1000	300	170	60	470
Bt2	98-127	-	1000	300	150	70	480
Bt3	127-159	-	1000	270	150	20	560
Bt4	159-200+	-	1000	220	130	70	580

Em que: TFSA – terra fina seca ao ar.

Tabela 14 Relação silte/argila, argila dispersa em água (ADA), índice de floculação (IF), pH em água, acidez extraível e carbono orgânico (C org.)

Horizonte	Silte/Argila	ADA	IF	pH		Acidez extraível		C org
				H ₂ O		Al	H+Al	
		g kg ⁻¹	%			cmol _c kg ⁻¹		g kg ⁻¹
A1	0,3	220	8	5,1		0,2	3,6	36,2
A2	0,3	280	0	5,0		0,4	4,0	31,0
BA	0,2	0	100	4,8		0,7	2,6	10,3
Bt1	0,1	0	100	4,9		0,5	2,1	6,9
Bt2	0,1	0	100	4,9		0,5	1,9	1,7
Bt3	0,1	0	100	4,8		0,5	2,1	1,7
Bt4	0,1	0	100	4,8		0,6	2,1	0

Tabela 15 Complexo sortivo, soma de bases (SB), CTC a pH 7 (T), CTC efetiva (t), saturação por alumínio (m) e saturação por bases (V)

Horizonte	Cátions trocáveis			P rem.	P Resi na	P	N total	SB	T	t	m	V
	Ca	Mg	K									
	cmol _c kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	kg L ⁻¹	mg dm ⁻³	%	-----cmol _c dm ⁻³ -----	%					
A1	1,1	0,7	70	46,1	1,4	2,6	1,4	2,0	5,6	2,2	9,2	35,4
A2	0,7	0,5	47	46,1	0,1	2,6	0,1	1,3	5,4	1,7	23,3	24,6
BA	0,2	0,2	11	37,4	0,1	1,2	0,1	0,4	3,0	1,1	62,1	14,2
Bt1	0,1	0,6	5	34,1	0,1	0,7	0,1	0,7	2,8	1,2	41,3	25,5
Bt2	0,1	0,7	9	35,2	0,1	1,0	0,1	0,8	2,7	1,3	37,8	30,7
Bt3	0,1	0,6	14	33	0,1	1,0	0,1	0,7	2,8	1,2	40,5	26,2
Bt4	0,1	0,5	9	31,9	0,1	1,0	0,1	0,6	2,7	1,2	49,0	23,1

Tabela 16 Sódio, índice de saturação de sódio (ISNA), boro, enxofre e micronutrientes (Mn, Cu, Zn e Fe)

Horizonte	Na	ISNA	B	S	Mn	Cu	Zn	Fe
	mg dm ⁻³	%	-----mg dm ⁻³ -----		-----mg kg ⁻¹ -----			
A1	8,3	1,64	0,3	7,1	3,533	0,173	1,048	109,96
A2	6,4	1,64	0,3	5,8	1,824	0,125	0,701	113,85
BA	5,5	2,17	0,2	41,4	0,269	0,05	0,462	18042
Bt1	6,4	2,32	0,2	82,8	0,252	0,089	0,537	11029
Bt2	4,6	1,54	0,3	100,6	0,19	0,063	0,523	5130
Bt3	4,6	1,67	0,3	100,6	0,161	0,066	0,42	3594
Bt4	7,4	2,68	0,3	100,6	0,026	0,04	0,355	1817

Tabela 17 Ataque sulfúrico, índices Ki e Kr e relação Al₂O₃/ Fe₂O₃

Horizonte	Ataque sulfúrico					Ki	Kr	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅			
A1	109,1	100,5	18,2	25,78	0,11	1,85	1,65	8,67

