



CLASSIFICAÇÃO E MAPEAMENTO FÍSICO-HÍDRICOS DE SOLOS DO  
ASSENTAMENTO AGRÍCOLA SEBASTIÃO LAN II, SILVA JARDIM – RJ

Isaias Fagundes Leal

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadores: Otto Corrêa Rotunno Filho

Theophilo Benedicto Ottoni Filho

Rio de Janeiro

Março de 2011

CLASSIFICAÇÃO E MAPEAMENTO FÍSICO-HÍDRICOS DE SOLOS DO  
ASSENTAMENTO AGRÍCOLA SEBASTIÃO LAN II, SILVA JARDIM - RJ

Isaias Fagundes Leal

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO  
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA  
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE  
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:

---

Prof. Otto Corrêa Rotunno Filho, Ph. D.

---

Prof. Theophilo Benedicto Ottoni Filho, Ph. D.

---

Dr. José Ronaldo de Macedo, D. Sc.

---

Profa. Lúcia Helena Cunha dos Anjos, Ph. D.

---

Profa. Maria Claudia Barbosa, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2011

Leal, Isaias Fagundes

Classificação e Mapeamento Físico-Hídrico de Solos  
do Assentamento Agrícola Sebastião Lan II, Silva Jardim – RJ/ Isaias  
Fagundes Leal. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011

XIV, 126 p. 29,7 cm

Orientadores: Otto Corrêa Rotunno Filho

Theophilo Benedicto Ottoni Filho

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de  
Engenharia Civil, 2011.

Referências Bibliográficas: p. 96-111

I. Hidropedologia 2. Classificação físico-hídrica de solos 3.  
Mapeamento físico-hídrico de solos 4. Silva Jardim/RJ 5. Paty do  
Alferes/RJ. Rotunno Filho, Otto Corrêa *et al.*. II. Universidade  
Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil.  
III. Título.

*AGRADEÇO*  
*a Deus, autor da minha vida.*

*DEDICO,*  
*a minha querida e amada*  
*esposa Vanessa Leal*

## AGRADECIMENTOS

Em especial, os meus mais profundos agradecimentos a minha esposa, que sempre me estimula a crescer científica, ética, profissional e pessoalmente e esteve comigo desde o início da concepção deste trabalho, apoiando-me em todos os contratempos e dificuldades. Muito Obrigado!

Aos meus pais, Ilton Curty Leal e Ione Fagundes Leal, que olham por mim onde quer que estejam, com apoio incondicional ao longo de toda a minha vida, sendo fundamentais para minha formação como pessoa. Aos meus irmãos, Ilton Júnior, Fábio, Flávia e Davi.

Aos meus orientadores, Theophilo Benedicto Ottoni Filho e Otto Corrêa Rotunno Filho, pela grande oportunidade e pelo suporte no desenvolvimento desta dissertação de mestrado, pela amizade e confiança depositada em mim, por todos os ensinamentos e pela exemplar postura profissional.

Pela bolsa de estudo concedida, que permitiu o meu aperfeiçoamento pessoal e profissional, expresseo o meu reconhecimento a CAPES. Adicionalmente, reconhece-se apoio do CT-HIDRO/CNPq, por meio de apoio via projeto de pesquisa – Curso de Extensão em Hidrometria – Edital N°. 037/2006, coordenado pelo Prof. Otto Corrêa Rotunno Filho, e ao projeto FAPERJ – Centro de Referência em Modelagem Ambiental Aplicado à Gestão de Bacias Hidrográficas Rurais e Urbanas – Apoio às instituições de pesquisa sediadas no estado do Rio de Janeiro – Edital N°. 014/2010 (2010-2012), em desenvolvimento no âmbito do Programa de Engenharia Civil – COPPE/UFRJ, que permitiram a realização de ensaios experimentais do trabalho e disseminação do conhecimento produzido no âmbito desta dissertação.

A Marta Ottoni, atualmente na CPRM – Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais, que desenvolveu sua dissertação de mestrado, mediante projeto de pesquisa com apoio da EMBRAPA, sobre o emprego de uma nova metodologia para o sistema de classificação físico-hídrica (SCFH) de solos proposto pelo Professor Theophilo Benedicto Ottoni Filho, com aplicação em São José do Ubá, e que acompanhou e apoiou o desenvolvimento desta dissertação.

Agradecimentos especiais são dedicados ao reconhecimento da colaboração da instituição EMBRAPA, que, gentilmente, forneceu dados atualizados fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Aos pesquisadores da Embrapa Solos, José Ronaldo de Macedo, Ênio da Silva Fraga, Ricardo Dart e Adoildo da Silva Melo, e também aos funcionários, Júlio Kornetz e Joacir, os quais foram parte essencial na construção deste trabalho, com seus ensinamentos, sugestões e esclarecimentos e também pelo eficiente trabalho na preparação e análise das amostras de solos.

Não posso deixar de agradecer também a duas pessoas que conheci durante os trabalhos de campo em Silva Jardim e que com grande estima e simplicidade fazem parte deste trabalho com as suas ajudas preciosas: Anselmo e Benedito.

Aos amigos da COPPE e tantos outros não citados, mas aqui reconhecidos e lembrados.

Ao apoio e à dedicação dos funcionários do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ, que colaboraram para que esta dissertação fosse concluída, deixo registrado o meu agradecimento ao final da realização deste trabalho.

Obrigado a todos.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.).

CLASSIFICAÇÃO E MAPEAMENTO FÍSICO-HÍDRICOS DE SOLOS DO  
ASSENTAMENTO AGRÍCOLA SEBASTIÃO LAN II, SILVA JARDIM - RJ.

Isaias Fagundes Leal

Março/2011

Orientadores: Otto Corrêa Rotunno Filho

Theophilo Benedicto Ottoni Filho

Programa: Engenharia Civil

A classificação e o mapeamento dos solos constituem-se em procedimentos potencialmente importantes ao conhecimento e modelagem de um sistema natural. Tais procedimentos podem facilitar um diagnóstico de aptidão de uso das terras, incluindo a geração de mapas, e subsidiar o planejamento e a gestão de uso dos solos e recursos hídricos de uma bacia hidrográfica. Sob o ponto de vista metodológico, foi adotado o Sistema de Classificação Físico-Hídrico de Solos (SCFHS), proposto por Theophilo Benedicto Ottoni Filho, que, fundamentalmente, baseia-se na descrição das capacidades de hidratação e aeração dos perfis de solos, definidas a partir de informações quantitativas de parâmetros físicos e hídricos como a capacidade de campo, ponto de murcha permanente, porosidade e taxa de infiltração básica. O procedimento foi aplicado em uma área de 14 km<sup>2</sup> no município de Silva Jardim / RJ. Adicionalmente, os mapeamentos pedológicos e físico-hídricos dos solos estudados por Flavio Cesar Brito, na localidade de Paty do Alferes, com extensão de 11 km<sup>2</sup>, foram atualizados. Os resultados indicaram a consistência e a aplicabilidade da metodologia proposta, permitindo fortalecer o emprego do conceito de hidropedologia.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

SOIL CLASSIFICATION AND SOIL PHYSICO-HYDRICAL MAPPING AT THE  
SEBASTIÃO LAN II AGRICULTURAL SETTLEMENT, SILVA JARDIM - RJ.

Isaias Fagundes Leal

March/2010

Advisors: Otto Corrêa Rotunno Filho

Theophilo Benedicto Ottoni Filho

Department: Civil Engineering

The soil classification and soil mapping are potentially important procedures for understanding and modeling of a natural system. Such procedures may facilitate a diagnosis of land use suitability, including generation of maps, and support planning and management of land use and water resources in a watershed. From the methodological point of view, we adopted the soil physical-hydric classification system (SCFHS) proposed by Theophilo Benedicto Ottoni Filho, that fundamentally relies on the description of air and water capacities of soils defined from quantitative information of physical and hydrical water parameters, such as the field capacity, wilting point, porosity, and steady-state infiltration. The procedure was applied to an area of 14 km<sup>2</sup> in Silva Jardim county, RJ (Brazil). Additionally, the pedological and physico-hydrical mapping of the soils studied by Flavio Cesar Brito in Paty do Alferes county, RJ (Brazil), with area of 11 km<sup>2</sup>, were updated. The results showed consistency and applicability of the methodology, allowing to strengthen the application of the concept of hydrogeology.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1– <i>Considerações Iniciais</i> .....	1
1.2– <i>Objetivos</i> .....	4
1.3– <i>Estrutura do Trabalho</i> .....	5
<b>CAPÍTULO II – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>7</b>
2.1 – <i>Sistemas de Classificação de Solos</i> .....	7
2.1.1 – <i>Princípios e Desenvolvimento Histórico</i> .....	7
2.1.2 – <i>Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA/CNPS)</i> .....	8
2.2 – <i>Caracterização do Solo</i> .....	12
2.2.1 – <i>Constituição Física do Solo</i> .....	12
2.2.2 – <i>Textura</i> .....	13
2.2.3 – <i>Estrutura do Solo</i> .....	15
2.3 – <i>Qualidade do Solo e Qualidade Física do Solo</i> .....	16
2.3.1 - <i>Indicadores da Qualidade Física dos Solos</i> .....	19
2.3.1.1 – <i>Intervalo Hídrico Ótimo (IHO)</i> .....	19
2.3.1.2 - <i>Índice S</i> .....	24
2.3.1.3 – <i>Avaliação da Estrutura do Solo</i> .....	26
<b>CAPÍTULO III – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>30</b>
3.1 – <i>Variáveis Físico-Hídricas do Solo</i> .....	30
3.1.1 – <i>Densidade do Solo (DS)</i> .....	30
3.1.2 – <i>Densidade das Partículas (DP)</i> .....	31
3.1.3 – <i>Porosidade (PT)</i> .....	31
3.1.4 – <i>Capacidade de Campo (CC)</i> .....	33
3.1.5 – <i>Ponto de Murcha Permanente (PMP)</i> .....	36
3.1.6 - <i>Velocidade de Infiltração Básica (VIB)</i> .....	37
3.1.7 – <i>Água Disponível</i> .....	40
3.1.8 – <i>Aeração do Solo</i> .....	41
3.2 – <i>Sistema de Classificação Físico-Hídrico de Solos (SCFHS)</i> .....	46
3.2.1 – <i>Evolução do SCFHS</i> .....	47
3.2.2 – <i>Classificação Físico-Hídrica de Solos</i> .....	47
3.2.3 - <i>Mapeamento Físico-Hídrico de Solos</i> .....	54
<b>CAPÍTULO IV – MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>58</b>
4.1 – <i>Caracterização da Área de Estudo</i> .....	58
4.1.1 - <i>Geologia e Geomorfologia</i> .....	61
4.1.2 - <i>Hidrometeorologia</i> .....	61
4.1.3 - <i>Solos da Região</i> .....	62

4.2 - Levantamento de Dados da Classificação Físico-Hídrica dos Solos .....	62
4.2.1 - Testes de Capacidade de Campo .....	64
4.2.2 - Testes de Infiltração .....	65
4.2.3 - Determinação das Variáveis Físico-Hídricas .....	67
4.2.4 - Granulometria e Matéria Orgânica .....	68
4.3 – Mapeamento Físico-Hídrico .....	68
4.4 - Convenções de Cores/Representações para o Mapeamento Físico-Hídrico de Solos .....	68
<b>CAPÍTULO V - ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>70</b>
5.1 – Introdução .....	70
5.2 - Classificação Físico-Hídrica dos Perfis Representativos dos Solos do Assentamento Sebastião Lan II. ....	71
5.3 - Mapeamento Físico-Hídrico dos Solos do Assentamento Sebastião Lan II .....	78
5.4 - Classificação Físico-Hídrica dos Perfis Representativos dos Solos da Microbacia Córrego da Cachoeira. ....	84
5.5 - Mapeamento Físico-Hídrico dos Solos da Microbacia do Córrego da Cachoeira - Paty do Alferes/RJ. ....	86
<b>CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>94</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>96</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>112</b>

## APÊNDICES

APÊNDICE A - Descrição dos horizontes dos 7 perfis de solos estudados, com a profundidade de retirada das amostras nos testes de capacidade de campo <i>in situ</i> .....	112
APÊNDICE B – Faixas de profundidade ( $\Delta_z$ ) para a classificação de superfície (0-30 cm) e classificação padrão (0-70), utilizadas no cálculo das médias das variáveis nos perfis representativos do assentamento Sebastião Lan II .....	113
APÊNDICE C - Nomenclatura dos perfis representativos de solos do assentamento Sebastião Lan II .....	114
APÊNDICE D - Legenda das unidades de mapeamento dos solos do assentamento Sebastião Lan II .....	115
APÊNDICE E - Mapa de solos do assentamento Sebastião Lan I e acampamento Sebastião Lan II, município de Silva Jardim-RJ .....	116
APÊNDICE F - Resultados das variáveis físico-hídricas e valores das frações granulométricas e matéria orgânica por sub-área nas profundidades de amostragens dos 7 perfis estudados na área do assentamento Sebastião Lan II .....	117
APÊNDICE G - Classificação textural e teor de matéria orgânica para as profundidades de 0-30 e 30-70 cm dos 7 perfis representativos do assentamento Sebastião Lan II .....	119
APÊNDICE H - Nomenclatura dos solos representativos da microbacia Córrego da Cachoeira, Paty do Alferes/RJ .....	120
APÊNDICE I - Mapa de Solos da microbacia Córrego da Cachoeira, Paty do Alferes/RJ .....	121
APÊNDICE J - Nomenclatura dos perfis representativos de solos da microbacia Córrego da Cachoeira, Paty do Alferes/RJ .....	122

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - Classificação textural do solo segundo as frações granulométricas areia, silte e argila .....	14
FIGURA 2.2 - Triângulo de classificação textural .....	14
FIGURA 2.3 - Solo como um meio trifásico, mostrando os diversos componentes de volume (V) e massa (m) .....	15
FIGURA 2.4 – Ilustração feita por Araujo <i>et al.</i> (2004) mostrando os conceitos de AD e IHO para diferentes usos e manejo do solo .....	22
FIGURA 2.5 - Variação do conteúdo de água com a densidade nos níveis críticos da capacidade de campo ( $\theta_{CC} = -0,01$ MPa), ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP} = -1,5$ MPa), porosidade de aeração de 10% ( $\theta_{PA}$ ) e resistência à penetração de 2,0 MPa ( $\theta_{RP}$ ). A área hachurada representa o Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) do solo .....	23
FIGURA 2.6 - Índice S como a tangente do ângulo de inclinação da curva de retenção, sendo $\theta$ a umidade gravimétrica e $\ln/\Psi/$ a tensão em escala logarítmica .....	25
FIGURA 2.7 - Gráfico de classificação da condição estrutural dos solos considerando sua capacidade de ar ( $C_a$ ) e água disponível ( $A_v$ ) .....	28
FIGURA 3.1 - Triângulo de disponibilidade de ar e água no solo e respectivas ordens .....	50
FIGURA 3.2 - Triângulos de classificação físico-hídrica dos solos: (a) solos de média permeabilidade; (b) solos de baixa permeabilidade e (c) solos de alta permeabilidade .....	52
FIGURA 3.3 - Relação entre o mapeamento pedológico à esquerda e o físico-hídrico à direita, com o triângulo de disponibilidades de água e ar .....	54
FIGURA 4.1 - Mapa de localização geográfica da área de estudo: mapa do Brasil acima; abaixo à direita, o estado do Rio de Janeiro destacando os municípios de Silva Jardim e Casimiro de Abreu; à esquerda, com contorno em vermelho, a área de estudo, fazendo parte do Assentamento rural Sebastião Lan II .....	58
FIGURA 4.2 - Mapa mostrando o assentamento Sebastião Lan II e a reserva biológica Poço das Antas .....	59
FIGURA 4.3 - Localização da área do Assentamento/Acampamento Sebastião Lan I e II – Silva Jardim/Casimiro de Abreu-RJ .....	59

FIGURA 4.4 - Em (a) e (b) vista dos pontos mais baixos e em (c) e (d) dos pontos mais altos .....	60
FIGURA 4.5 - Estimativa de precipitação média de cinco anos para Casemiro de Abreu – RJ .....	61
FIGURA 4.6 - Configuração esquemática dos testes realizados no campo .....	63
FIGURA 4.7 - Em (a) a configuração dos testes realizados no perfil 09 mostrando as duas sub-áreas; em (b) mostra os detalhes do tabuleiro de inundação e dos infiltrômetros instalados em uma sub-área do mesmo perfil .....	64
FIGURA 4.8 - Tabuleiro de inundação utilizado para os testes de capacidade de campo <i>in situ</i> .....	64
FIGURA 4.9 - Reservas de água utilizada nos testes de capacidade de campo e infiltração .....	65
FIGURA 4.10 - Infiltrômetro de duplo anel .....	66
FIGURA 4.11 - Convenção de cores (sistemas CMKY e RGB)/representações para o mapeamento físico-hídrico de solos.....	69
FIGURA 5.1- Esquema da sistematização dos trabalhos realizados em campo e em laboratório.....	70
FIGURA 5.2 - Mapa físico-hídrico de superfície dos solos do assentamento Sebastião Lan II, Silva Jardim, RJ .....	81
FIGURA 5.3 - Mapa físico-hídrico padrão dos solos do assentamento Sebastião Lan II, Silva Jardim, RJ .....	82
FIGURA 5.4 - Mapa físico-hídrico de superfície dos solos da microbacia Córrego da Cachoeira, Paty do Alferes, RJ .....	92
FIGURA 5.5 - Mapa físico-hídrico padrão dos solos da microbacia Córrego da Cachoeira, Paty do Alferes, RJ .....	93

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - As 13 Ordens e Sub-Ordens usados no SiBCS e suas características ..	10
TABELA 3.1 - Classes de disponibilidade de ar e água no solo .....	51
TABELA 3.2 - Classificação físico-hídrica dos solos: definição das ordens e classes de solo .....	53
TABELA 5.1 - Classes de solos identificadas e seus perfis representativos .....	71
TABELA 5.2 - Classificação e resultados físico-hídricos dos perfis de solos representativos na área de estudo, nas profundidades padrão (0-70 cm) e de superfície (0-30 cm), com as classes texturais correspondentes .....	73
TABELA 5.3 - Legenda físico-hídrica dos perfis de solos representativos do assentamento Sebastião Lan II .....	73
TABELA 5.4 - Classificações físico-hídricas de Superfície e Padrão das classes de solo do assentamento Sebastião Lan II .....	79
TABELA 5.5 - Classificação físico-hídrica das unidades de mapeamento do assentamento Sebastião Lan II .....	79
TABELA 5.6 - Classificação e resultados físico-hídricos dos perfis de solos representativos da microbacia do Córrego da Cachoeira - Paty do Alferes/RJ, nas profundidades padrão (0-70 cm) e de superfície (0-30 cm), com as classes texturais correspondentes .....	84
TABELA 5.7 - Legenda físico-hídrica dos perfis dos solos representativos da microbacia do Córrego da Cachoeira - Paty do Alferes/RJ .....	85
TABELA 5.8 - Classificações físico-hídricas de Superfície e Padrão das classes de solo da microbacia do Córrego da Cachoeira - Paty do Alferes/RJ .....	86
TABELA 5.9 - Classificação físico-hídrica das unidades de mapeamento da microbacia do Córrego da Cachoeira - Paty do Alferes/RJ .....	89
TABELA 5.10 - Dimensão relativa de cada área nas diversas unidades de mapeamento .....	90

# CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

## 1.1– Considerações Iniciais

A hidropedologia é uma ciência emergente, formada a partir do estreitamento dos ramos da ciência do solo e da hidrologia. Essa ciência interdisciplinar engloba pesquisas dos processos interativos de solo e de água e de suas propriedades na zona não saturada Lin *et al.* (2006).