A2	135,4	108,8	18,3	28,92	0,11	2,11	1,91	9,34
BA	209,6	187,7	25,6	37,25	0,11	1,9	1,75	11,53
Bt1	219,0	185,3	20,2	34,78	0,11	2,01	1,88	14,41
Bt2	227,7	187,9	23,2	34,78	0,08	2,06	1,91	12,71
Bt3	231,6	182,6	32,3	33,81	0,08	2,16	1,94	8,88
Bt4	250,4	231,7	38,4	36,78	0,08	1,84	1,66	9,48

Tabela 18 Curva de retenção de umidade

Horizonte	Curva de retenção de umidade			
	15 atm	0,33 atm	0,10 atm	0,02 atm
	dag kg ⁻¹			
A1	9,8	13,6	16,3	28,2
A2	10,8	14,6	17,5	31,7
BA	13,6	20,8	21,2	40,1
Bt1	14,3	22,0	24,5	38,8
Bt2	15,1	23,9	24,9	37,9
Bt3	16,3	22,9	24,2	41,8
Bt4	17,3	25,8	26,5	43,6



Figura 3 Foto do perfil modal 3

APÊNDICE B – HORIZONTES, COR E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS DAS MICROTRINCHEIRAS

Ponto	Prof. cm	Hor	Cor (úmida)	Classificação	UM
1	0-20	A	10YR 4/3	ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado bem drenado m/m/r	PA1
	40-70	BA	10YR 5/4		
	100-120	Bt	7,5YR 6/6		
2	0-20	A	10YR 5/4	ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico A fraco com mosqueado moderadamente drenado m/m/r	PA2
	40-70	BA	10YR 5/6		
	100-120	Bt	10YR 5/6		
3	0-20	A	10YR 3/2	ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado bem drenado m/m/m	PA1
	40-70	BA	10YR 6/3		
	100-120	Bt	10YR 6/4		
4	0-20	A	10YR 5/2	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico A moderado bem drenado m/r/r	PA1
	40-70	Bt1	10YR 5/6		
	100-120	Bt2	10YR 7/6		
5	0-20	A	10YR 5/3	ARGISSOLO AMAREDO Distrocoeso típico A moderado com mosqueado moderadamente drenado m/m/r	PA2
	40-70	BA	10YR 5/6		
	100-120	Bt	10YR 6/6		
6	0-20	A	10YR 4/2	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico A moderado com mosqueado moderadamente drenado m/m/r	PA2
	40-70	BA	10YR 5/6		
	100-120	Bt	7,5YR 7/6		

APÊNDICE B, continua

Ponto	Prof. cm	Hor	Cor (úmida)	Classificação	UM
7	0-20	A	10YR 5/3	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico A moderado com mosqueado moderadamente drenado m/m/r	PA2
	40-70	BA	10YR 6/5		
	100-120	Bt	10YR 5/6		
8	0-20	A	10YR 5/3	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico A moderado com mosqueado moderadamente drenado m/m/r	PA2
	40-70	BA	10YR 5/6		
	100-120	Bt	10YR 7/4		
9	0-20	A	10YR 3/3	ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado bem drenado m/m/r	PA1
	40-70	BA	10Y 6/6		
	100-120	Bt	10YR 6/6		
10	0-20	A	10YR 3/3	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico A moderado com mosqueado moderadamente drenado m/m/m	PA2
	40-70	BA	10YR 5/6		
	100-120	Bt	10YR 5/4		
11	0-20	A	10YR 3/2	ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado com mosqueado moderadamente drenado m/r/r	PA2
	40-70	BA	10YR 5/6		
	100-120	Bt	6,5 YR 6/6		
12	0-20	A	10YR 5/4	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico A fraco bem drenado m/m/r	PA1
	40-70	BA	10YR 5/4		
	100-120	Bt	10YR 6/4		
13	0-20	A	10YR 3/3	ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado bem drenado m/m/r	PA1
	40-70	BA	10YR 5/6		