A pedologia e a hidrologia são duas áreas científicas intrinsecamente associadas à perspectiva da paisagem. A pedologia é um ramo da ciência do solo que integra e quantifica a formação, a distribuição, a morfologia e a classificação dos solos, enquanto que a hidrologia lida com a ocorrência, distribuição, circulação e propriedades da água no globo, interagindo acima e abaixo da superfície terrestre. A interação água-solo age, em múltiplas escalas, no desenvolvimento do solo, resultando em grande variabilidade espacial de dados na pedologia. Essas interações, por sua vez, controlam a qualidade e a quantidade de água nos sistemas superficiais e subsuperficiais estudados na hidrologia.

Dadas as suas ligações com grande variedade de ambientes, incluindo agricultura e recursos naturais, a hidropedologia torna-se um campo promissor que vem contribuindo de forma significativa para o estudo da zona crítica da Terra (Lin, 2010b). Essa zona crítica engloba a pedosfera, que é considerada a estreita camada superficial ou a geomembrana do planeta, através da qual ocorre intenso intercâmbio de água e de solutos, bem como energia e trocas gasosas com a atmosfera terrestre, biosfera, hidrosfera e litosfera, a fim de criar um ambiente de suporte para a vida.

O solo e a água são dois componentes essenciais, representando uma interface fundamental para a ocorrência dos processos bióticos e abióticos. A água controla uma variedade de processos químicos e biológicos e características físicas que levam à formação de uma variedade de solos que suportam diferentes usos da terra e comunidades biológicas. Por outro lado, os solos desempenham um papel fundamental no ciclo biogeoquímico e hidrológico, contribuindo para a manutenção da qualidade da água e atuando como filtro para a remediação de resíduos (Lin, 2010a).

Essa interação entre solo e água é um processo que está intimamente ligado, não podendo ser estudado de forma fragmentada. Portanto, no estudo da zona crítica da

Terra, a hidropedologia tem sido relevante, podendo o seu uso ser justificado, de acordo com Lin *et. al.* (2008a), através das seguintes observações: o solo atua como organismo natural, enquanto a água age como a principal força motriz da dinâmica dos solos; o solo funciona como tanque de armazenamento, liberando água por meio de uma resposta hidrológica lenta; o solo constitui-se em componente importante dos ecossistemas, regulando os fluxos de ar, água e nutrientes para a manutenção dos organismos vivos; o solo oferece suporte para o crescimento da planta; o solo, como material de engenharia, com propriedades mecânicas influenciadas pelo teor de água, tem papel crucial no que diz respeito à estabilidade de encostas; o solo é parte integrante do ambiente, onde as interações solo-água são significativas.

Feitas essas observações, destaca-se que os solos exercem papel fundamental em estudos hidrológicos e na modelagem de bacias hidrográficas. Portanto, a hidropedologia pede uma atenção especial à morfologia do solo, incluindo sua estrutura, a fim de se ter melhor orientação nas medições hidrológicas, e auxiliando na modelagem dos fluxos e transportes de água na zona crítica (Lin *et al.*, 2006).

No que diz respeito à sustentabilidade agrícola, a umidade do solo torna-se um dos fatores mais importantes e limitantes à produtividade das culturas, interagindo de maneira dinâmica no sistema solo – planta – atmosfera. Sua falta ou excesso afetam de maneira decisiva o desenvolvimento das plantas. Para a compreensão dessas inter-relações, torna-se importante o conhecimento e a caracterização dos solos quanto aos aspectos hidrofísicos.

O solo é constituído de partículas sólidas de tamanho e composição variados, que se arranjam de forma a torná-lo um meio poroso, definindo assim sua estrutura. Os poros ou espaços vazios, por sua vez, são ocupados pelas frações água e ar, e essas frações estão sujeitas a variações sob condições naturais, na dependência dos fatores meteorológicos (Brady, 1989) e fitológicos (Hillel, 1980). A água e o ar competem pelo espaço poroso do solo, sendo complementares entre si, ou seja, a ocupação máxima proporcionada por um implica ausência do outro (Prevedello, 1986). Portanto a fase líquida pode se apresentar nos poros completa ou parcialmente. Como já dito anteriormente, essa interdependência dos componentes do solo, frações sólida, líquida e gasosa, proporciona ampla variação ambiental.

A caracterização desse arranjo estrutural entre as partículas sólidas do solo é um aspecto de vital utilidade para investigação do solo. Os constituintes sólido, líquido e gasoso governam a forma e o desenvolvimento do espaço poroso, cuja característica

altera profundamente influências naturais e o comportamento do solo como, por exemplo, na aeração e na hidratação com respeito ao sistema radicular dos vegetais. Além disso, sob o ponto de vista químico, um solo em que a circulação de água e ar é bem dinâmica, permite melhor transporte de nutrientes dissolvidos, essenciais às plantas, melhorando, assim, sua fertilidade. Assim, a água é retida nos poros do solo em graus variáveis, dependendo da sua própria quantidade e também do tamanho e conectividade desses espaços.

Nesse sentido, torna-se necessária a caracterização do solo quanto a sua capacidade de aeração e de hidratação do sistema radicular. A partir desse referencial, foi proposto, por Ottoni Filho (2003), um Sistema de Classificação Físico-Hídrica de Solos (SCFHS). Segundo esse trabalho, a capacidade de hidratação ou água disponível de um solo foi medida pela diferença entre a capacidade de campo e o seu ponto de murcha permanente, enquanto que a capacidade de aeração foi avaliada pela conjugação dos valores da velocidade de infiltração básica e da porosidade drenável, sendo esta última determinada pela diferença entre a porosidade total e a capacidade de campo. Assim, têm-se, como variáveis de entrada para esse sistema, as seguintes propriedades pedológicas: porosidade total (PT), capacidade de campo volumétrica (CC), ponto de murcha permanente volumétrico (PMP) e velocidade de infiltração básica (VIB).

De posse desses dados, são propostas, pelo SCFHS, duas classificações para a avaliação dos atributos físico-hídricos do solo: a) classificação de superfície, para um perfil de solo com profundidade de 30 cm; e b) classificação padrão, para um perfil de solo com profundidade de 70 cm. O interesse na classificação de superfície seria para os casos de manejo das culturas, onde o sistema radicular ativo se concentrasse em sua maior parte, na faixa de profundidade de 0 – 30 cm. Na classificação padrão, tomou-se a profundidade do perfil de 70 cm como valor de referência.

Nos estudos realizados com o SCFHS, o sistema tem apresentado resultados satisfatórios quanto a sua potencialidade de caracterização da aeração e da disponibilidade hídrica do perfil de solo, mostrando ser uma eficiente ferramenta na identificação e quantificação dos atributos físico-hídricos nos diversos tipos de solos identificados em duas bacias hidrográficas localizadas no estado do Rio de Janeiro (Brito, 2004; Ottoni, 2005). Além disso, o SCFHS tem agregado sistematicamente informações ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), proposto pela Embrapa (2006), já que, nos levantamentos de solos, é incipiente a caracterização quantitativa de propriedades físico-hídricas, contendo normalmente apenas a porosidade

total, densidade do solo e das partículas e textura. Assim, o SCFHS confirma a possibilidade de poder contribuir para o SiBCS na caracterização dos seus níveis categóricos mais baixos (família e série), que são os níveis de classificação que correspondem aos agrupamentos mais homogêneos de solo, conforme descrito no capítulo II.

Com a metodologia de mapeamento físico-hídrico apresentada posteriormente por Ottoni (2005), o SCFHS passaria a ser uma ferramenta adicional na caracterização das paisagens existentes, servindo também de instrumento de planejamento territorial, sendo possível melhor identificar as áreas de maior e menor potencial agrícola e contribuindo na preservação do meio ambiente e uso e ocupação dos solos (Ottoni, 2005). No presente estudo, a classificação e o mapeamento seriam de grande utilidade na região avaliada, pois se constituiria numa ferramenta adicional para definir áreas de maior e menor potencial agrícola, já que é objeto de estudo do INCRA e da EMBRAPA avaliarem se a referida área é apta para assentamento rural. Outra vantagem está em sua aplicação em projetos de irrigação, já que os dados de VIB, CC e PMP estarão automaticamente disponibilizados (Ottoni, 2005).

O SCFHS pode ser utilizado também como ferramenta de manejo agrícola, pois, por essa classificação depender da estrutura física do solo, preserva o potencial de se ajustar ao longo do tempo, variando com o seu uso. O levantamento físico-hídrico pode também propiciar a avaliação de locais para aterros sanitários e lagoas de decantação. Ressalta-se ainda que o SCFHS pode se constituir em ferramenta importante para compreender melhor os processos pedogenéticos, além de permitir gerar uma série de informações para avaliação da modelagem de escoamento em meios porosos e modelagem hidrológica.

## **1.2– Objetivos**

Esta dissertação visa avaliar o Sistema de Classificação Físico-Hídrica de Solos (SCFHS) proposto por Ottoni Filho (2003) em nível de campo. Mais especificamente, objetiva-se implementar a supracitada classificação e, complementarmente, efetuar o correspondente mapeamento físico-hídrico em uma área de aproximadamente 14 km<sup>2</sup> localizada no município de Silva Jardim, próxima à divisa com o município de Casimiro de Abreu, RJ.

A dissertação de Brito (2004) constitui-se no primeiro trabalho nessa direção, quando os solos de uma pequena bacia hidrográfica de aproximadamente 11 km<sup>2</sup>, no município de Paty do Alferes (RJ), foram classificados e mapeados segundo o SCFHS. Todavia, o trabalho de Brito (2004) não explicita completamente uma sistemática para os trabalhos de levantamento, classificação e mapeamento físico-hídrico. Assim, em paralelo, será feita uma atualização da classificação e do mapeamento dessa bacia, utilizando os dados obtidos pelo autor e adotando a mesma sistemática metodológica abordada no trabalho de Ottoni (2005), que contém a metodologia revisada e atualizada para o SCFHS. Adicionalmente, essa dissertação complementarará o trabalho de Ottoni quanto à metodologia do mapeamento físico-hídrico, explicitando a definição de todas as cores e símbolos possíveis de representação das unidades de mapeamento, consolidando, assim, a metodologia do SCFHS.

### **1.3– Estrutura do Trabalho**

A estrutura do presente trabalho está detalhada no texto que segue.

No Capítulo II, será apresentada a fundamentação teórica do trabalho. Nele serão abordados alguns tópicos importantes para melhor entendimento do capítulo seguinte. Será feita uma exposição sucinta sobre o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Ainda no Capítulo II, serão revisados itens que tratam da constituição e da qualidade física do solo.

No Capítulo III, será desenvolvida uma breve abordagem sobre o Sistema de Classificação Físico-Hídrica de Solos (SCFHS), referente à revisão bibliográfica, resgatando-se os trabalhos realizados nessa linha. Será realizada, também, de forma mais detalhada, uma revisão de trabalhos que explicitam assuntos referentes às variáveis físico-hídricas de solos.

No Capítulo IV, é descrita a área de estudo e metodologias abordadas para levantamento físico-hídrico em campo e também em laboratório. Será feita, ainda, neste capítulo, a descrição da convenção de cores/representações utilizada para o mapeamento físico-hídrico de solos como padronização do SCFHS.

No Capítulo V, são apresentados os resultados da aplicação da metodologia ao levantamento e mapeamento físico-hídrico, conjuntamente com a correspondente análise e discussão.

No Capítulo VI, são apresentadas as considerações finais da presente dissertação, destacando-se algumas recomendações para futuros trabalhos de pesquisa.

O presente trabalho inclui também apêndices onde estão apresentados a descrição dos perfis de solo estudados, os mapas de solos das regiões de estudo e outros dados referentes ao levantamento pedológico.

## **CAPÍTULO II – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 – Sistemas de Classificação de Solos**

#### **2.1.1 – Princípios e Desenvolvimento Histórico**

A busca pela caracterização dos solos vem de muito tempo e ainda continua sendo alvo de estudos e pesquisas com a finalidade de aperfeiçoar ainda mais o uso desse recurso, não só para a agricultura, mas também para usos não-agrícolas, incluindo o subsídio a estudos hidrológicos. Assim, a ciência do solo vem, cada vez mais, desenvolvendo-se, identificando e selecionando indicadores associados a determinadas funções que o solo deve desempenhar, com a correspondente quantificação e mensuração.

Numa paisagem, a ampla variação de relevo, de vegetação e de outros fatores de formação do solo confere, a cada solo formado, suas próprias peculiaridades e comportamento distintos. Tais características associadas aos fatores meteorológicos produzem ampla variação ambiental.

O desenvolvimento e a elaboração de um sistema de classificação de solos envolvem, a princípio, conhecimentos qualitativos e quantitativos, a fim de que, em um mesmo grupo, possam ser alocados solos com características semelhantes.

Com base nesta linha de raciocínio, Dokuchaiev, em 1880, iniciou suas pesquisas definindo uma nova área de estudos e estabelecendo um sistema de classificação a fim de explicar a formação dos solos baseando-se nas variáveis envolvidas no processo, incluindo clima, topografia, organismos, material de origem e o fator tempo. A expansão desses estudos pedológicos decorreu, em grande parte, da necessidade de se explorar melhor o solo ao uso agrícola, agrupando solos apropriados para determinadas culturas.

No Brasil, a classificação de solos tem sido matéria de interesse, essencialmente motivada pela necessidade decorrente de levantamentos pedológicos. A classificação pedológica nacional vigente, com origem a partir de 1970, consiste numa evolução do antigo sistema americano (USDA/SSS), formulado por Baldwin *et al.* (1938), modificado por Thorp e Smith (1949). Essa classificação, que veio a ser nacionalizada,

tem sua base fundada, em essência, nos conceitos centrais do sistema americano, contando, porém, com o amparo complementar de exposições elucidativas de conceitos e critérios.

Como dito anteriormente, os conceitos centrais do antigo sistema americano formam a base da classificação brasileira, cuja esquematização atual descende de modificações de critérios, alteração de conceitos, criação de classes novas, desmembramento de algumas classes originais e formalização de reconhecimento de subclasses de natureza transicional ou intermediárias. O processo foi sempre motivado pela apropriação das modificações às carências que se revelavam, com a realização de levantamentos em pequenas e médias escalas, em que concorriam classes de categorias hierárquicas mais elevadas. Todo esse trabalho culminou com o estabelecimento do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Embrapa, 2006), aqui enquadrado na categoria de sistema de classificação pedológica, abordado no item subsequente.

Atualmente, outros sistemas de classificação de solos são aplicados no Brasil, cada um com sua especificidade prática, sendo estes enquadrados na categoria de sistema de classificação técnica. Como exemplo, tem-se o sistema de capacidade de uso do solo (Lepsch *et al.*, 1983), o sistema de avaliação de aptidão do uso das terras (Ramalho Filho e Béek, 1995), o sistema de classificação de terras para irrigação (Carter, 1993), entre outros.

### **2.1.2 – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA/CNPS)**

A classificação pedológica de solos no Brasil tem sido matéria de interesse constante, motivado pela necessidade de se conhecer as terras voltadas para o planejamento nos seus mais diversos fins, sejam eles de uso agrícola ou não (Macedo *et al.*, 2004). Por essa razão, o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) é uma prioridade nacional compartilhada com várias instituições de ensino e pesquisa no Brasil, desde as primeiras tentativas de organização a partir da década de 1970, conhecidas como aproximações sucessivas, buscando um sistema hierárquico, multicategórico e aberto, que permita a inclusão de novas classes e que torne possível a classificação de todos os solos existentes no território nacional (Embrapa, 2006).

A unidade básica de estudo do Sistema Brasileiro de Classificação é o perfil de solo que constitui a menor porção da superfície da terra, apresentando três dimensões e

perfazendo um volume mínimo que possibilite estudar a variabilidade dos atributos, propriedades e características dos horizontes ou camadas do solo.

O sistema é composto de vários níveis categóricos: 1º nível categórico (ordens); 2º nível categórico (subordens); 3º nível categórico (grandes grupos); 4º nível categórico (subgrupos); 5º nível categórico (famílias) e 6º nível categórico (séries) (Embrapa, 2006).

De acordo com a Embrapa (2006), um nível categórico de um sistema de classificação de solos é um conjunto de classes definidas num mesmo nível de generalização ou de abstração e incluindo todos os solos que satisfizerem a essa definição. As características ou propriedades usadas para a definição de um nível categórico devem ser propriedades dos solos que possam ser identificadas ou que possam ser inferidas de outras propriedades a partir de reconhecimento e/ou amostragem no campo ou a partir de conhecimentos da ciência do solo e de outras disciplinas correlatas. As características diferenciais para os níveis categóricos mais elevados (de menor numeração) da classificação de solos devem ser propriedades dos solos que resultem diretamente dos processos de gênese do solo ou que afetem diretamente a sua gênese, porque essas propriedades apresentam um maior número de características acessórias.

Nos níveis categóricos mais elevados, os critérios diferenciais entre classes são, sobretudo, de natureza pedogenética ou de formação do solo. Assim, no 1º nível (ordem), são empregados critérios que mostram diferenças no tipo e no grau de desenvolvimento de processos que atuaram na formação do solo.

No 2º nível (subordem), são empregados atributos diferenciais que refletem atuação em outros processos de formação ou enfatizam condições responsáveis pela ausência de diferenciação de horizontes como juventude, resistência ao intemperismo devido à presença de quartzo, entre outras, ou ressaltam propriedades resultantes de gênese que tenham grande importância agrônômica ou que tenham grande número de propriedades acessórias ou, ainda, que destacam propriedades ou características diferenciais que representam variações importantes dentro das classes do 1º nível categórico (Embrapa, 2006).

A Tabela 2.1 mostra resumidamente as 13 ordens de solos compondo o 1º nível categórico do sistema com suas características associadas, e também as subordens, compondo o 2º nível categórico do SiBCS. O SiBCS descreve as classes de solos no

Brasil apenas até o quarto nível categórico, estando o sistema ainda sem definições de classes nos níveis de família e série.

No 3º nível (grandes grupos), são empregadas algumas características dos solos relativas, por exemplo, ao tipo e ao arranjo dos horizontes, atividade da argila, complexo sortivo por bases, ou por alumínio, ou por sódio e/ou por sais solúveis (Embrapa, 2006). Inclui-se, ainda, nesse nível, características quanto à presença de horizontes ou propriedades que restringem o desenvolvimento das raízes e afetam o movimento da água no solo.

**Tabela 2.1:** As 13 ordens e subordens usados no SiBCS e suas características (Fonte: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA, 2006).

<b>Ordens</b> <i>(1º Nível Categ.)</i>	<b>Características</b>	<b>Sub-Ordens</b> <i>(2º Nível Categ.)</i>
Argissolos	Agrupamento de solos com horizonte B textural, com argila de atividade baixa ou argila de atividade alta desde que conjugada ao caráter aluminico e/ou à saturação por bases < 50%.	A. BRUNO-ACINZENTADOS A. ACINZENTADOS A. AMARELOS A. VERMELHO-AMARELOS
Cambissolos	Solos minerais não hidromórficos com horizonte B incipiente subjacente a quaisquer tipo de horizonte superficial.	C. HÚMICO C. FLÚVICOS C. HÁPLICOS
Chernossolos	Solos minerais não hidromórficos, com alta saturação por bases, argila de atividade alta e horizonte A chernozêmico.	C. RÊNDIZICOS C. EBÂNICOS C. ARGILÚVICOS C. HÁPLICOS
Espodossolos	Solos minerais com horizonte B espódico abaixo do horizonte A ou E ou abaixo de hístico com menos de 40cm.	E. HUMILÚVICOS E. FERRIHUMILÚVICOS E. FERRILÚVICOS
Gleissolos	Solos hidromórficos, constituídos por material mineral, que apresentam horizonte glei dentro de 150cm da superfície, imediatamente abaixo de horizonte A ou E (gleizados ou não), ou de horizonte hístico com menos de 40cm de espessura; não apresentam horizonte vértico ou horizonte B textural com mudança textural abrupta acima ou coincidente com horizonte glei, tampouco qualquer outro tipo de horizonte B diagnóstico acima do mesmo. Horizonte plântico, quando presente, deve estar a profundidade superior a 100cm da superfície do solo.	G. TIOMÓRFICOS G. SÁLICOS G. MELÂNICOS G. HÁPLICOS

**Tabela 2.1:** As 13 ordens e subordens usados no SiBCS e suas características (Continuação).

<b>Ordens</b> (1º Nível Categ.)	<b>Características</b>	<b>Sub-Ordens</b> (2º Nível Categ.)
Latossolos	Solos minerais não hidromórficos com horizonte B latossólico abaixo de quaisquer tipos de A.	L. BRUNOS L. AMARELOS L. VERMELHOS L. VERMELHO-AMARELOS
Luvissolos	Solos constituídos por material mineral, com argila de atividade alta, alta saturação por bases e horizonte B textural ou B nítico imediatamente abaixo de horizonte A fraco, ou moderado ou proeminente, ou horizonte E.	L. CRÔMICO L. HÁPLICOS
Neossolos	Solos minerais não hidromórficos, pouco desenvolvidos, com pequena expressão dos processos pedogenéticos.	N. LITÓLICOS N. FLÚVICOS N. REGOLÍICOS N. QUARTZARÊNICOS
Nitossolos	Compreende solos constituídos por material mineral, com horizonte B nítico (reluzente) com argila de atividade baixa ou argila de atividade alta desde que conjugada ao caráter alumínico, textura argilosa ou muito argilosa, estrutura em blocos subangulares, angulares ou prismática moderada ou forte, com superfície dos agregados reluzente relacionada à cerosidade e/ou superfícies de compressão.	N. VERMELHOS N. BRUNOS N. HÁPLICOS
Organossolos	Grupamento de solos constituídos por material orgânico que apresentam horizonte hístico (com teor de C-orgânico 80g/kg de TFSA) com espessura mínima de 40cm, quer se estendendo em seção única a partir da superfície, quer tomado, acumulativamente, dentro de 80 cm de superfície do solo; ou com no mínimo 20cm de espessura, quando sobrejacente a contato lítico; ou com no mínimo 60cm de espessura se 75% ou mais do material orgânico consiste de tecido vegetal facilmente identificável.	O. TIOMÓRFICO O. FÓLICOS O. HÁPLICOS
Planossolos	Solos minerais hidromórficos ou semi-hidromórficos, com mudança textural abrupta e horizonte B plânico ( B textural com cores de redução e estrutura em blocos e/ou prismática bem desenvolvida).	P. NÁTRICOS P. HÁPLICOS
Plintossolos	Solos constituídos por material mineral com horizonte plíntico começando dentro de 40 cm, ou dentro de 200 cm quando imediatamente abaixo de horizonte A ou E, ou subjacentes a horizontes que apresentem coloração pálida ou variegada ou com mosqueados em quantidade abundante.	P. PÉTRICOS P. ARGILÚVICOS P. HÁPLICOS

**Tabela 2.1:** As 13 ordens e subordens usados no SiBCS e suas características (Continuação).

Ordens (1º Nível Categ.)	Características	Sub-Ordens (2º Nível Categ.)
Vertissolos	Solos constituídos por material mineral com horizonte vértico entre 25 e 100 cm de profundidade e relação textural insuficiente para caracterizar um B textural, e apresentando, além disso, os seguintes requisitos: teor de argila de, no mínimo, 30% nos 20 cm superficiais, após misturados; fendas verticais no período seco, com pelo menos 1 cm de largura, atingindo, no mínimo, 50 cm de profundidade, exceto no caso de solos rasos, onde o limite mínimo é de 30 cm de profundidade.	V. HIDROMÓRFICOS V. EBÂNICOS V. HÁPLICO

Quanto ao 4º nível (subgrupos), segundo a Embrapa (2006), as classes são separadas por uma das seguintes características: representa o conceito central da classe ou o indivíduo mais simples, denominado típico; ainda que possa não ser o de maior expressão geográfica, mas apresenta organização de horizontes e sinais dos processos pedogenéticos mais simples; representa os intermediários para o 1º, 2º ou 3º níveis categóricos; representa os solos com características extraordinárias.

Por definição (Embrapa, 2006), o 5º nível categórico (famílias) compreende as propriedades físicas, químicas e mineralógicas e propriedades que reflitam condições ambientais. Nesse nível, agregam-se informações de caráter pragmático, para fins de utilização agrícola e não agrícola dos solos, compreendendo características diferenciais para a distinção de grupamentos mais homogêneos de solos. Já o 6º nível categórico é a categoria mais homogênea do sistema, correspondendo ao nível de série de solos. A definição de classes nesse nível categórico (série) deverá ter por bases características diretamente relacionadas com o crescimento de plantas, principalmente no que concerne ao desenvolvimento do sistema radicular, relações solo-água-plantas, ou, ainda, propriedades do solo relevantes nas interpretações para fins de engenharia e geotécnica.

## 2.2 – Caracterização do Solo

### 2.2.1 – Constituição Física do Solo

O solo é um sistema heterogêneo, polifásico, disperso e poroso, produto da intemperização física, química e biológica do material de origem (rocha). É constituído

de quatro componentes e disposto em três fases. Os quatro componentes incluem os sólidos inorgânicos e sólidos orgânicos, que constituem a fase sólida ou a matriz do solo formada por partículas, bem como a água (fase líquida), também chamada de solução do solo por conter substâncias dissolvidas, e o ar (fase gasosa), representando a atmosfera do solo.

Os componentes inorgânicos são minerais primários e secundários derivados do material de origem ou rocha. Os componentes orgânicos são materiais de origem animal e vegetal. O componente líquido consiste de uma solução aquosa diluída de compostos inorgânicos e orgânicos, enquanto que o gasoso inclui o ar do solo, que compreende uma mistura de gases como nitrogênio e oxigênio, na maior parte, e argônio, vapor de água, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, entre outros com menores concentrações. Tal mistura de gases tem composição similar, mas não idêntica, a do ar atmosférico (Hillel, 1980).

Sob condições ótimas para o crescimento das plantas, a fase sólida (orgânica e inorgânica) corresponde a aproximadamente 50% do volume total do solo, enquanto que as fases líquida e gasosa correspondem a 25% cada. Entre as espécies de plantas, existem exceções, como o arroz, que se adapta bem a solos encharcados. O componente orgânico, para a maioria dos solos minerais, corresponde, em condições ótimas, a aproximadamente a 5% ou menos do volume total.

### **2.2.2 – Textura**

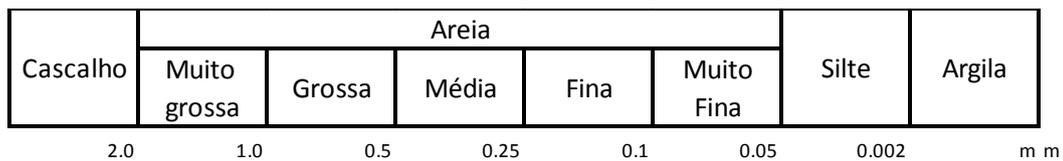
A textura do solo refere-se à proporção relativa em que se encontram, em determinada massa seca de solo, os diferentes tamanhos de partículas. É definida, portanto, em função da percentagem das partículas de areia (diâmetro  $d$  equivalente entre 0,05 e 2 mm), silte ( $d$  equivalente entre 0,002 e 0,05 mm) e argila ( $d < 0,002$  mm). É a propriedade física do solo que menos sofre alteração ao longo do tempo.

As diferentes proporções destes constituintes são agrupadas em classes texturais e representadas no triângulo de classificação textural, de acordo com o apresentado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) e comumente aceito na literatura e no Brasil, conforme mostram as Figuras 2.1 e 2.2.

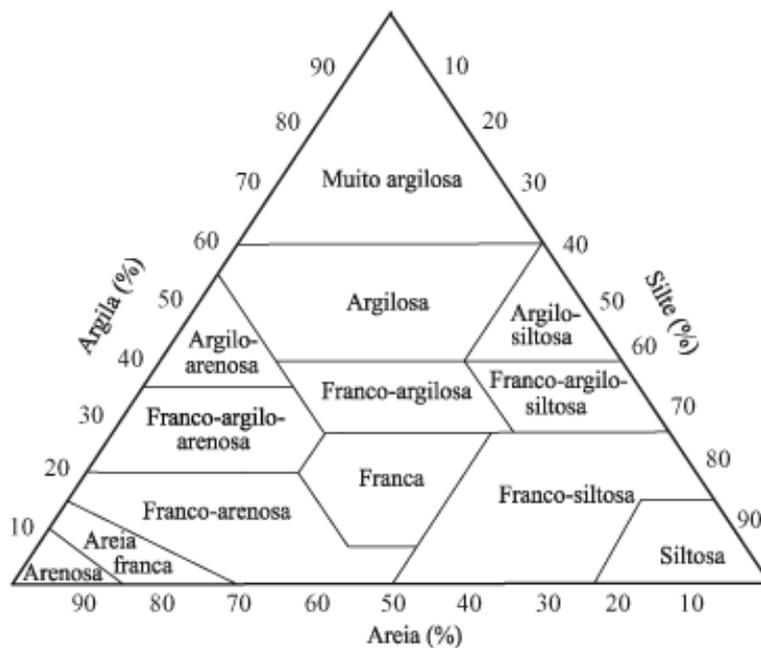
Na textura do solo, o teor de argila pode ser sentido através de sua pegajosidade, o de silte pela sua sedosidade e o de areia pela sua aspereza, o que pode, muitas vezes, ser determinada em campo, como é o caso das descrições de perfis de solos nos

levantamentos pedológicos, ainda que de forma imprecisa (Ghildyal, 1987). Em laboratório, procede-se a análise granulométrica ou textural, por peneiramentos sucessivos, até que restem apenas partículas iguais ou menores ao diâmetro de 0,05 mm ou 0,02 mm. Para separar partículas de diâmetro menor (silte e argila), utiliza-se, no Brasil, geralmente, o método de sedimentação em água (Embrapa, 1999).

Com base na proporção entre as partículas que formam o solo, pode-se determinar qual a sua textura, podendo ser, então, os solos classificados nas seguintes classes texturais: a) arenosos, com 70% ou mais de areia em sua composição, e pouca argila (menos de 15%), sendo normalmente altamente permeáveis e pouco compactáveis; b) médios, contendo frações equilibradas dos seus constituintes; c) argilosos, com mais de 35% de argila, apresentando com alguma frequência baixa infiltração e alta susceptibilidade à compactação.



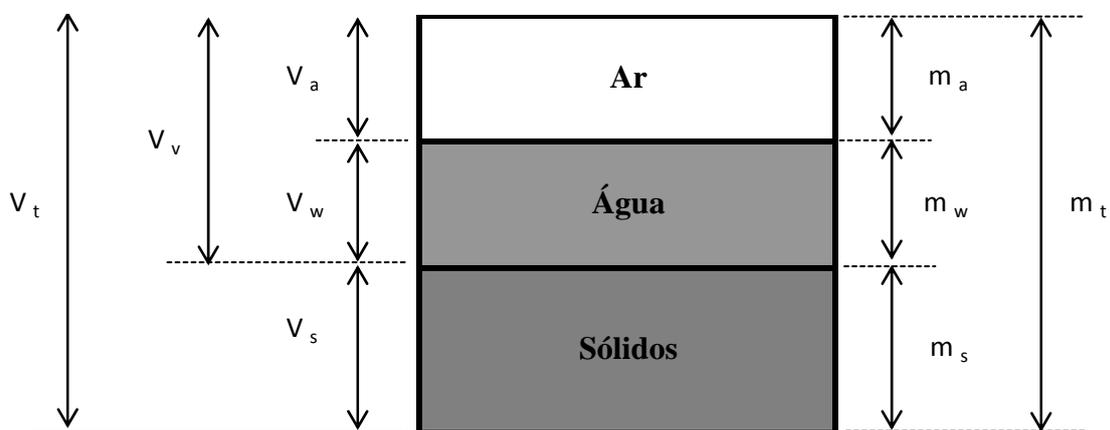
**Figura 2.1:** Classificação textural do solo segundo as frações granulométricas areia, silte e argila (Fontes: USDA, 1975; Embrapa, 1997)



**Figuras 2.2:** Triângulo de classificação textural (Fonte: Hillel, 1980).

### 2.2.3 – Estrutura do Solo

A estrutura do solo descreve o arranjo ou a disposição geométrica das partes sólidas e do espaço poroso localizado entre elas (Hillel, 1980). Assim, as partículas sólidas de tamanho e composição diferentes (areia, silte e argila), vistas no tópico anterior, arranjam-se de forma a torná-lo um meio poroso. Tal arranjo das partículas confere ao solo respostas quanto a esforços exógenos como práticas agrícolas, tráfego e impacto da chuva no solo, sendo este arranjo dinâmico, complexo e não muito bem compreendido, mas que contribui significativamente nos processos físico-hídricos do solo, pois afeta diretamente os regimes e fluxos de água, ar e calor. Segundo Dexter (2004), um solo é considerado de boa estrutura, sob o ponto de vista agrícola, quando apresenta baixa densidade e alta porosidade. No entanto, pode-se dizer que um solo bem estruturado sob o ponto de vista agrícola e ambiental, é aquele que permite uma boa atividade biológica, adequado ao armazenamento e distribuição espacial de água, apresentando porosidade e permeabilidade convenientes para o movimento e disponibilização de ar, água, nutrientes, energia bem como adequadas trocas bioquímicas. A Figura 2.3 representa o solo com um meio trifásico.



**Figura 2.3:** Solo como um meio trifásico, mostrando os diversos componentes de volume (V) e massa (m). (Fonte: Hillel, 1980)

Os mecanismos da formação da estrutura dos solos, apesar de não muito bem conhecidos, iniciam-se com a formação dos solos e são associados a mais dois fenômenos, sendo o primeiro uma aproximação das partículas e o segundo a cimentação ou estabilização dos agregados provenientes das partículas (Lal e Shukla, 2003). Na aproximação entre as partículas, agem alguns processos como a floculação da argila,

que envolve a troca de cátions entre a solução do solo e a matriz do solo, a desidratação do solo com secamento localizado, bem como a pressão causada pelas raízes e outros organismos (coprólitos). Na estabilização dos agregados, agem fatores como a quantidade e tipo de argila e matéria orgânica (polissacarídeos e ácidos húmicos), forças eletrostáticas (Van der Waals), microrganismos pela ação mecânica (hifas de fungos) e produção de compostos orgânicos, vegetação pela ação mecânica das raízes e fonte de material orgânico na superfície (Ferreira, 1988; Lal e Shukla, 2003), e cimentação. A cimentação requer a existência de substâncias específicas como os óxidos de ferro e alumínio, calcário, sílica, gesso (Lal e Shukla, 2003).

A avaliação direta da estrutura do solo é complexa e demanda modernas tecnologias como, por exemplo, ressonância magnética, tomografia, entre outras, que ainda são de acesso limitado. Porém, como uma avaliação qualitativa, usa-se a descrição morfológica quanto ao tipo, tamanho e grau de desenvolvimento dos agregados (Hillel, 1980; Pachepsky *et al.*, 2005). Essa descrição distingue bem a estrutura quando consideradas grandes diferenças da condição estrutural. A avaliação quantitativa mais usada na avaliação da qualidade da condição estrutural é de natureza indireta e utiliza outras propriedades físicas e hídricas indiretamente influenciadas pela estrutura do solo, como a estabilidade de agregados, densidade do solo, porosidade, permeabilidade e infiltração e retenção de água. Esse tipo de avaliação é bastante usado para indicar o estado atual da estrutura do solo quando submetido a diferentes sistemas de manejo. Algumas dessas variáveis serão discutidas nos tópicos adiante.

### **2.3 – Qualidade do Solo e Qualidade Física do Solo**

Existem vários conceitos de qualidade do solo que foram propostos na literatura. Um dos mais consagrados é o de Karlen *et al.* (1997), que se refere à capacidade do solo desempenhar ou não adequadamente suas funções. As principais funções do solo podem ser resumidas em: servir como meio para o crescimento de plantas, regular fluxo de massa e energia no ambiente e atuar como filtro ambiental (Reichert *et al.*, 2003).

Do ponto de vista das atividades agrícolas, os indicadores físicos do solo assumem importância por estabelecerem relações fundamentais com os processos hidrológicos, tais como taxa de infiltração, escoamento superficial, drenagem e erosão. Além disso, os solos representam, também, a sustentação básica para a manutenção dos ecossistemas terrestres devido a sua grande importância no fornecimento de água, ar,

calor, nutrientes e sustentação mecânica à vegetação. Assim, a qualidade de um solo está caracterizada pela junção harmoniosa entre os seus estados físicos, químicos e biológicos, com o primeiro exercendo grande influência sobre os demais e, por consequência disso, desempenhando um papel central em estudos sobre qualidade do solo.