APÊNDICE B, continua

Ponto	Prof. cm	Hor	Cor (úmida)	Classificação	UM
	100-120	Bt	10YR 6/6		
14	0-20	A	10YR 3/3	ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado com mosqueado moderadamente drenado m/m/r	PA2
	40-70	BA	10YR 7/4		
	100-120	Bt	7,5YR 6/6		
15	0-20	A	10YR 4/3	ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico A fraco bem drenado m/r/r	PA1
	40-70	BA	10YR 5/4		
	100-120	Bt	10YR 5/6		
16	0-20	A	10YR 4/2	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico A moderado bem drenado m/r/r	PA1
	40-70	BA	10YR 5/6		
	100-120	Bt	10YR 5/6		
17	0-20	A	10YR 4/2	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico A moderado com mosqueado moderadamente drenado m/r/mr	PA2
	40-70	BA	10YR 7/4		
	100-120	Bt	10YR 5/6		
18	0-20	A	10YR 3/2	ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado com mosqueado moderadamente drenado m/r/r	PA2
	40-70	BA	10YR 5/4		
	100-120	Bt	10YR 5/4		
19	0-20	A	10YR 4/2	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico A moderado bem drenado m/r/r	PA1
	40-70	BA	10YR 5/4		
	100-120	Bt	10YR 5/6		
20	0-20	A	10YR 3/2	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico A moderado com mosqueado moderadamente drenado m/r/r	PA2

APÊNDICE B, continua

Ponto	Prof. cm	Hor	Cor (úmida)	Classificação	UM
	40-70	BA	10YR 5/6		
	100-120	Bt	10YR 5/4		
21	0-20	A	10YR 3/3	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico A moderado com mosqueado moderadamente drenado m/r/r	PA2
	40-70	BA	10YR 5/4		
	100-120	Bt	6,5YR 6/4		
22	0-20	A	10YR 4/3	ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico A fraco com mosqueado moderadamente drenado m/m/r	PA2
	40-70	BA	10YR 5/4		
	100-120	Bt	10YR 6/6		

m – médio, r – argiloso, mr – muito argiloso

APÊNDICE C - RESULTADOS FÍSICOS DOS SOLOS DAS MICROTRINCHEIRAS

Ponto	Prof. cm	Hor	UM	Areia Grossa	Areia Fina	Areia	Silte	Argila
				-----g kg ⁻¹ -----				
1	0-20	A	PA1	460	310	770	130	100
	40-70	BA		450	130	580	110	310
	100-120	Bt		260	130	390	100	510
2	0-20	A	PA2	570	210	780	60	160
	40-70	BA		410	200	610	80	310
	100-120	Bt		300	150	450	80	470
3	0-20	A	PA1	580	180	760	100	140
	40-70	BA		420	240	660	130	210
	100-120	Bt		390	190	580	100	320
4	0-20	A	PA1	420	210	630	120	250
	40-70	Bt1		270	210	480	100	420
	100-120	Bt2		240	160	400	110	490
5	0-20	A	PA2	570	230	800	90	110
	40-70	BA		360	240	600	110	290
	100-120	Bt		250	190	440	90	470
6	0-20	A	PA2	457	143	600	150	250
	40-70	BA		400	180	580	110	310
	100-120	Bt		260	120	380	90	530

APÊNDICE C, continua

Ponto	Prof.	Hor	UM	Areia Grossa	Areia Fina	Areia	Silte	Argila
	cm			-----g kg ⁻¹ -----				
7	0-20	A	PA2	590	200	790	60	150
	40-70	BA		430	200	630	50	320
	100-120	Bt		400	150	550	30	420
8	0-20	A	PA2	550	210	760	70	170
	40-70	BA		450	170	620	60	320
	100-120	Bt		260	140	400	50	550
9	0-20	A	PA1	550	180	730	100	160
	40-70	BA		430	200	630	90	280
	100-120	Bt		380	170	550	60	390
10	0-20	A	PA2	600	210	810	70	120
	40-70	BA		460	210	670	80	250
	100-120	Bt		400	160	560	90	350
11	0-20	A	PA2	550	190	740	90	170
	40-70	BA		390	180	570	50	380
	100-120	Bt		220	100	320	180	500
12	0-20	A	PA1	600	180	780	70	150
	40-70	BA		420	190	610	70	320
	100-120	Bt		330	170	500	110	390
13	0-20	A	PA1	550	210	760	60	180
	40-70	BA		340	180	520	130	350

APÊNDICE C, continua

Ponto	Prof.	Hor	UM	Areia Grossa	Areia Fina	Areia	Silte	Argila
	cm			-----g kg ⁻¹ -----				
14	100-120	Bt		270	140	410	60	530
	0-20	A	PA2	480	290	770	80	150
	40-70	BA		430	200	630	70	300
15	100-120	Bt		250	140	390	110	500
	0-20	A	PA1	530	220	750	20	230
	40-70	BA		370	220	590	50	360
16	100-120	Bt		350	190	540	30	430
	0-20	A	PA1	480	210	690	60	250
	40-70	BA		370	190	560	60	380
17	100-120	Bt		280	130	410	50	540
	0-20	A	PA2	460	270	730	80	190
	40-70	BA		320	220	540	100	360
18	100-120	Bt		170	150	320	60	620
	0-20	A	PA2	540	190	730	70	200
	40-70	BA		350	210	560	70	370
19	100-120	Bt		250	170	420	30	550
	0-20	A	PA1	440	280	720	40	240
	40-70	BA		360	230	590	50	360
20	100-120	Bt		280	200	480	40	480
	0-20	A	PA2	410	270	680	90	230

APÊNDICE C, continua

Ponto	Prof.	Hor	UM	Areia Grossa	Areia Fina	Areia	Silte	Argila
	cm			-----g kg ⁻¹ -----				
21	40-70	BA		280	240	520	100	380
	100-120	Bt		200	170	370	50	580
	0-20	A	PA2	500	290	790	60	150
	40-70	BA		350	210	560	70	370
22	100-120	Bt		240	150	390	70	540
	0-20	A	PA2	590	210	800	30	170
	40-70	BA		390	190	580	80	340
	100-120	Bt		310	130	440	80	480

UM – Unidade de Mapeamento

APÊNDICE D – RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DE ROTINA DOS SOLOS DAS
MICROTRINCHEIRAS

Ponto	Hor	UM	pH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	T	V	m	MOS
			H ₂ O	-----mg dm ⁻³ -----				-----cmolc dm ⁻³ -----				%	g kg ⁻¹		
1	A	PA1	4,6	2,9	9,0	8,3	0,1	0,1	0,9	5,0	0,2	5,3	4	80	190
	BA		4,9	1,8	2,0	4,6	0,1	0,4	0,6	2,3	0,5	2,8	17	54	40
	Bt		4,8	1,2	2,0	5,5	0,1	0,5	0,6	2,3	0,6	2,9	20	49	10
2	A	PA2	4,7	5,9	14,0	6,4	0,1	0,1	0,7	4,0	0,2	4,3	5	75	250
	BA		4,4	2,3	2,0	0,9	0,1	0,1	1,0	4,0	0,2	4,2	5	83	60
	Bt		4,6	1,2	5,0	1,8	0,1	0,1	1,1	3,2	0,2	3,4	6	83	20
3	A	PA1	5,8	15,4	86,0	26,7	3,6	0,7	0,0	2,1	4,5	6,6	68	0	340
	BA		4,2	1,2	8,0	3,7	0,1	0,1	0,9	4,0	0,2	4,3	5	80	80
	Bt		4,2	1,0	2,0	1,8	0,1	0,1	1,0	2,9	0,2	3,1	7	83	20
4	A	PA1	4,6	3,4	22,0	3,7	0,6	0,2	0,7	4,5	0,9	5,4	16	45	190
	Bt1		4,3	1,2	3,0	0,9	0,1	0,1	1,3	3,6	0,2	3,8	5	86	60
	Bt2		4,4	1,0	3,0	0,9	0,1	0,1	1,1	3,2	0,2	3,4	6	84	10
5	A	PA2	4,6	3,4	23,0	7,4	4,3	0,2	0,4	3,2	4,6	7,8	58	8	140
	BA		4,3	1,0	3,0	1,8	0,7	0,1	1,0	3,2	0,8	4,0	20	55	30
	Bt		4,8	1,8	5,0	3,7	0,1	0,2	0,7	2,6	0,3	2,9	11	69	40
6	A	PA2	4,7	4,9	17,0	6,4	5,7	0,2	0,6	4,0	5,9	8,0	60	9	180
	BA		4,5	1,5	3,0	2,8	0,1	0,1	1,0	2,6	0,2	2,8	7	82	40
	Bt		4,9	0,7	2,0	7,4	0,1	0,7	0,4	2,1	0,8	2,9	28	33	40
7	A	PA2	4,8	2,9	22,0	5,5	0,7	0,2	0,4	3,6	1,0	4,6	21	29	210
	BA		4,5	1,5	5,0	1,8	0,1	0,1	1,0	3,2	0,2	3,4	6	82	40
	Bt		4,7	1,0	6,0	1,8	0,1	0,1	0,8	2,6	0,2	2,8	8	78	10