Os atributos físicos do solo estão intimamente relacionados com a produtividade das culturas, podendo influenciar diretamente e indiretamente na produtividade das plantas. A quantificação da qualidade dos solos pode ser feita através do estabelecimento de um índice numérico, o qual permite monitorar os efeitos do uso agrícola nos atributos e propriedades do solo. Os atributos físicos que estão diretamente relacionados à produtividade das culturas são as quantidades de água e ar, resistência do solo à penetração e temperatura. Os atributos relacionados indiretamente são: textura, densidade do solo, agregação, porosidade e permeabilidade do solo. Funcionalmente, a estrutura do solo ideal é aquela que permite uma grande área de contato entre as raízes e o solo, espaço poroso suficiente e contínuo para o movimento da água e gases, e resistência do solo à penetração não impeditiva ao crescimento das raízes (Kopi e Douglas, 1991). Porém, vários fatores dificultam a definição, em termos quantitativos, de uma estrutura do solo ideal. Essa situação ocorre porque a relação entre estrutura do solo com o desenvolvimento das culturas é extremamente dependente das condições climáticas.

A variabilidade temporal e espacial dos atributos físicos do solo representa, também, grande obstáculo para a quantificação da relação entre atributos físicos do solo e a produtividade de culturas. Outra dificuldade é que vários atributos físicos do solo são interdependentes. Por exemplo, a variação da umidade do solo ( $\theta$ ) altera o potencial matricial ( $\Psi$ ), a aeração, a condutividade hidráulica e a resistência do solo à penetração de raízes. Apesar das dificuldades, o entendimento do comportamento dos atributos físicos do solo, principalmente no que diz respeito à água e à estrutura do solo, é fundamental para o entendimento de muitos processos de importância agrícola (Hadas, 1997).

A ciência do solo foi criada e desenvolvida categorizando e designando a qualidade dos solos e das terras ou paisagens associadas, indicando, portanto, vasta experiência acumulada na medição e percepção desses processos e fenômenos associados. Todavia, na última década, os cientistas de solos têm muito se preocupado com dois aspectos: identificar e selecionar indicadores associados a determinadas

funções que o solo deve desempenhar e definir valores quantitativos e mensuráveis desses indicadores.

A nova preocupação de valorar os solos de acordo com suas qualidades, visando também identificar seu estado atual relativo às suas condições originais, permite acessar o nível de conservação, degradação ou recuperação de determinado solo, terra ou paisagem.

A compreensão e a quantificação do impacto do uso e manejo do solo na sua qualidade são fundamentais no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (Tormena *et al.*, 2007). O solo, quando submetido a determinados sistemas de manejo, tende a um novo estado de equilíbrio, refletido em diferentes manifestações de seus atributos, os quais poderão ser desfavoráveis à conservação do solo e a produção das culturas. Dessa maneira, o uso de indicadores da qualidade física do solo para avaliação da sustentabilidade ambiental através dos atributos físicos do solo tem sido proposto por diversos autores, sendo abordados alguns desses indicadores nos tópicos subseqüentes.

A avaliação da qualidade do solo exige métodos sistemáticos para medir e interpretar as contribuições das propriedades e atributos do solo que podem ser utilizados como indicadores de qualidade. Diferentes propostas de métodos e modelos para avaliação da qualidade do solo são encontradas na literatura, sendo todos eles conceitualmente similares e derivados daqueles propostos para a determinação dos índices de produtividade (Chaer, 2001). Um método muito utilizado é o proposto por Karlen e Stott (1994), os quais sugerem um modelo aditivo desenvolvido por Wymore (1993) para suporte a decisão nas investigações de problemas ambientais. Tais modelos apresentam uma estrutura de cálculo com funções estabelecidas e seus respectivos indicadores de qualidade, com pesos para ponderação pré-definidos. A aplicação do método desenvolvido por Wymore (1993) combina diferentes funções e indicadores para determinar o índice de qualidade do solo (IQS), com os resultados variando numa escala de 0 a 1, sendo o primeiro índice um indicador de baixa e o último índice um indicador de alta qualidade para a função avaliada. Tal procedimento para avaliar a qualidade do solo foi verificado por diversos autores e com diferentes enfoques, apresentando resultados satisfatórios (Glover *et al.*, 2000; Chaer, 2001; Souza *et al.*, 2003).

A fim de determinar o índice de qualidade do solo (IQS) em horizontes subsuperficiais em Latossolo Amarelo, Melo Filho *et al.* (2007) avaliou 11 indicadores de qualidade: macroporosidade, densidade do solo (DS), condutividade hidráulica

saturada, retenção de água a -33kPa, relação de disponibilidade de água no solo (água disponível/porosidade total), pH, resistência à penetração (RP), capacidade de troca catiônica (CTC), percentagem de saturação por bases (V), percentagem de saturação por alumínio (m) e matéria orgânica (MO), agrupados em três funções principais como: crescimento radicular em profundidade, condução e armazenamento de água e suprimento de nutrientes. O valor do IQS encontrado pelo autor foi 0,4620, indicando baixa qualidade, sob o ponto de vista agrícola, para o solo estudado. Segundo o índice encontrado pelo autor para as funções avaliadas, sugeriu-se que a produção agrícola, para essa classe de solo e na área considerada, deva ser realizada necessariamente com a melhoria da capacidade de retenção de água, com a redução da acidez e com o aumento na oferta de nutrientes.

### **2.3.1 - Indicadores da Qualidade Física dos Solos**

#### **2.3.1.1 – Intervalo Hídrico Ótimo (IHO)**

O intervalo hídrico ótimo representa o intervalo de teor de água no solo, onde as limitações ao crescimento da planta (potencial hídrico, porosidade de aeração e a resistência à penetração) são mínimas. Letey (1985) estabeleceu o conceito de faixa não limitante de água (*non limiting water range* - NLWR) na tentativa de integrar várias propriedades físicas do solo associadas à planta e a seu crescimento radicular, refinando, assim, o conceito de capacidade de água disponível, sendo o IHO um indicador estrutural do solo mais sensível que a água disponível ( $AD = \theta_{cc} - \theta_{PMP}$ ) (Tormena *et al.*, 1998; Fidalski, 2004).

Registra-se que, nesta seção, optou-se por empregar a notação  $\theta_{cc}$  para indicar o nível de umidade na capacidade de campo (CC). Similarmente, adotou-se  $\theta_{PMP}$  para denotar nível de umidade no ponto de murcha permanente (PMP). Para outros níveis de umidade, adotou-se, analogamente, a notação  $\theta$  para indicar umidade do solo e um subscrito para caracterizar um dado ponto na curva de retenção de água do solo. Mais ainda, salienta-se que, nos demais itens do documento, optou-se, a título de simplicidade de notação, por adotar o subscrito como indicador da umidade do solo. Assim, por exemplo, quando, em outras partes do texto, for identificado o símbolo CC

em lugar de  $\theta_{cc}$ , deve-se entender que corresponde à umidade do solo na capacidade de campo.

Feito esse esclarecimento, salienta-se que o adequado desenvolvimento vegetal não se define apenas dentro de certos limites de conteúdo de água no solo, como a capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ) e o ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ). Esse fato levou Silva *et al.* (1994) a introduzir o conceito de intervalo hídrico ótimo (IHO) (*least limiting water range* - LLWR), ampliando o conceito a partir do trabalho pioneiro de Letey, sendo difundido, no Brasil, por Tormena *et al.* (1998). Os conceitos de porosidade, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível serão mais elaborados no Capítulo III (item 3.1).

Segundo Reichardt (1985), o potencial matricial é o resultado de forças capilares e de adsorção que surgem devido à interação entre a água e as partículas sólidas, que, por sua vez, constituem a matriz do solo. Essas forças atraem e fixam a água no solo, diminuindo sua energia potencial com relação à água livre. São fenômenos que resultam das forças adsorptivas entre a solução de água e as partículas, bem como da tensão superficial da água e de seu ângulo de contato com as partículas sólidas.

Com base nessas premissas, o conceito de IHO passou a considerar dentro desses limites de melhor desenvolvimento radicular, além dos teores de água nos potenciais matriciais da capacidade de campo (CC) e do ponto de murcha permanente (PMP), os quais correspondem aos limites da água disponível (AD) do solo, algumas outras restrições quanto aos teores de água no solo. Integram-se, portanto, nessas restrições, valores críticos de aeração e de resistência do solo à penetração para o desenvolvimento radicular. Todos esses fatores, como umidade na capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ), umidade no ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ), umidade crítica de porosidade de aeração ( $\theta_{PA}$ ) e umidade crítica de resistência à penetração das raízes ( $\theta_{RP}$ ), podem ser calculados em função da massa específica aparente seca do solo (*bulk density*), aqui denominada de densidade do solo (Ds), ressaltando a grande influência que a densidade do solo exerce sobre o desempenho da planta. Com o aumento da densidade do solo, tem-se redução da aeração e aumento da resistência do solo à penetração, fazendo com que haja diminuição do valor de IHO. Quando o IHO apresentar valor nulo (IHO = 0), tem-se, portanto, um valor crítico da Ds (Silva *et al.*, 1994; Imhoff *et al.*, 2001).

O limite superior do IHO é determinado, então, não só pelo conteúdo de água na capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ), mas também pela umidade capaz de proporcionar

arejamento adequado às raízes das plantas, considerada como aquela que conduz a uma porosidade de aeração volumétrica de 10% (Letey, 1985), ou seja, define-se que  $\theta_{PA}$  = porosidade - 10%.

O limite inferior não se restringe, também, somente ao ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ), mas também à capacidade de penetração da raiz, medida como resistência mecânica à inserção do penetrômetro.

Segundo Klein e Camara (2007), os valores limitantes do IHO correspondem à tensão de água ou sucção, que é o simétrico do potencial matricial de água de 0,01 MPa para a umidade na capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ), à tensão de 1,5 MPa, para a umidade no ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ), à  $\theta_{PA}$ , que é igual a porosidade menos  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , e à umidade  $\theta_{RP}$  correspondente a uma resistência à penetração de 2,0 a 3,0 MPa (Silva *et al.*, 1994), sendo esse valor crítico máximo de resistência dependente da espécie da planta e do sistema de manejo do solo (Silva *et al.*, 1994; Imhoff *et al.*, 2000; Petean, 2007; Tormena *et al.*, 2007 e Klein e Camara, 2007).

O intervalo hídrico ótimo (IHO) dos solos tem sido empregado como uma metodologia para a avaliação da qualidade física do solo em condições distintas de solo e manejo (Tormena *et al.*, 1998; Schoenholtz *et al.*, 2000; Leão *et al.*, 2004; Klein e Câmara, 2007; Kaiser *et al.*, 2009). Entretanto, a inexistência de uma metodologia simplificada para a quantificação do IHO tem dificultado a popularização do uso dessa técnica entre pesquisadores e técnicos.

Portanto, para determinado tipo de solo, a medida do IHO incorpora as limitações da aeração, da disponibilidade de água e da resistência à penetração, em função exclusiva da densidade do solo, sendo por isso um índice promissor para se avaliar a qualidade física modificada a partir de diferentes condições de uso e manejo do solo.

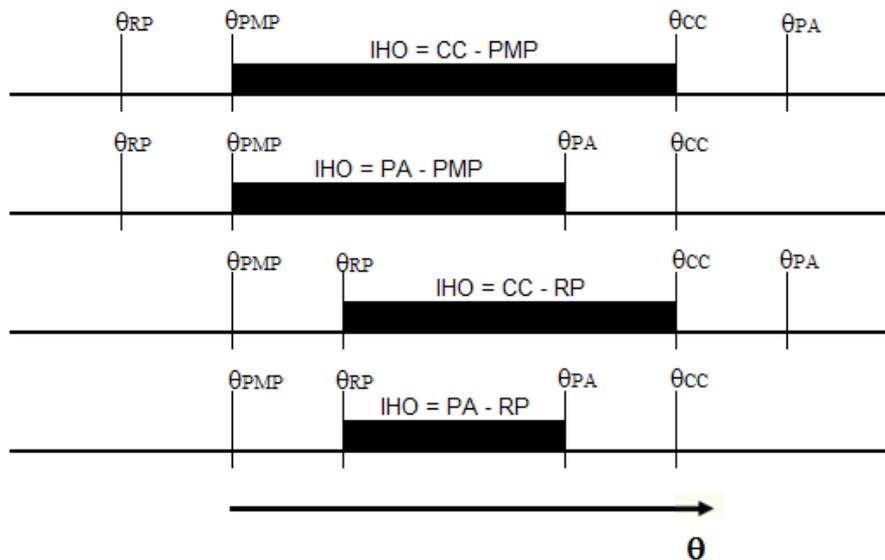
O valor do IHO é calculado a partir dos conteúdos de água no solo de cada um dos quatro indicadores de umidade, para cada valor de densidade do solo (Figura 2.4).

Se  $\theta_{PA} \geq \theta_{CC}$  e  $\theta_{RP} \leq \theta_{PMP}$ , então  $IHO = \theta_{CC} - \theta_{PMP}$ ;

Se  $\theta_{PA} \geq \theta_{CC}$  e  $\theta_{RP} \geq \theta_{PMP}$ , então  $IHO = \theta_{CC} - \theta_{RP}$ ;

Se  $\theta_{PA} \leq \theta_{CC}$  e  $\theta_{RP} \leq \theta_{PMP}$ , então  $IHO = \theta_{PA} - \theta_{PMP}$ ;

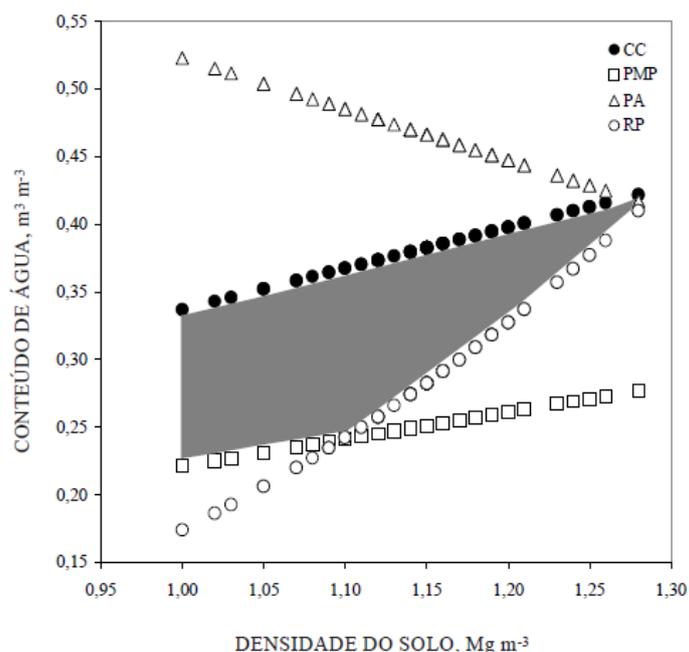
Se  $\theta_{PA} \leq \theta_{CC}$  e  $\theta_{RP} \geq \theta_{PMP}$ , então  $IHO = \theta_{PA} - \theta_{RP}$ .



**Figura 2.4:** Conceitos de AD e IHO para diferentes usos e manejo do solo.

(Fonte: Araujo *et al.*, 2004).

Segundo Silva *et al.* (1994), a determinação do IHO pode ser feita a partir da curva de retenção de água no solo, construída como uma função da tensão de água ou potencial matricial em relação à umidade do solo para uma dada densidade do solo. Essa curva é determinada a partir de amostras indeformadas retiradas com auxílio de anéis volumétricos. Os valores das umidades na CC e no PMP são determinados diretamente da curva ou a partir da equação de representação da curva, onde essas umidades são relacionadas ao potencial matricial e à densidade do solo. A  $\theta_{RP}$  é calculada a partir da curva de resistência do solo à penetração, também dependente da densidade do solo, obtida por ensaios de penetração de um penetrômetro em amostras indeformadas de solo com umidade e DS conhecidas. A  $\theta_{PA}$  pode ser estimada a partir da porosidade de aeração. Nesse sentido, a umidade de porosidade de aeração ( $\theta_{PA}$ ) é a umidade para a capacidade de ar ou ar disponível de 10%. O conceito de ar disponível será melhor delineado no Capítulo III. De posse desses valores, elabora-se um gráfico correlacionando-se  $\theta_{CC}$ ,  $\theta_{PMP}$ ,  $\theta_{PA}$  e  $\theta_{RP}$  com a DS, como mostra a Figura 2.5. Para cada valor de DS, o IHO é estimado, então, através de uma das quatro diferenças possíveis, representadas na Figura 2.4.



**Figura 2.5:** Variação do conteúdo de água com a densidade nos níveis críticos da capacidade de campo ( $\theta_{CC}$  a  $-0,01$  MPa), ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$  a  $-1,5$  MPa), porosidade de aeração de 10% ( $\theta_{PA}$ ) e resistência à penetração de 2,0 MPa ( $\theta_{RP}$ ). A área hachurada representa o intervalo hídrico ótimo (IHO) do solo.

(Fonte: Tormena *et al.*, 1998).

Em solos bem agregados, geralmente, fatores como a capacidade de campo e ponto de murcha permanente definem os limites do intervalo hídrico ótimo às plantas, sendo esse índice, portanto, igual à água disponível no solo ( $IHO = AD$ ) (Tormena *et al.*, 1998). Já em solos mal agregados ou com estrutura menos adequada, fatores como a porosidade de aeração (PA) e resistência à penetração (RP) podem se tornar mais limitantes em função da sensibilidade desses parâmetros à desagregação da estrutura do solo (Tormena *et al.*, 1998).

O IHO pode variar numa escala ampla de valores. No solo da Figura 2.5, o IHO máximo foi de aproximadamente 10% na densidade próxima de  $1,0 \text{ Mg m}^{-3}$ . Essa maior ou menor variação depende do nível de manejo ou do grau de compactação do solo, avaliada pela densidade do solo, além das próprias características físicas do solo. Assim, dependendo das condições estruturais do solo, a umidade na CC pode ser substituída por  $\theta_{PA}$ , bem como o PMP pela  $\theta_{RP}$ , para solos mais degradados.

Klein e Libardi (2000) observaram, em estudo com Latossolo Roxo, que, em condições de mata e áreas de sequeiro, a CC é o fator mais limitante no limite superior

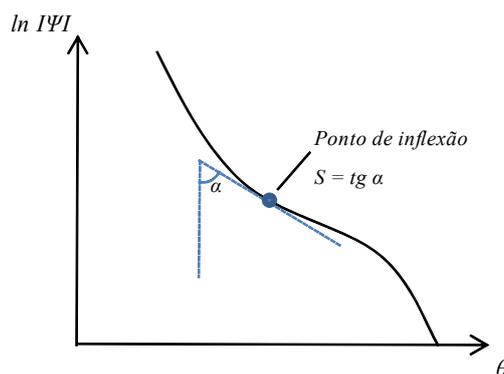
da umidade e que, em condições de mata, o limite inferior é somente o PMP, não havendo ação da resistência à penetração, enquanto que, para o sequeiro, nos valores baixos de densidade do solo (abaixo de  $1,11 \text{ Mg m}^{-3}$ ), o fator limitante é o PMP. Esses autores concluíram que a PA e a RP são as propriedades que mais variam com as mudanças de densidade do solo.

A fim de determinar o IHO em um Latossolo Vermelho sob plantio direto (PD) e plantio direto escarificado (PDE), bem como o rendimento de grãos de soja, Klein e Câmara (2007) obtiveram resultados em que a densidade do solo foi menor no PDE, acarretando maior amplitude do IHO. A densidade crítica, na qual IHO é igual a zero, foi semelhante entre o PD e o PDE. Durante o ciclo da cultura da soja, com bom desempenho, em vários momentos, a sua umidade ficou fora do IHO, quando assumida RP limitante de 2 MPa, deduzindo-se, assim, que a RP de 2 MPa não é limitante para a soja.

### 2.3.1.2 - Índice S

Dexter (2004 a, b, c) propôs o índice S como indicativo para avaliar a qualidade física e estrutural do solo com base na curva característica de retenção de água, que é a curva que relaciona a umidade com a tensão de água. O valor do índice S foi definido, então, como a tangente do ângulo de inclinação da curva de retenção, estando a tensão na escala logarítmica, no ponto de inflexão da curva. Em outras palavras,  $S = -d\theta/d(\ln /\Psi/)$ , onde  $\theta$  é a umidade gravimétrica (em g/g) e  $\ln /\Psi/$  é o logaritmo (na base  $e$ ) da tensão ou potencial matricial de água  $/\Psi/$ , e S é tomado no ponto de inflexão da curva (Figura 2.6).

Dexter sustenta que S representa a distribuição do tamanho de poros de maior frequência e que S é uma medida de uma microestrutura bem definida. Esse índice torna possível a comparação direta de diferentes solos e dos efeitos de diferentes práticas de manejo na qualidade física do solo.



**Figura 2.6:** Índice S - tangente do ângulo de inclinação da curva de retenção, sendo  $\theta$  a umidade gravimétrica e  $\ln I\Psi I$  a tensão em escala logarítmica.

Segundo o autor, valores do índice S acima de 0,035 são indicativos de boa qualidade física do solo e valores de S abaixo de 0,020 estão associados às más condições físicas e de agregação do solo, considerando-se que os solos por ele testados foram de clima temperado. Em solos tropicais, o índice S tem sido pouco testado e avaliado (Streck *et al.*, 2008; Andrade *et al.*, 2009). Maiores valores de S indicam melhor distribuição de tamanho de poros, condizente com condições de agregação e estruturais que estabelecem o adequado funcionamento físico do solo. Assim sendo, fatores relacionados com o solo (textura e estrutura) e com o manejo (matéria orgânica do solo, aração, compactação e ação de raízes), que influenciam a distribuição do tamanho de poros, refletem-se em mudanças nos valores de S, e, portanto, na qualidade física do solo.

Segundo Dexter, a declividade S é devida, na maioria das vezes, principalmente, à porosidade microestrutural (poros estruturais compreendendo microfendas, fendas, bioporos e macroestruturas produzidas pelo preparo do solo) e, portanto, S governa diretamente muito dos principais atributos físicos do solo. Solos com predominância de porosidade textural, ou seja, aquela que ocorre diretamente entre as partículas dos minerais primários, devem ter pobre qualidade física, segundo o autor. Exceto para algumas areias, tais solos, geralmente, são pouco trabalháveis e apresentam baixas taxas de infiltração de água. Portanto, a presença de poros estruturais e um correspondente alto valor de S são essenciais para boa qualidade do solo (Dexter, 2004).

De acordo com Streck *et al.* (2008), para solos do sul do Brasil, o índice S mostrou variações na qualidade física do solo impostas pelo manejo. Esse índice não foi influenciado pelo teor de argila total, tampouco pelo teor de argila dispersa dos solos. O S decresceu exponencialmente com o aumento da densidade do solo e aumentou

exponencialmente com o aumento do teor de matéria orgânica. A umidade disponível aumentou de forma linear com o aumento do S.

No diagnóstico da qualidade física de solos do cerrado através do índice S, Andrade *et al.* (2009) encontraram um valor limite de S igual a 0,045, mostrando-se adequado à divisão entre solo de boa qualidade estrutural e solo com tendências a se tornar degradado, enquanto que valores de  $S \leq 0,025$  indicaram solos inteiramente degradados fisicamente.

### **2.3.1.3 – Avaliação da Estrutura do Solo**

Dentre os atributos físicos do solo, a estrutura é uma propriedade sensível ao manejo e pode ser analisada segundo variáveis relacionadas a sua forma (Albuquerque *et al.*, 1995) ou a sua estabilidade (Campos *et al.*, 1995). De modo geral, com o aumento da intensidade de cultivo, tem sido observada alteração no tamanho dos agregados, aumento da densidade, redução da porosidade total e aumento da resistência à penetração (Albuquerque *et al.*, 1995; Silva e Mielniczuk, 1997; Alvarenga e Davide, 1999).

A degradação da estrutura causa ao solo perda das condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal e o predispõe ao aumento de erosão hídrica. Alterações da estrutura do solo interferem nos processos hidrológicos, como no fluxo de água e ar no perfil, na infiltração e, conseqüentemente, no escoamento superficial e subsuperficial, bem como na erosão. Essas alterações influem sobre a função do solo de separar e regular o fluxo de água no ambiente. Também a degradação da estrutura interfere no desenvolvimento vegetal e no crescimento das raízes por modificar a resistência ao crescimento radicular e a aeração, influenciando, assim, o perfil de solo como meio para a produção de culturas. Dessa forma, a estrutura, ainda que entendida de forma vaga, é importante para se avaliar a qualidade do solo. A melhoria da estrutura é acompanhada, geralmente, pelo aumento da permeabilidade, pelo decréscimo na erodibilidade e pela redução no escoamento superficial de água e, conseqüentemente, pela redução da erosão hídrica (Figueiredo *et al.*, 2000; Castro *et al.*, 2003) e aumento da qualidade do solo.

Os agregados são constituídos pelas partículas do solo, sendo componentes da sua estrutura e, portanto, de suma importância na manutenção da porosidade e aeração, no crescimento das plantas e da população microbiana, na infiltração de água e no controle dos processos erosivos (Dexter, 1988; Oades e Waters, 1991). Assim, a

estabilidade de agregados pode ser utilizada como indicadora da degradação ou da recuperação da qualidade do solo. A estabilidade de agregados caracteriza a resistência que eles oferecem à ruptura causada por agentes externos, ou seja, principalmente ação mecânica ou ação hídrica, sendo de grande importância para a produção agrícola.

A estabilidade de agregados é resultado de processos biológicos, químicos e físicos que ocorrem interativamente no solo (Tisdall e Oades, 1982). Dentre os fatores que influenciam a formação e a estabilização dos agregados, destacam-se a textura (Dexter, 1988), a mineralogia da fração argila, o tipo e teor de cátions presentes, a matéria orgânica e os tipos de microrganismos (Carter, 2002), as raízes de plantas e resíduos vegetais (Silva e Mielniczuk, 1998) e os sistemas de manejo (Lima *et al.*, 2003). A partir da sua avaliação, podem-se fazer correlações envolvendo a capacidade de infiltração e retenção de água, condutividade hidráulica e erodibilidade (Ahuja, 1984).

A porosidade é um atributo que interfere na qualidade do solo, sendo também um dos componentes da estrutura influenciado pela agregação. Segundo Topp e Zebchuk (1979), das diferentes propriedades físicas usadas na quantificação da qualidade do solo, a densidade e a porosidade são as mais amplamente utilizadas. Do ponto de vista biológico, um solo com boa qualidade física requer balanço favorável entre aeração e retenção de água, além da resistência à penetração não impeditiva ao crescimento e às funções biológicas das raízes (Letey, 1985).

As alterações causadas na porosidade do solo, além de modificarem as trocas gasosas, alteram a disponibilidade de água para as plantas (Argenton *et al.*, 2005). Esses mesmos autores notaram que, em preparo reduzido e em cultivo convencional, a degradação do solo pelo cultivo ocorreu principalmente pelo aumento da densidade e redução da macroporosidade, tendo sido a microporosidade menos afetada.

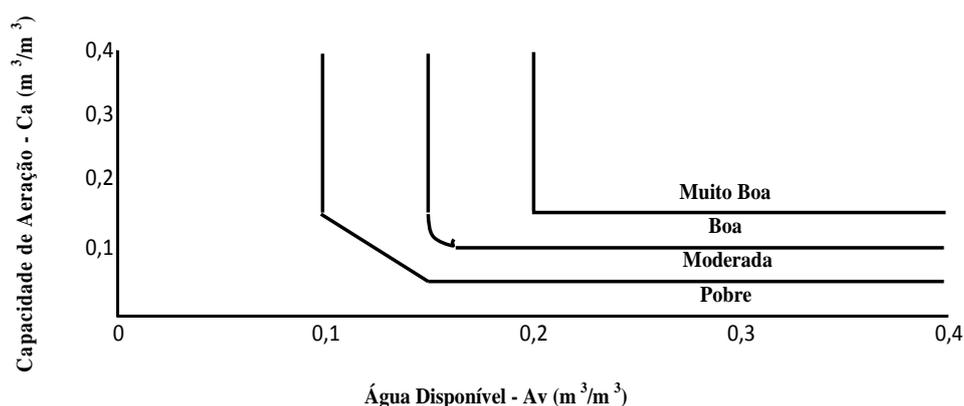
Outra alteração que pode ocorrer na estrutura do solo é a compactação. Segundo Tavares Filho *et al.* (2001), a estrutura é alterada em função da compactação, sendo que os macroagregados são destruídos, podendo impedir o crescimento de raízes e diminuir o volume explorado pelo sistema radicular. Em consequência da compactação, tem-se um aumento da resistência à penetração e redução da porosidade e da conectividade dos poros, bem como da permeabilidade e, possivelmente, da disponibilidade de água.

À exemplo da estrutura, avaliar a textura de um solo é um dos itens fundamentais da hidropedologia, pois está relacionada aos indicadores mais importantes. A textura é uma propriedade básica que influencia significativa e

diretamente os atributos físicos e direta ou indiretamente os atributos químicos e biológicos (Richards, 1965; Dexter, 2004).

A consistência do solo ocorre em função das forças de adesão e coesão entre as partículas; inclui propriedades como resistência à compressão, cisalhamento e esboroamento, friabilidade, dureza, plasticidade e pegajosidade. Varia com a textura, quantidade de matéria orgânica, quantidade e natureza do material coloidal e teor de água (Argenton *et al.*, 2005). Pelo descrito, e embora não existam muitos relatos a respeito de seu uso como indicador de qualidade, a consistência do solo merece grande atenção na avaliação de sua qualidade física, visto a interação dessa propriedade com outros atributos e a sua influência direta nas operações de preparo e manejo do solo.

Para avaliação da qualidade da estrutura no horizonte superficial do solo, Thomasson (1978) propôs categorias, considerando a sua capacidade de aeração e o seu conteúdo de água disponível. O indicador capacidade de aeração (Ca), que corresponde ao volume total dos poros maiores que 60  $\mu\text{m}$  de diâmetro, foi definido pela diferença entre a porosidade total e a porosidade correspondente ao volume de água retido na tensão de água de 0,05 bar. Já o indicador água disponível (Av), correspondente ao volume de poros com diâmetros compreendidos entre 60  $\mu\text{m}$  a 0,2  $\mu\text{m}$ , foi determinado pela diferença entre a quantidade de água do solo retida nas tensões de 0,05 e 1,5 bar. Esses indicadores foram utilizados para a classificação da estrutura em pobre, moderada, boa e muito boa (Figura 2.7), segundo Thomasson (1978).



**Figura 2.7:** Classificação da condição estrutural dos solos considerando sua capacidade de ar (Ca) e água disponível (Av). (Fonte: Thomasson (1978)).

Quanto à Ca, a classe pobre enquadrava valores menores que 5% volumétricos (Figura 2.7), a classe moderada, valores entre 5 e 10%, e a classe boa, valores entre 10 e

15%, dependendo também esse enquadramento dos valores de  $A_v$ . Quanto à capacidade de água disponível ( $A_v$ ), valores inferiores a 10% constituíram a classe pobre, entre 10 e 15%, a classe moderada, e entre 15 e 20%, a classe boa, dependendo também, nesse caso, dos valores de  $C_a$ . Acima dessas faixas de valores de  $C_a = 15\%$  e  $A_v = 20\%$ , as classes de solos seriam classificadas como muito boas (Figura 2.7).

## CAPÍTULO III – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 – Variáveis Físico-Hídricas do Solo

#### 3.1.1 – Densidade do Solo (DS)

Também conhecida como densidade global (*bulk density*) ou massa específica aparente seca ou ainda densidade do meio seco, expressa a relação da massa de uma amostra seca a 105°C por unidade de volume de solo (Figura 2.3).

$$DS = \frac{m_s}{V_t} = \frac{m_s}{V_s + V_w + V_a} \quad (3.1)$$

A densidade do solo está diretamente relacionada com a estrutura e a porosidade do solo, influenciando em outros fatores físico-hídricos. Essa densidade do meio seco pode aumentar com a profundidade do perfil devido às pressões exercidas pelas camadas superiores diminuindo a porosidade e promovendo a compactação. Assim, para um mesmo solo, o valor da densidade global pode ser variável, pois depende também do nível de manejo, o qual altera sua estrutura. Portanto, pode ser afetada pela estrutura, grau de compactação e pelas características de contração e expansão das argilas controladas pela própria umidade do solo (Dias Junior e Ferreira, 1997). Nos solos minerais, a densidade do solo varia geralmente de 1,10 a 1,60 g cm<sup>-3</sup> enquanto que, em solos orgânicos, esse valor varia de 0,60 a 0,80 g cm<sup>-3</sup> (Dias Junior e Ferreira, 1997).

Para a determinação da densidade do solo, pode-se utilizar métodos evasivos e não-destrutivos como a sonda de nêutrons, radiação gama e tomografia computadorizada, ou aplicar métodos não evasivos e destrutíveis tais como método do anel volumétrico (cilindro de Uhland e anel de Kopeck, entre outros amostradores) e o método do torrão parafinado (Dias Junior e Ferreira, 1997).

Através da determinação da densidade do solo, torna-se possível avaliar o estado de manejo atual do solo, além de permitir inferir, nos horizontes de um perfil de solo, algumas de suas propriedades, tais como sua drenagem, condutividade hidráulica, permeabilidade ao ar e capacidade de saturação de água, para fins de manejo de irrigação ou drenagem, por exemplo.

### 3.1.2 – Densidade das Partículas (DP)

Conhecida também como densidade dos sólidos ou densidade de partícula (*mean particle density*), expressa a relação entre a massa de solo seco e o volume das partículas (Figura 2.3).

$$DP = \frac{m_s}{V_s} \quad (3.2)$$

A densidade dos sólidos é independente da estrutura e do espaço poroso ocupados por ar e água, mas depende diretamente da fração sólida do solo. Nos solos minerais, seu valor varia de 2,30 a 2,90 g cm<sup>-3</sup>, porém o valor médio para efeito de cálculos básicos é de 2,65 g cm<sup>-3</sup> (Kiehl, 1979). Esse fato ocorre porque os constituintes minerais predominantes no solo são o quartzo, os feldspatos e os silicatos de alumínio coloidais, cujas densidades dos sólidos estão em torno desse valor. O conhecimento desse parâmetro físico torna-se importante por fazer parte dos cálculos da velocidade de sedimentação das partículas e da porosidade total do solo (Kiehl, 1979).

Sua determinação é feita, geralmente, através do método do balão volumétrico ou pelo método do picnômetro com água (Embrapa, 1997).

### 3.1.3 – Porosidade (PT)

A porosidade do solo é um termo geralmente usado para designar os espaços vazios do solo. É também denominada de porosidade total. Os espaços vazios são representados por volumes de diferentes formas e tamanhos, determinados pelo arranjo das frações granulométricas ou partículas sólidas (Hillel, 1980). É estimada pela relação entre o volume de vazios e o volume total.

$$PT = \frac{V_v}{V_t} = \frac{V_w + V_a}{V_s + V_w + V_a} \quad (3.3)$$

A relação entre a porosidade e a densidade do solo pode, então, ser escrita como:

$$PT = 1 - \frac{DP}{DS} \quad (3.4)$$

A porosidade também pode ser estimada em laboratório através da determinação da umidade volumétrica de amostra indeformada saturada de água (Kiehl, 1979). Nesse caso, ela é denominada de porosidade de saturação.

Apesar de complexa sua compreensão, torna-se extremamente necessário o estudo desse parâmetro físico por fornecer informações importantes sobre a estrutura do solo. A caracterização estrutural do solo não se completa sem a avaliação da sua porosidade, distribuição do tamanho dos poros e sua estabilidade estrutural, já que os agregados não são estáveis, podendo tal estabilidade variar temporalmente e espacialmente. A manutenção da distribuição dos poros nos agregados, tanto em volume total quanto em tamanho, depende da estrutura e estabilidade dos agregados ao longo de sucessivos ciclos de molhamento e secagem, bem como dos efeitos decorrentes de cultivo e manejo do solo.

A distribuição espacial dos vazios atribuído ao solo inúmeras funções no que diz respeito à sustentabilidade agrícola. O espaço poroso condiciona seu comportamento físico-hídrico, influenciando os processos dinâmicos do ar e da solução do solo (água e nutrientes) (Hillel, 1980), interferindo na aeração (fluxo de gases), movimento e retenção de água, fluxo e retenção de calor, e resistência à penetração das raízes das plantas (Hadas, 1997).

A caracterização do espaço poroso é, portanto, um parâmetro útil para caracterização do solo. Embora sua definição e mensuração global sejam razoavelmente bem padronizadas, a distribuição do tamanho e volume dos poros, contudo, não é claramente ou evidentemente definível, muito menos mensurável (Hillel, 1980).

Na tentativa de expressar ou de determinar o espaço poroso, considerando sua configuração e geometria, inúmeras classificações têm sido apresentadas a fim de se estabelecer um padrão para tal representação. Uma forma mais simplificada classifica os poros em duas classes: macroporos e microporos. Alguns autores consideram ainda uma terceira classe: a dos mesoporos (Luxmoore, 1981).