APÊNDICE D, continua

Ponto	Hor	UM	pH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	T	V	m	MOS
			H ₂ O	-----mg dm ⁻³ -----			-----cmolc dm ⁻³ -----			%	g kg ⁻¹				
8	A	PA2	4,9	3,7	25,0	6,4	0,7	0,2	0,5	3,6	1,0	4,6	21	34	150
	BA		4,5	1,2	5,0	1,8	0,1	0,1	0,9	2,6	0,2	2,8	8	80	30
	Bt		4,6	0,7	8,0	1,8	0,1	0,2	0,8	2,6	0,3	2,9	11	71	10
9	A	PA1	6,2	8,2	30,0	12,9	3,8	0,7	0,0	2,1	4,6	6,7	69	0	200
	BA		4,6	1,5	6,0	3,7	1,1	0,1	0,9	2,9	1,2	4,1	30	42	50
	Bt		4,3	1,0	8,0	0,4	0,1	0,1	1,1	3,2	0,2	3,5	6	83	30
10	A	PA2	5,1	4,6	31,0	9,2	1,2	0,3	0,2	3,6	1,6	5,2	30	11	190
	BA		4,5	1,8	5,0	2,8	0,2	0,1	0,9	2,6	0,3	2,9	11	74	50
	Bt		4,6	1,0	9,0	2,8	0,1	0,1	1,0	2,9	0,2	3,1	7	81	10
11	A	PA2	4,6	4,6	19,0	9,2	0,3	0,1	1,0	7,0	0,4	7,5	6	69	240
	BA		4,3	1,2	2,0	3,7	0,1	0,1	1,1	4,0	0,2	4,2	5	84	50
	Bt		4,9	1,2	2,0	3,7	0,1	0,5	0,5	2,3	0,6	2,9	21	45	10
12	A	PA1	4,6	2,9	17,0	8,3	0,6	0,2	0,5	3,6	0,8	4,5	19	37	190
	BA		4,4	1,5	3,0	2,8	0,1	0,1	1,1	3,6	0,2	3,8	5	84	40
	Bt		4,6	1,0	2,0	2,8	0,1	0,1	1,1	3,6	0,2	3,8	5	84	20
13	A	PA1	4,6	3,1	16,0	5,5	0,5	0,2	0,8	4,5	0,7	5,3	14	52	190
	BA		4,4	2,0	5,0	2,8	0,1	0,1	1,1	4,0	0,2	4,3	5	84	100
	Bt		4,6	1,2	2,0	2,8	0,1	0,1	0,9	3,6	0,2	3,8	5	82	50
14	A	PA2	4,6	4,0	16,0	6,4	0,3	0,1	0,6	4,0	0,4	4,5	10	57	190
	BA		4,3	1,8	3,0	1,8	0,1	0,1	0,8	3,2	0,2	3,4	6	79	60
	Bt		4,7	1,0	2,0	2,8	0,1	0,1	0,9	2,6	0,2	2,8	7	81	20
15	A	PA1	5,4	8,2	69,0	8,3	1,8	0,6	0,1	2,6	2,6	5,2	49	4	250
	BA		4,6	1,5	16,0	6,4	0,2	0,1	0,9	3,2	0,3	3,6	9	73	80
	Bt		4,4	1,5	3,0	3,7	0,1	0,1	0,9	2,9	0,2	3,1	6	81	40
16	A	PA1	6,9	13,1	28,0	9,2	4,2	1,5	0,0	1,0	5,8	6,7	86	0	380

APÊNDICE D, continua

Ponto	Hor	UM	pH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	T	V	m	MOS
			H ₂ O	-----mg dm ⁻³ -----				-----cmolc dm ⁻³ -----				%	g kg ⁻¹		
		BA	5,6	1,0	3,0	2,8	0,4	0,8	0,3	1,9	1,2	3,1	39	20	40
		Bt	5,3	1,5	2,0	2,8	0,4	0,7	0,2	1,9	1,1	3,0	37	15	40
17	A	PA2	4,8	5,2	28,0	9,2	0,7	0,2	0,6	4,5	1,0	5,5	17	38	250
		BA	4,3	1,5	3,0	1,8	0,1	0,1	1,1	3,6	0,2	3,8	5	84	60
		Bt	4,5	1,2	3,0	0,9	0,1	0,1	1,1	3,2	0,2	3,4	6	84	30
18	A	PA2	5,8	2,9	33,0	11,0	2,9	0,6	0,1	2,1	3,6	5,7	63	2	260
		BA	4,7	2,3	8,0	4,6	0,1	0,1	1,0	3,6	0,2	3,8	6	82	80
		Bt	4,9	1,5	5,0	2,8	0,1	0,1	0,8	2,9	0,2	3,1	7	79	40
19	A	PA1	6,6	11,9	117,0	29,4	2,9	1,1	0,0	1,5	4,3	5,8	74	0	270
		BA	4,6	1,5	9,0	1,8	0,3	0,1	1,0	3,2	0,4	3,7	11	70	40
		Bt	4,7	1,2	14,0	3,7	0,1	0,1	0,8	2,3	0,2	2,6	9	77	30
20	A	PA2	5,5	7,5	36,0	9,2	1,9	0,5	0,1	2,3	2,5	4,8	52	4	290
		BA	4,6	1,0	5,0	1,8	0,2	0,1	1,0	2,9	0,3	3,2	10	76	50
		Bt	4,7	1,2	12,0	3,7	0,1	0,1	1,0	2,9	0,2	3,1	7	81	30
21	A	PA2	4,6	4,0	20,0	9,2	0,7	0,2	0,6	4,5	1,0	5,5	17	38	240
		BA	5,0	2,9	5,0	5,5	0,2	0,4	0,5	2,3	0,6	2,9	21	45	50
		Bt	4,8	1,5	2,0	5,5	0,1	0,5	0,7	2,3	0,6	2,9	21	53	20
22	A	PA2	4,8	3,4	20,0	9,2	0,8	0,2	0,4	3,6	1,1	4,7	22	27	200
		BA	4,4	2,3	3,0	2,8	0,1	0,1	1,1	3,2	0,2	3,4	6	84	40
		Bt	4,6	1,2	2,0	1,8	0,1	0,1	1,1	3,2	0,2	3,4	6	84	30