Kiehl (1979) classifica os macroporos e microporos, como espaços com diâmetro maior e menor, respectivamente, que 0,06 mm. Já Richards (1965) considera o diâmetro de 0,05 mm como limite que separa os macro e microporos.

Luxmoore (1981) sugere uma classificação na qual os macroporos apresentam diâmetro maior que 1,0 mm; os mesoporos entre 0,01 e 1,0 mm e os microporos diâmetros menores que 0,01 mm.

Klein e Libardi (2002) classificam os poros de acordo com a tensão ou sucção de água no solo (módulo do potencial matricial). Portanto, segundo essa classificação, os macroporos são poros com diâmetro maior que 0,05 mm, perdendo água quando submetidos a tensões menores que 6 kPa; os microporos, aqueles com diâmetro entre 0,05 e 0,0002 mm, esvaziam-se a tensões entre 6 e 1500 kPa; e uma terceira classe, os criptoporos, seriam os poros com diâmetro menor que 0,0002 mm, os quais perdem água somente a tensões maiores que 1500 kPa.

Segundo Othmer *et al.* (1991), os poros do solo podem ser avaliados considerando-se que respeitem uma distribuição bimodal, sendo eles classificados em poros inter-agregados e poros intra-agregados. Os inter-agregados são assim caracterizados por serem rapidamente esvaziados com boas condições de drenagem interna do solo. Incluem-se aqui os macroporos que retêm água a baixas sucções. Tais poros apresentam também, como função básica, a aeração das raízes das plantas e dos demais organismos do solo. Os poros intra-agregados, por sua vez, são caracterizados por apresentar um esvaziamento bem mais lento, proporcionando condução de água no solo (percolação) também mais lenta. Incluem-se aqui os microporos. São poros responsáveis pela retenção da água no solo, que pode ser disponibilizada aos vegetais e aos outros organismos do solo durante os períodos sem molhamento (Othmer *et al.*, 1991).

Em vista das diversas classificações existentes, observa-se uma variação entre os limites de uma classe e outra, não havendo uma padronização na classificação dos diâmetros dos poros. No entanto, enfatiza-se que a distribuição do tamanho dos poros no volume total dos vazios influi diretamente no comportamento físico-hídrico do solo, como na sua permeabilidade, processos de infiltração e redistribuição, capacidade de retenção de água e ar, e conseqüentemente, em sua potencialidade agrícola (Fidalski, 2004).

### **3.1.4 – Capacidade de Campo (CC)**

Pode-se dizer que há dois tipos de forças que atuam sobre a umidade do solo: as positivas, que são aquelas que realçam a afinidade do solo para com a água,

responsáveis pela retenção da água em sua matriz, como as forças de adesão e tensão superficial; e as negativas, que são as forças responsáveis pela movimentação da água no espaço poroso do solo, incluindo aqui, como exemplo, a ação da pressão e gravidade, a respiração das raízes ativas das plantas e a demanda evaporativa da atmosfera. Portanto, em um dado instante, o índice de umidade do solo é o resultado líquido dessas forças positivas e negativas.

Segundo Veihmeyer e Hendrickson (1931), a capacidade de campo pode ser definida como sendo “a quantidade de água retida no solo após o excesso de água ter drenado e a sua taxa de movimento ter praticamente cessado, o que geralmente ocorre dois ou três dias após uma chuva ou irrigação em solos permeáveis de estrutura e textura uniforme”.

Hillel (1980) define a capacidade de campo como sendo o teor de água remanescente na zona de drenagem, depois de ter o escoamento se tornado igual a zero. No entanto, nas determinações de campo, estudos mostram que, nas relações entre conteúdo de umidade e tempo, não existe um tempo fixo para o solo atingir uma taxa de drenagem desprezível (Hadas, 1973). Quando um solo tem seu perfil inteiramente saturado e é permitido drenar livremente sob a ação da gravidade e, ainda, não há perda de água por evaporação e transpiração vegetal, depois de um determinado tempo, o índice de umidade do solo aproxima-se do nível de equilíbrio ou com taxa de drenagem desprezível. Contudo a maioria dos solos naturais não possui muito bem definida a umidade na capacidade de campo. Alguns continuam a drenar por longo período de tempo, podendo chegar a muitos dias ou dezenas de dias para atingir a taxa de drenagem que seja desprezível, como é o caso dos vários solos argilosos (Hillel, 1980; Reichardt, 1988).

O conceito de capacidade de campo pressupõe condições de umidade estática e representa um ponto de equilíbrio com relação ao conteúdo de água na drenagem interna do solo. Entretanto, por razões práticas, esse conceito, ainda que impreciso, é muito útil na gestão da água do solo. Portanto, a capacidade de campo é o índice de umidade que determinado solo alcança e mantém, logo após ser inundado (ou fartamente irrigado) e deixado drenar livremente sem a extração por meio da evapotranspiração. Ou seja, é o limite superior do índice de umidade que um solo pode sustentar quando todos os macroporos ou poros de transmissão forem drenados. Solos de textura arenosa adaptam-se ao conceito proposto de capacidade de campo com mais exatidão, pois a condutividade hidráulica não saturada decresce mais intensamente, em

relação aos solos de textura mais fina, com a diminuição da umidade do solo, a partir da umidade de saturação, tornando o fluxo muito pequeno rapidamente, em questão de poucas horas. Essa umidade na capacidade de campo, supostamente agora não mais passível de ser drenada, corresponderia, então, ao limite superior de umidade disponível no solo para uso vegetal.

Assim, é evidente que a capacidade de campo pode ser influenciada por diversos fatores, como textura e estrutura do solo, teor de matéria orgânica, heterogeneidade textural e estrutural dos horizontes pedogenéticos, bem como pelo teor inicial de umidade no solo e lâmina d'água aplicada (Poulovassilis, 1983; Boédts e Verheye, 1985).

Normalmente os procedimentos para a determinação da capacidade de campo são realizados através de métodos indiretos, utilizando medições em laboratório feitas em amostras, ou ainda aplicando pedofunções. Como método direto, a determinação da umidade na capacidade de campo é realizada *in situ*, o que obviamente é preferível e também mais preciso (Reichardt, 1988).

A determinação da capacidade de campo pelo método direto é realizada *in situ*, segundo preconizado pela Embrapa (1997). É feita em um tabuleiro de 1,0 m x 1,0 m, com cerca de 25 cm de altura, onde se aplica uma lâmina de água a fim de saturar o perfil de solo até a profundidade desejada. Essa lâmina é obtida pela diferença entre a porosidade e a umidade inicial integrada ao longo do perfil. No que diz respeito às condições iniciais do solo, Hillel (1980) sugere que, quanto mais úmido inicialmente estiver o solo e quanto maior for a lâmina de molhamento, mais lenta será a taxa de redistribuição e maior deverá ser a capacidade de campo. Por essa razão, Ottoni Filho (2003) recomenda a realização do teste *in situ* em solos secos, em adição ao fato de que, no período seco, é menor a possibilidade de ocorrência de chuvas. A umidade supostamente estabilizada no tempo correspondente de drenagem interna representa a capacidade de campo do solo nos diversos pontos do perfil umedecido. Normalmente, considera-se o tempo de 2 a 3 dias para essa pseudo estabilização da drenagem interna.

Em laboratório, a capacidade de campo tem sido associada a uma dada sucção de água, geralmente 0,033, 0,010 e 0,006 MPa, sendo comumente o primeiro valor adotado para solos argilosos (Oliveira *et al.*, 2002; Ruiz *et al.*, 2003; Reichardt e Timm, 2004) e os outros dois para solos arenosos (Cirino e Guerra, 1994; Tormena *et al.*, 1998; Giarola *et al.*, 2002; Souza *et al.*, 2002; Araújo *et al.*, 2004; Leão *et al.*, 2004; Reichardt e Timm, 2004). Cavazza (1973) questiona a validade desses métodos, uma vez que a

capacidade de campo não é um valor de equilíbrio, mas um valor relacionado à drenagem interna do solo, quando passa a existir uma condutividade hidráulica muito baixa.

As pedofunções são equações matemáticas que visam estimar, a partir de dados existentes de solos, outras características ou propriedades correlacionadas de difícil mensuração ou de obtenção mais cara (Bouma, 1989), sendo recentemente muito utilizadas na predição de propriedades hídricas do solo e de susceptibilidade do solo a erosão. Nesse contexto, é possível, então, estimar a capacidade de campo a partir de outras variáveis, como, por exemplo, algumas propriedades físicas ou químicas do solo (textura, microporosidade, densidade do solo, matéria orgânica, entre outras), que são mais facilmente e usualmente obtidas do que a própria capacidade de campo, seja ela determinada por método direto ou de laboratório. Assim, diversos trabalhos foram desenvolvidos objetivando propor pedofunções para predição, tanto do conteúdo de água retida pelo solo na tensão equivalente à capacidade de campo (Saxton *et al.*, 1986; Giarola *et al.*, 2002; Macedo *et al.*, 2002), quanto daquele referente à capacidade de campo *in situ* (método direto) (Thurler, 2000; Macedo *et al.*, 2002).

### **3.1.5 – Ponto de Murcha Permanente (PMP)**

Foi definido, originalmente, como sendo o teor de umidade do solo em que a planta murcha e não consegue retornar a sua turgescência natural quando colocada a uma atmosfera saturada de vapor durante 12 horas (Veihmeyer e Hendrickson, 1949). Seria conceitualmente a umidade residual ou o limite inferior de água no solo onde a turgidez da planta é irreversível (Taiz e Zeiger, citados por Bezerra *et al.*, 1999). Quando a tensão de água no solo se torna alta, a planta é incapaz de absorver a água remanescente no solo em quantidades suficientes para atender sua demanda evapotranspirativa, resultando no murchamento permanente (Evans *et al.*, 1996). Portanto, esse limite do teor de umidade, onde a máxima sucção exercida pela raiz da planta é incapaz de suprir a demanda hídrica mínima de sobrevivência vegetal, é atingido pelo efeito integrado das condições de planta e atmosféricas (Boedt e Verheye, 1985). Mesmo com essas considerações, o teor de umidade no ponto de murcha permanente é comumente considerado como uma característica estática do solo (Reichardt, 1988).

Considera-se que a tensão associada à umidade no ponto de murcha permanente seja a de 1500 kPa, sendo a mesma empregada como um método físico e indireto para a determinação dessa variável hídrica do solo (Silva *et al.*, 1994; Souza *et al.*, 2002; Araujo *et al.*, 2004; Reichardt e Timm, 2004). É obtida pela remoção da umidade de amostras preferencialmente indeformadas do solo em câmaras de tensão (Richards e Weaver, 1944), sendo este o protocolo mais utilizado na determinação do PMP.

Outro método existente é o fisiológico ou método direto (Bezerra *et al.*, 1999) que é realizado a partir de plantas indicadoras como o girassol e o feijão caupi. Desse modo, o PMP é determinado pela medição da umidade do solo quando uma planta indicadora murcha e não mais recupera o turgor. Da mesma forma que a capacidade de campo, o ponto de murcha permanente é um índice subjetivo, pois não considera o tipo de planta, a profundidade de extração de água e as condições climáticas.

### **3.1.6 - Velocidade de Infiltração Básica (VIB)**

A infiltração pode ser definida como sendo o movimento descendente de entrada de água no perfil de solo. Reichardt (1996) definiu-a como a passagem da água pela interface atmosfera-solo, movendo-se verticalmente através do espaço poroso do solo sob a ação da gravidade e pressão até atingir uma camada suporte que a retém, formando, então, o perfil umedecido de água do solo.

A velocidade ou taxa de infiltração é definida quantitativamente como sendo o volume de água que penetra na superfície do solo por unidade de área, por unidade de tempo. Inicialmente, as taxas de infiltração no solo são altas tendendo a decrescer com o tempo, não sendo um processo constante de decréscimo. Tal diminuição é decorrente do decrescente gradiente hídrico no solo ao longo do tempo, o que é associado à profundidade da frente de molhamento durante a infiltração. As forças que controlam esse movimento descendente da água no solo são basicamente decorrentes dos gradientes dos potenciais matricial e gravitacional. Geralmente, no início do processo, prevalece o potencial matricial, referentes às forças exercidas pela matriz do solo, e, ao longo do tempo, progressivamente com o aumento do umedecimento do perfil, destaca-se o potencial gravitacional (Germann, 1983) e tende-se a anular o gradiente de pressão. Portanto, quanto maior o gradiente hidráulico no solo, maior será a taxa de infiltração. Esse fato pode ser verificado em solos com baixos teores de umidade no início da

infiltração, que apresentam maiores gradientes que os solos úmidos e, portanto, maior capacidade de infiltração.

Sendo assim, a velocidade de infiltração é um processo desacelerado com o aumento do tempo de aplicação de água, seja por chuva ou irrigação, quando essas taxas tendem a atingir valores cada vez menores devido ao umedecimento do perfil e à diminuição do gradiente hidráulico, como relatado anteriormente, tendendo a atingir um valor quase constante. Nesse ponto, onde a variação na taxa de infiltração é praticamente nula ou desprezível, a taxa estabilizada é chamada de velocidade de infiltração básica (VIB) (Bernardo, 2006). A VIB pode ser entendida como uma condição estável da taxa de infiltração no tempo, decorrente da diminuição do gradiente hidráulico do solo à medida que a frente de molhamento avança durante a infiltração, tendendo, com o tempo, esse gradiente a se tornar unitário, que é o gradiente devido à gravidade.

O conhecimento do processo da infiltração e da quantificação da taxa de infiltração de água no solo tem utilidade em diversas áreas. Na agricultura, por exemplo, ele torna possível determinar o balanço hídrico na zona radicular das plantas e o deflúvio superficial de perdas, principalmente em projetos de irrigação. Nesses estudos, o conhecimento da infiltrabilidade do solo é aplicado no projeto dos equipamentos ou das conformações topográficas (sulcos, bacias, entre outras) de aplicação hídrica. Assim, o conhecimento desse processo e das suas relações com as propriedades do solo é de fundamental importância para o eficiente manejo do solo e da água nos cultivos agrícolas, no dimensionamento de reservatórios e em estruturas de controle de erosão e inundação (Reichardt *et al.*, 1996; Pruski *et al.*, 2003).

Em estudos hidrológicos, o processo de infiltração, associado aos processos de retenção e percolação, torna-se importante, pois atua na manutenção da bacia hidrográfica como um reservatório dinâmico, permitindo o armazenamento e a movimentação subterrânea da água.

Visando entender a resposta hidrológica dos solos em diferentes tipos de uso e cobertura de uma topossequência selecionada na bacia do Bonfim, região serrana do Rio de Janeiro, Lawall *et al.* (2009) verificaram que a VIB teve uma redução decrescente de valores correspondentemente aos usos de floresta, agricultura e pastagem, seguindo essa ordem. Segundo os autores, os resultados observados da VIB nas florestas foram de 2 a 15 vezes maiores que nas áreas agrícolas, reforçando a idéia de que a cobertura vegetal

influencia de maneira positiva na capacidade de infiltração do solo (Lipiec *et al.*, 2006; Jordan *et al.*, 2008).

A infiltração, segundo Walker e Skogerboe (1987) e Frizzone (1993), é um dos processos mais difíceis de se determinar no campo por representar um processo complexo e de grande variabilidade espacial e temporal. Depende, além das propriedades físicas do solo como textura e estrutura (Bertoni e Lombardi Neto, 1990; Cavalieri *et al.*, 2009), permeabilidade e condutividade hidráulica, também das condições existentes no momento em que se efetua sua medição, como compactação e selamento superficial (Reichert *et al.*, 1992), teor inicial de umidade (Araújo Filho e Ribeiro, 1996), cobertura do solo, quantidade de matéria orgânica e carga hidráulica (Roth *et al.*, 1985; Sidiras e Roth, 1987).

De acordo com Pruski (2003), toda medição das taxas de infiltração de água no solo deve vir acompanhada da determinação das condições iniciais de umidade do solo, devido à influência marcante desse fator. Um solo, por exemplo, com teores de umidade inicial alto, apresenta gradientes hidráulicos mais baixos e conseqüentemente taxas de infiltração mais baixas.

Silva e Kato (1997) relacionaram a capacidade de infiltração com as propriedades físicas do solo e concluíram que qualquer modificação na estrutura do solo como o manejo inadequado, ocasionando compactação e diminuição no tamanho dos poros, geralmente conduzirá a diminuição da taxa de infiltração.

Devido à grande variabilidade espacial e temporal dos solos, citada anteriormente, os valores encontrados de medição direta das taxas de infiltração no campo são sempre uma estimativa da realidade, não podendo ser extrapolados para grandes áreas do mesmo solo, ou para diferentes períodos. Recomenda-se, assim, que a determinação da VIB seja executada *in situ*, da forma mais representativa possível, existindo para isso vários métodos. Dentre eles, os mais usuais são: infiltrômetros de duplo ou simples anel (Bouwer, 1986; Embrapa, 1997), infiltrômetro de tensão (Borges *et al.*, 1999), infiltrômetro de aspersão ou simulador de chuva (Alves Sobrinho, 1997), e o método do infiltrômetro de sulco (Bernardo, 2006).

Métodos que não consideram o impacto da gota da chuva podem superestimar a infiltração da água, dificultando o dimensionamento de projetos conservacionistas e gerando problemas de erosão do solo. Em geral, quando se utiliza o infiltrômetro de aspersão para determinação da infiltração de água no solo, são menores os valores estimados para a taxa de infiltração estável, em relação aos obtidos com outros métodos

(Pott e De Maria, 2003). Devido a facilidade de execução, pode-se dizer que o método mais freqüente de determinação da infiltração é o método do anel.

Como grandezas que mais dizem respeito aos processos dinâmicos dos vazios do solo, têm-se a condutividade hidráulica e a taxa de infiltração básica (VIB) do perfil de solo. Como é sabido, essas duas grandezas se relacionam, o que faz com que os infiltrômetros sejam também instrumentos corriqueiros de medida de condutividade hidráulica a nível de campo (Reynolds *et al.*, 2002; Bodhinayake *et al.*, 2004).

### **3.1.7 – Água Disponível**

A água disponível do solo representa o teor de umidade passível de ser utilizada para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Assim, segundo Veihmeyer e Hendrickson (1927), o conceito de água disponível foi introduzido considerando-se um limite superior e um limite inferior de disponibilidade de água às plantas. Definiram-se, portanto, como limite superior e inferior, a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP), respectivamente (Boedt e Verheyer, 1985), vistos nos tópicos anteriores.

A água disponível às culturas nesse intervalo depende de maneira distinta da textura e da estrutura do solo. A estrutura participa preponderantemente dessa dependência quando se tem tensões mais baixas de água na matriz porosa do solo, normalmente entre 0 e 0,1 MPa. Nesses níveis de tensão, a água é retida principalmente pelo efeito capilar. Porém, quando se tem tensões mais altas, o efeito capilar torna-se menos importante, e a retenção da água no solo deve-se, principalmente, ao processo da adsorção, sendo esta menos influenciada pela estrutura e mais pela textura e superfície do material sólido do solo.

Salter e Willians (1965) observaram que, em solos de textura mais argilosa, o aumento da capacidade de campo não foi acompanhado por um aumento equivalente no ponto de murcha permanente. Uma máxima diferença entre esses limites ocorreu geralmente em solos de textura média. Por essa razão, os autores observaram que, normalmente, a água disponível dos solos aumentou a partir de solos de textura mais arenosa, para um máximo nos solos de textura média, e diminuiu nos de textura mais argilosa.

Letey (1985), Silva e Kay (1997) e Tormena *et al.* (1998) incorporaram, ao conceito de água disponível, outras propriedades físicas do solo, que afetam diretamente

o crescimento das plantas, tais como: adequado suprimento de oxigênio, temperatura, resistência mecânica à penetração e a própria existência de água no solo.

Da mesma forma, Ritchie (1981), Ratliff *et al.* (1983) e Carlesso (1995) contestaram a maneira tradicional de avaliar a água disponível no solo, argumentando que o crescimento de plantas pode ser retardado antes que o ponto de murcha seja atingido, embora a extração de água pelas raízes possa continuar a tensões acima de 1500 kPa. Além disso, as plantas podem extrair água do solo mesmo quando a umidade estiver acima da capacidade de campo. Segundo Ritchie (1981), a definição laboratorial da água disponível às plantas, com amostras deformadas ou indeformadas, está sujeita a sérios inconvenientes, indicando que os limites de disponibilidade de água às plantas devem ser avaliados a campo, considerando as condições de solo e de cultivo. É lembrado aqui, então, da proposta de determinar esses limites superior e inferior de água no solo, adequados a uma satisfatória interação solo-planta, denominada de intervalo hídrico ótimo, abordada em item anterior.

### **3.1.8 – Aeração do Solo**

Como já visto, o ar e a água no solo podem ser extremamente variáveis no espaço e no tempo. Suas proporções e seus regimes determinam, em grau elevado, a adequabilidade do solo para o crescimento vegetal. O processo de aeração é um importante determinante na produtividade dos solos à agricultura, devido às trocas gasosas pelas raízes em função da correspondente respiração. Além disso, em solos mal aerados, resultado da drenagem deficiente ou compactação do solo, o desenvolvimento das culturas é inibido por ser um processo impeditivo da melhor distribuição do sistema radicular das plantas no perfil do solo.

O transporte de gases no solo é governado, principalmente, por dois processos: a convecção e a difusão (Hillel, 1998). Assim, os gases podem se mover tanto na fração gasosa do solo, isto é, principalmente nos poros responsáveis pela sua drenagem interna (macroporos), oriundos da interconectividade desses poros com a atmosfera, bem como sob a forma dissolvida através da fase líquida. Cada um desses processos ocorre em termos de uma taxa linear, sendo o fluxo proporcional à força de movimento. A taxa de transferência de gases na fração gasosa é, geralmente, muito maior que na fração líquida. Portanto, a aeração do solo é grandemente dependente do volume de poros ocupados por ar, sua geometria e interconectividade.

No caso da convecção, a força de movimento consiste na existência de um gradiente de pressão total do gás e resulta em um fluxo de ar de massa constante da zona de maior pressão para uma de menor pressão. As diferenças de pressão do ar no solo, induzindo o fluxo para dentro ou fora do solo, podem ser causada, portanto, pela mudança de pressão e também por um gradiente de temperatura. Alguns fenômenos adicionais podem afetar a pressão de ar no solo, como, por exemplo: a penetração de água durante o processo de infiltração, causando um deslocamento e remoção do ar presente; a flutuação do lençol freático, impulsionando o ar para cima ou para baixo; e a extração da água do solo pelas raízes das plantas criando um gradiente de pressão.

O fluxo convectivo de ar no solo é similar ao fluxo de água em algumas conexões do seu espaço poroso e diferentes em outras. A similaridade consiste no fato de que os fluxos de ambos os fluidos são fortemente impulsionados e proporcionais ao gradiente de pressão. A diferença está na propriedade da compressibilidade dos dois fluidos, sendo o ar altamente compressível, de maneira que sua densidade e viscosidade são fortemente dependentes da pressão, bem com da temperatura.

Como já abordado, no sistema trifásico do solo, os dois fluidos, água e ar, coexistem ocupando diferentes porções do espaço poroso, sendo o ar geralmente predominante nos poros maiores. Por essa razão, o solo apresenta, para os dois fluidos, diferentes funções na condutividade, que, por sua vez, está na dependência do diâmetro, tortuosidade e interconectividade dos poros ocupados por cada um.

Apesar das diferenças entre o fluxo de água e o fluxo de ar, o fluxo convectivo de ar no solo pode ser formulado como uma equação análoga a equação de Darcy para o fluxo de água, como mostra a Equação 3.5:

$$J_c = - \left( \frac{k}{\mu} \right) \left( \frac{dP}{dx} \right) \quad (3.5)$$

em que  $J_c$  é a densidade de fluxo convectivo,  $k$  é a permeabilidade do espaço poroso ao ar,  $\mu$  é a viscosidade do ar, e  $dP/dx$  é o gradiente de pressão.

No caso da difusão, o que rege o movimento é um gradiente de pressão parcial, denominado de gradiente de concentração. Nesse caso, o movimento dá-se por diferença de concentração do gás na mistura do ar, sendo esse, considerado um importante processo responsável pelo fluxo de componentes gasosos no solo. Assim, o

fluxo de um gás por difusão ( $J_d$ ) é dado pela equação de Fick (Equação 3.6), como mostrada abaixo:

$$J_d = -D_o \frac{\partial P}{\partial x} = -D_o \frac{\partial C}{\partial x} \quad (3.6)$$

em que  $D_o$  é o coeficiente de difusão do gás na mistura, função da temperatura e independente de  $C$ , podendo ser considerado constante em caso de fluxo isotérmico;  $P$  é a pressão parcial do gás;  $C$  é a concentração do gás na mistura; e  $D'_o = a.D_o$ , se  $P = a.C$ , sendo  $a$  uma constante de proporcionalidade dependente do gás considerado. Essa equação reflete a quantidade difundida de um gás em relação ao seu gradiente de pressão parcial, que, por sua vez, é proporcional a sua concentração. Tais pressões parciais podem variar bastante, gerando enormes gradientes de pressão parcial, levando a fluxos consideráveis (Reichardt e Timm, 2004).

A permeabilidade do ar, por outro lado, é o coeficiente que governa o fluxo convectivo do ar no solo, e está relacionado ao tamanho e continuidade da porosidade de aeração do solo. A permeabilidade do ar não é apenas importante para a avaliação da aeração do solo, mas também é um indicador que revela as mudanças na eficiência e funcionalidade do sistema poroso, conforme a sua deformação (Peth e Horn, 2006). Vários autores encontraram que a permeabilidade do ar é dominada pela geometria e pelo grau de saturação dos macroporos (Kirby, 1991; Chief *et al.*, 2006).

Em muitos solos, a proporção do volume das três fases constituintes (sólida, líquida e gasosa) está continuamente mudando através de sucessivos processos de umedecimento e secagem, expansão e contração das argilas, manejo da agricultura e compactação, agregação e dispersão, entre outros. Especificamente, os fluidos água e ar ocupam juntamente e continuamente o espaço poroso do solo, sendo que o aumento do volume de uma dessas frações reflete numa diminuição do volume da outra.

A Equação 3.7 representa o volume ocupado por ar ( $f_a$ ), sendo a diferença entre a porosidade total (PT) e o volume ocupado por água ( $\theta$ ), sendo o volume de ar dependente do conteúdo de água no solo:

$$f_a = PT - \theta \quad (3.7)$$

Por haver essa dependência entre ar e água,  $f_a$  pode, portanto, ser usado como um índice de aeração por difusão quando utilizado em conjunto com um dado valor de referência de umidade. O valor de umidade usado, geralmente, para esse propósito é a umidade na capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ). Dessa forma, o SCFHS utiliza a Equação 3.7 para definir um índice de aeração do solo quando  $\theta$  toma o valor de  $\theta_{cc}$ . Essa mesma forma de aplicar a Equação 3.7 como um índice de aeração do solo, foi preconizada por Hillel (1998) e utilizada na aplicação do índice IHO, visto no subitem 2.3.1.1.

Portanto, segundo Thomasson (1978) e Ottoni Filho (2003), o ar disponível é considerado como sendo a diferença entre a porosidade total e a retenção volumétrica de água a uma determinada tensão correspondente à capacidade de campo. Assim, solos com baixo ar disponível têm tendência nos períodos mais úmidos de se manter com umidade próxima à porosidade total e, portanto, tendem a conter baixos teores de ar por períodos prolongados, o que é bastante deletério à saúde vegetal.

A utilização desse índice de ar disponível justifica-se por essa característica do solo estar sujeita a mudanças contínuas por diversos fatores. Em primeiro lugar, o ar disponível do solo depende de sua textura. Em solos arenosos, por exemplo, a proporção pode ser da ordem de 25% aproximadamente. Em solos siltosos, é da ordem de 15 a 20 % e em solos argilosos, que tendem a reter mais água, essa característica pode chegar a diminuir abaixo dos 10% do volume total de solo.

Em solos de textura mais fina, a estrutura dos vazios atua mais expressivamente que a textura do solo na capacidade de aeração. Solos bem agregados, por exemplo, com macroagregados de diâmetro da ordem de 5 mm ou mais, geralmente têm-se um considerável volume de poros macroscópicos (interagregados) que drenam rapidamente e permanecem com ar ocupado praticamente todo o tempo. Tais solos tendem a apresentar disponibilidade de ar superior a 20%. Em situações em que a fração argila é dispersa, e quando os agregados são quebrados por processos físico-químicos ou forças mecânicas, os poros macroscópicos tendem a diminuir ou até mesmo desaparecer, chegando a apresentar ar disponível em torno de 5 % (Hillel, 1998).

Na tentativa de investigar se existia um valor limite mínimo da capacidade de aeração no campo, requerida pela demanda de aeração do solo limitante à respiração radicular e ao crescimento da planta, Vomocil e Flocker (1961) encontraram resultados de ar disponível que variaram de 5 a 20%, estabelecendo uma média em torno de 10%.

O objetivo de se adotar o uso da capacidade de ar disponível como um índice de aeração do solo no SCFHS é que, em princípio, a taxa de troca do ar do solo é um

melhor conceito que simplesmente o conteúdo de ar no solo. Mesmo em elevados valores de umidade, os solos frequentemente contêm cavidades isoladas de ar oclusos que, embora façam parte do volume de poros ocupados por ar, não contribui nas trocas gasosas (Fayer e Hillel, 1986). No caso de haver forte compactação de uma fina camada superficial ou haver empoçamento na superfície, limitando a aeração do perfil de solo, mesmo que haja consideráveis poros ocupados com ar, é necessária a caracterização da aeração em termos dinâmicos. Dessa forma, o SCFHS leva em consideração um parâmetro importante e que, segundo Ottoni Filho (2003), expressa também, de maneira parcial e indireta, a aeração do solo por convecção, que é a taxa de infiltração básica (VIB).

A VIB é utilizada de maneira indireta no SCFHS, sendo uma medida qualitativa da capacidade do solo em conduzir ar por convecção. Mesmo apresentando quantidades satisfatórias de ar em seu perfil, alguns solos podem apresentar dificuldades à troca desse ar com a atmosfera se seu perfil mais superficial for impermeável, seja através da compactação, do selamento da camada superficial, ou mesmo por motivos estruturais e morfológicos intrínsecos do perfil.

A VIB pode ser considerada uma medida indireta da condutividade hidráulica saturada do solo. A condutividade hidráulica saturada, por sua vez, não depende somente da porosidade total, mas também e primariamente do tamanho e conectividade dos macroporos, como dito anteriormente. Por exemplo, um solo arenoso, com concentração maior de poros grandes, pode ter condutividade muito maior que um solo argiloso, mesmo este último apresentando porosidade total maior.

Como já referido, o fluxo convectivo de ar no solo ocorre de forma semelhante ao da água, com o fluxo ocorrendo predominantemente nos poros grandes, de acordo com a Lei de Poiseuille (Hillel, 1998; Blanco-Canqui *et al.*, 2007). A água e o ar coexistem no solo ocupando diferentes proporções do espaço poroso. Cada fluido ocupa um conjunto de poros com diâmetros efetivos e tortuosidades diferentes. O fluxo convectivo de ar ocorre de forma preferencial através de macroporos grandes e contínuos (Iversen *et al.*, 2003) da mesma forma que o fluxo hídrico saturado do solo. Isso justifica, portanto, o fato de se utilizar a VIB como uma medida qualitativa indireta do potencial aerador do solo por convecção.

O teor ar do solo é determinado, em grande parte, pelo montante de água no solo, sendo encontrado nos poros não ocupados pela água. Após uma chuva ou irrigação, por exemplo, os poros maiores (macroporos) inicialmente drenam a água do

solo, seguidos daqueles de tamanho médio, à medida que o líquido é removido por evapotranspiração ou percolação. Assim, o ar ocupa inicialmente os grandes poros e, à medida que o solo seca, os de tamanho intermediário vão se aerando, ainda que de forma mais lenta. Isto explica a tendência dos solos com elevada proporção de microporos possuírem aeração deficiente. Por ser a água o elemento dominante nesses poros em regiões de clima úmido, é diminuto o nível de difusão dos gases e de convecção do ar que penetra e sai desses solos, o que mantém reduzidas as trocas gasosas tornando-se uma condição insatisfatória para o bom desenvolvimento da planta.

### **3.2 – Sistema de Classificação Físico-Hídrico de Solos (SCFHS)**

#### **3.2.1 – Evolução do SCFHS**

O SCFHS constitui-se num recente sistema de classificação de solos, diferentemente dos sistemas encontrados atualmente no Brasil e no mundo, por se fundamentar estritamente em atributos quantitativos de solos. Proposto por Ottoni Filho (2003), o sistema tem sido testado e avaliado desde então e tem-se mostrado uma ferramenta eficiente na identificação e quantificação dos atributos físico-hídricos em diferentes tipos de solos no estado do Rio de Janeiro. Além disso, futuramente poderá vir a ser também um potencial instrumento de manejo de solos, identificando fatores limitantes ao desenvolvimento das culturas agrícolas, no que tange às restrições de ar e água na rizosfera.

O primeiro trabalho experimental nessa linha foi realizado por Brito (2004), nos solos da microbacia do Córrego da Cachoeira, localizada no município de Paty do Alferes, RJ e com área de aproximadamente 11 km<sup>2</sup>, que foram classificados e mapeados segundo o SCFHS. Em sua primeira aplicação, o sistema mostrou claras diferenças e semelhanças entre os solos levantados na área de estudo em termos de seu potencial de aeração e disponibilidade hídrica para as plantas. Todavia, no mesmo trabalho, não havia sido bem definida uma sistemática metodológica para os trabalhos de levantamento de dados e também de mapeamento físico-hídrico.

Devido a algumas variáveis de entrada do sistema dependerem de testes hidrodinâmicos de campo, como a velocidade de infiltração básica e a umidade do solo na capacidade de campo, houve a necessidade de se padronizar os trabalhos de levantamento dos dados de entrada do sistema.

Baseando-se nisto e motivada pela necessidade decorrente de atualização e aprimoramento do SCFHS, Ottoni(2005) produziu o segundo trabalho experimental nessa linha, com a classificação e mapeamento dos solos de uma sub-bacia do rio São Domingos, no município de São José do Ubá, RJ, com área de aproximadamente 13 km<sup>2</sup>. Em seu trabalho, Ottoni (2005) visou sistematizar a aplicação da metodologia do sistema de classificação físico-hídrica de solos ao nível dos testes de campo e também de laboratório, estabelecendo um protocolo metodológico para o levantamento dos dados. Além disso, a autora expandiu a metodologia de classificação físico-hídrica de solos quanto às classes e ordens truncadas e ao mapeamento. Neste caso, além do sistema compor 9 ordens e 27 classes principais, passa agora a ter também ordens e classes diferenciadas para os solos com impedimento por rocha (ou transição para rocha) ou lençol freático. Entendeu-se que essa expansão fosse importante, já que a presença de camada R ou lençol freático alto tem influência marcante no desempenho físico-hídrico do perfil. Dessa forma, o SCFHS passou a ter mais 9 ordens e 27 classes de solos truncado por rocha e 9 ordens e 27 classes truncadas por freático.

Em resumo, o sistema expandido passou a ter então 9 ordens (e 27 classes) principais, 18 ordens (e 54 classes) truncadas e uma ordem (com uma classe) de solos alagados.

Como seqüência de trabalhos nessa linha, a presente dissertação entra aqui como complemento dos trabalhos realizados no âmbito do SCFHS, visando avaliá-lo e validá-lo em novos solos. Como dito anteriormente, esta dissertação visa ainda complementar o trabalho de Ottoni (2005) quanto à metodologia do mapeamento físico-hídrico, explicitando a definição de todas as cores e símbolos possíveis de representação das unidades de mapeamento, consolidando assim a metodologia do SCFHS.

### **3.2.2 – Classificação Físico-Hídrica de Solos**

O Sistema de Classificação Físico-Hídrica de Solos – SCFHS (Ottoni Filho, 2003) agrupa os solos segundo sua capacidade de aerar e hidratar as rizosferas, num perfil de até 70 cm de profundidade. Essa capacidade de aeração e hidratação diz respeito ao potencial que o solo possui, respectivamente, de troca de ar com a atmosfera e de armazenamento de água para uso vegetal. Baseia-se nas seguintes propriedades do solo: porosidade total (PT); capacidade de campo volumétrica (CC); ponto de murcha

permanente volumétrico (PMP) e velocidade de infiltração básica (VIB). Com esses dados, são realizadas duas classificações para um determinado solo: a) a classificação padrão, que avalia os atributos físico-hídricos para a profundidade máxima de 70 cm de perfil; e b) a classificação de superfície, que avalia os atributos físico-hídricos para a profundidade máxima de 30 cm de perfil. O interesse dessa última seria para os casos envolvendo cultivos com zona radicular rasa, pois 30 cm é a profundidade onde se concentram a maior parte das raízes ativas dessas plantas, responsáveis pela absorção de nutrientes e água do solo.

O protocolo metodológico para determinação das propriedades de solos citadas acima está descrito no capítulo posterior. Tal protocolo seguiu os trabalhos de Ottoni Filho (2003), Brito (2004) e Ottoni (2005).

A coleta das amostras de solo deve ser feita no mesmo local dos testes de campo para minimizar os efeitos da variabilidade espacial dos atributos do solo. Quando há restrições ou truncamentos relevantes no perfil (impedimento por rocha ou pela presença de lençol freático), a notação das classificações físico-hídricas padrão e de superfície deve ser acrescida do símbolo P, para impedimento ou truncamento decorrente de presença de lençol freático alto, ou do símbolo R para impedimento por rocha. Por esse motivo, se a profundidade  $h$  do perfil até o lençol freático e/ou a profundidade  $H$  até a transição para a camada R forem inferiores a 70 cm, as propriedades (exceto a VIB) devem ser determinadas até a profundidade do impedimento, ou seja,  $L_1 = \min(h, H)$  para a classificação padrão ou até  $L_2 = \min(h, H, 30 \text{ cm})$  para a classificação de superfície.

De acordo com Ottoni Filho (2003), são consideradas as médias dos valores das três propriedades, PT, CC e PMP nos horizontes ou seções dos perfis até a profundidade de 70 cm (ou  $L_1$ ) para a classificação padrão e de 30 cm (ou  $L_2$ ) para a de superfície. Para isso, sugere-se a seguinte aproximação, visando uma padronização para o cálculo da média ( $\bar{X}$ ) no perfil, correspondente à variável X (Equação 3.8):

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^N \frac{\Delta z_i \cdot X_i}{L} \quad (3.8)$$

onde  $X_i$  é o valor considerado para a variável X em cada uma das N faixas de profundidade  $\Delta z_i$ , dentro do perfil, sendo que o somatório dos  $\Delta z_i$ 's é igual a L, onde L é a profundidade do perfil ( $L = 70, 30, L_1$  ou  $L_2$ , conforme o caso). A partir daí, o ar

disponível (A) médio no perfil é calculado tirando-se a diferença entre as médias da PT e CC, conforme a Equação 3.9:

$$\bar{A} = \overline{PT} - \overline{CC} \quad (3.9)$$

enquanto que, para a água disponível (W), faz-se o cálculo pela diferença das médias de CC e PMP, segundo a Equação 3.10:

$$\bar{W} = \overline{CC} - \overline{PMP} \quad (3.10)$$

Finalmente, deve-se definir uma terceira variável, que é o volume estático (VE), determinado por meio da soma dos valores do ponto de murcha permanente (PMP) volumétrico e do volume unitário (por unidade de volume do solo) dos sólidos ou partículas (VS) (Ottoni Filho, 2003 e Brito, 2004). Logo,  $VE = PMP + VS$ . O valor VE é a fração volumétrica do solo que, normalmente, não engloba o volume dos fluxos de transferência de ar e água nos vazios, sendo  $A + W + VE = 1$  no perfil.

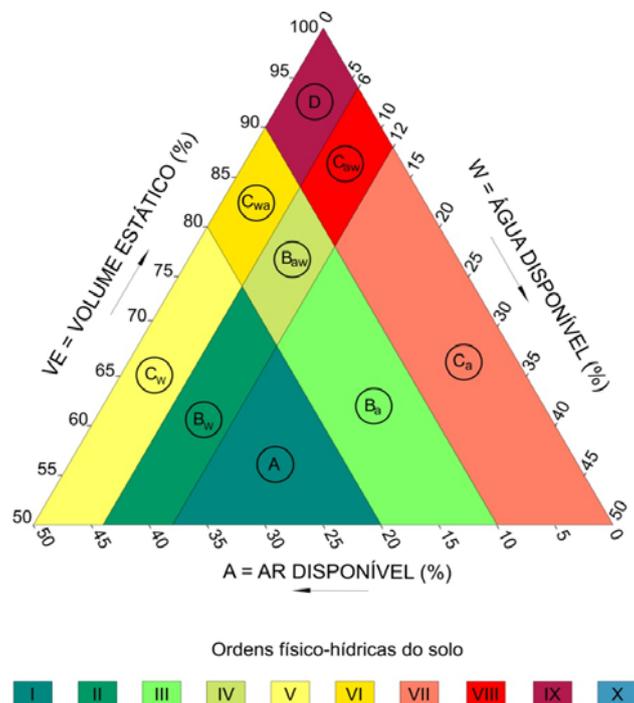
As partições do ar disponível, a água disponível e volume estático permitem que os solos sejam classificados em termos físico-hídricos a partir das classes de disponibilidade de ar e água. Tais classes correspondem a 9 sub-áreas específicas no triângulo da Figura 3.1 (denominado triângulo de disponibilidade de ar e água no solo), sendo definidas a partir das combinações possíveis envolvendo três faixas de variação (baixa, média, alta) nas escalas de A e W. Segundo o parágrafo anterior, um dado perfil do solo será sempre representado por um ponto na Figura 3.1, considerando as seguintes faixas para água disponível: baixa ( $W < 6\%$ ); média ( $6 \leq W \leq 12\%$ ); alta ( $W > 12\%$ ). Relativamente ao ar disponível, definem-se as faixas: baixa ( $A < 10\%$ ); média ( $10 \leq A \leq 20\%$ ); alta ( $A > 20\%$ ). Ottoni Filho (2003) reconhece que esta definição de faixas para A e W é arbitrária, não devendo ser utilizada para compor regras gerais de aptidão agrícola.

Assim, segundo Ottoni (2003), nove classes de disponibilidade de ar e água são definidas, sendo elas: A; Bw; Ba; Baw; Cw; Ca; Cwa; Caw; D. As classes A e D representam os extremos da composição de faixas, apresentando ambos os valores altos e baixos, respectivamente, tanto para a escala de A como de W. De outro lado, há as classes designadas pelas letras B e C. Em ambos os casos, há subscritos (a, w) que, no caso da classe tipo B, indicam valores médios na variável respectiva (A, W). Já para a

classe do tipo C, os primeiros subscritos indicam valores baixos na variável correspondente e os segundos subscritos indicam valores médios. A falta do subscrito, tanto em B quanto em C, indica que a classe tem a variável correspondente na faixa de variação alta. Por exemplo, a classe Ca representa um solo que possui baixa disponibilidade de ar e alta disponibilidade de água. Já a classe Baw indica aqueles solos com disponibilidade média de ar e de água.

Para cada classe de disponibilidade de ar e água, existe uma ordem de disponibilidade correspondente (I a IX), sendo esta enumerada numa ordenação decrescente segundo os volumes de ar e água disponível. A Tabela 3.1 apresenta as classes de disponibilidade de ar e água e suas respectivas ordens de solo.

As ordens e classes de solo do sistema pretendem explicitar o potencial de hidratação e aeração dos perfis em relação à rizosfera. Quanto ao potencial de hidratação, assume-se que seja suficiente considerar as faixas de variação de W. Quanto à aeração, consideram-se, conjuntamente, as faixas de variação de A e da VIB, já que a velocidade de infiltração básica se correlaciona fortemente e é um indicador aproximado, com relação à condutividade hidráulica saturada do solo e a permeabilidade de ar nos macroporos, nas camadas mais superficiais do solo (Ottoni Filho, 2003; Chief *et al.*, 2006).



**Figura 3.1:** Triângulo de disponibilidade de ar e água no solo e respectivas ordens.

(Fonte: Ottoni Filho, 2003)

**Tabela 3.1:** Classes de disponibilidade de ar e água no solo (Fonte: Ottoni Filho, 2003).

Classificação quanto à disponibilidade de ar e água	Ar disponível	Água disponível	Classe de disponibilidade de ar e água	Ordem de disponibilidade de ar e água
solos com baixa restrição	alto (1)	alta (4)	A	I
solos com média restrição	alto	média (5)	Bw	II
	médio (2)	alta	Ba	III
	médio	média	Baw	IV
solos com alta restrição	alto	baixa (6)	Cw	V
	médio	baixa	Cwa	VI
	baixo (3)	alta	Ca	VII
	baixo	média	Caw	VIII
	baixo	baixa	D	IX

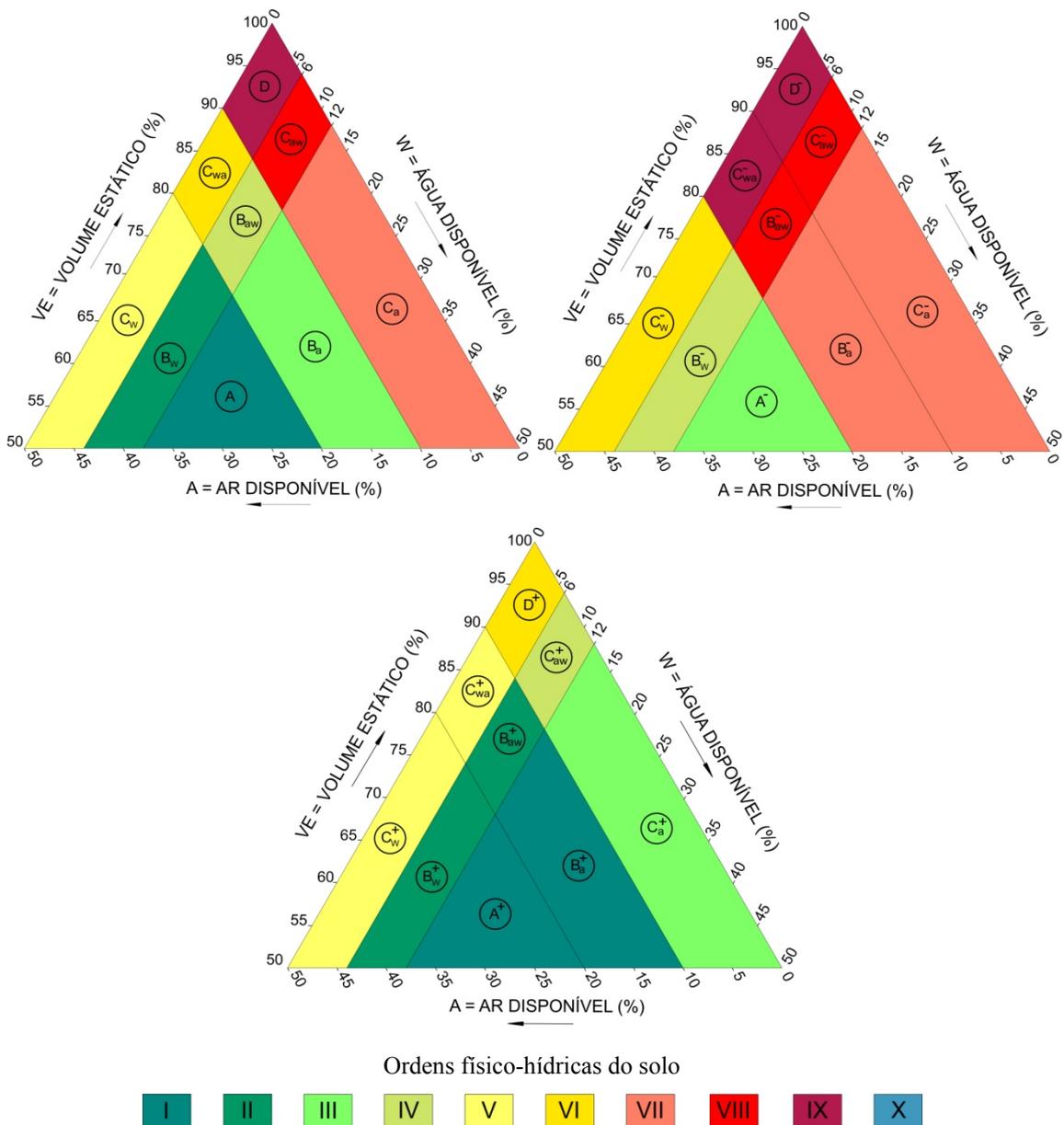
(1)  $A > 20\%$ ; (2)  $10 \leq A \leq 20\%$ ; (3)  $A < 10\%$ ; (4)  $W > 12\%$ ; (5)  $6 \leq W \leq 12\%$ ; (6)  $W < 6\%$ .

Ottoni Filho (2003) define as seguintes faixas de variação para a VIB: baixa ( $VIB < 2,0 \text{ cm h}^{-1}$ ); média ( $2,0 \leq VIB \leq 12,5 \text{ cm h}^{-1}$ ); alta ( $VIB > 12,5 \text{ cm h}^{-1}$ ). As três faixas de variação da aeração são definidas, como indicado no fim do parágrafo anterior, através das diversas combinações possíveis entre as faixas de A e da VIB (Tabela 3.2).

Como referência e para melhor entendimento da Tabela 3.2, o valor de VIB média ( $2,0 \text{ cm h}^{-1} \leq VIB \leq 12,5 \text{ cm h}^{-1}$ ) mantém o nível categórico (baixo, médio, alto) da disponibilidade de A como nível categórico do potencial de aeração. Por exemplo, um solo com alto valor de A e média VIB será considerado um solo de alta aeração. Entretanto, no caso dos valores de VIB serem baixos ( $VIB < 2,0 \text{ cm h}^{-1}$ ), esta VIB rebaixa o nível categórico da disponibilidade do ar (A) (se for possível, ou seja, se a classe de A for média ou alta) para definir a condição de aeração. Por outro lado, uma alta VIB promove a qualificação da aeração (se for possível, isto é, se A for baixa ou média). Portanto, o sistema prevê 27 classes principais de solo. Se um solo for de média VIB, as nove classes possíveis têm a mesma notação das classes de disponibilidade de ar e de água (Tabelas 3.1 e 3.2). Se o solo for de baixa ou de alta VIB, as nove classes correspondentes em cada caso recebem o sobrescrito – ou +, respectivamente. As combinações possíveis entre as três faixas de variação da aeração e da hidratação definem as nove ordens principais de solos do sistema, cada uma com três classes (Tabela 3.2): solos aerado-aquíferos (I); solos aerado-mesaquíferos (II); solos mesaerado-aquíferos (III); solos mesaerado-mesaquíferos (IV); solos aerado-aquíclodos

(V); solos mesoerado-aquícludos (VI); solos anaerado-aquíferos (VII); solos anaerado-mesaquíferos (VIII); solos anaerado-aquícludos (IX) (Otoni Filho, 2003).

Todas as ordens de classes principais de solos estão indicadas na Tabela 3.2, enquanto que as Figuras 3.2 (a), (b) e (c), denominadas triângulos de classificação físico-hídrica dos solos, permitem a classificação pela simples plotagem nos mesmos dos percentuais médios de disponibilidade de ar (A) e de água (W) no perfil. São mostradas nos triângulos as nove ordens principais de solos (de I a IX), com suas respectivas 27 classes.



**Figura 3.2:** Triângulos de classificação físico-hídrica dos solos: (a) solos de média permeabilidade; (b) solos de baixa permeabilidade e (c) solos de alta permeabilidade.

(Fonte: Otoni Filho, 2003)

**Tabela 3.2:** Classificação físico-hídrica dos solos: definição das ordens e classes principais de solo. (Fonte: Ottoni Filho, 2003)

Classificação quanto à disponibilidade de ar e água	Ar Disponível	VIB(1)	Aeração	Água Disponível	Classe de Solo	Ordem de Solo
Solos com baixa restrição	alto	alta(2)			A+(5)	I
	alto	média(3)	alta	alta	A(6)	Solos aerado-aquíferos
	médio	alta			Ba+	
Solos com média restrição	alto	alta			Bw+	II
	alto	média	alta	média	Bw	Solos aerado-mesaquíferos
	médio	alta			Baw+	
	alto	baixa(4)			A-(7)	III
Solos com alta restrição	médio	média	média	alta	Ba	Solos mesaerado-aquíferos
	baixo	alta			Ca+	
	alto	baixa			Bw-	IV
	médio	média	média	média	Baw	Solos mesaerado-mesaquíferos
Solos com alta restrição	baixo	alta			Caw+	
	alto	alta	alta	baixa	Cw+	V
	médio	média			Cw	Solos aerado-aquicludos
	médio	alta			Cwa+	
	alto	baixa			Cw-	VI
	médio	média	média	baixa	Cwa	Solos mesaerado-aquicludos
Solos com alta restrição	baixo	alta			D+	
	médio	baixa			Ba-	VII
	baixo	média	baixa	alta	Ca	Solos anaerado-aquíferos
	baixo	baixa			Ca-	
	médio	baixa			Baw-	VIII
	baixo	média	baixa	média	Caw	Solos anaerado-mesaquíferos
Solos com alta restrição	baixo	baixa			Caw-	
	médio	baixa			Caw-	IX
	baixo	média	baixa	baixa	D	Solos anaerado-aquicludos
	baixo	baixa			D-	
				E	X	Solos alagados(8)

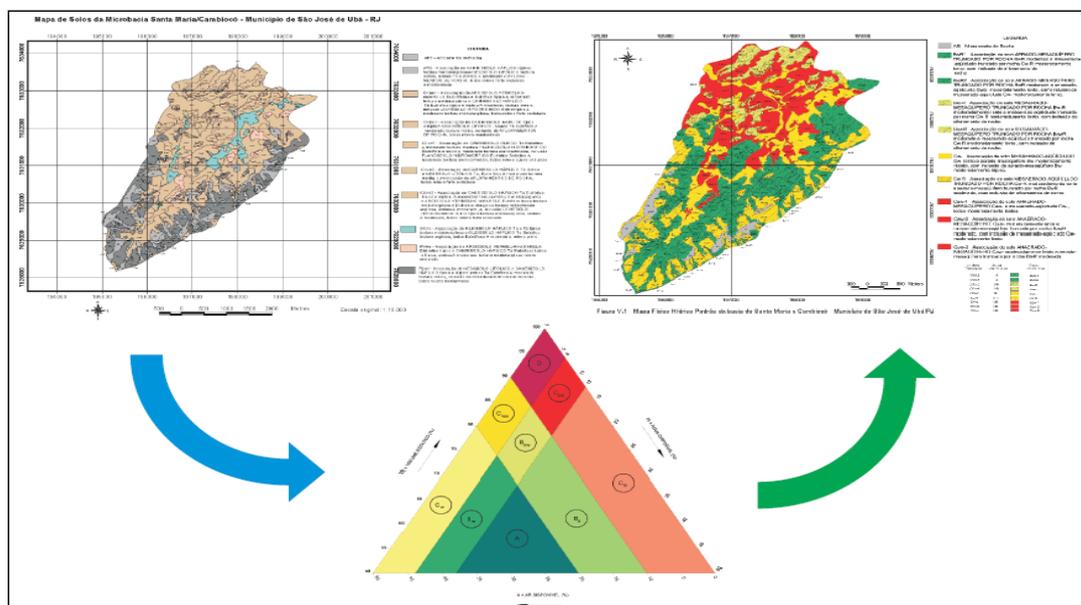
OBS: <sup>(1)</sup> VIB = velocidade de infiltração básica, faixas de VIB: <sup>(2)</sup>  $VIB > 12,5 \text{ cm.h}^{-1}$ , <sup>(3)</sup>  $2,0 \leq VIB \leq 12,5 \text{ cm h}^{-1}$ , <sup>(4)</sup>  $VIB < 2,0 \text{ cm h}^{-1}$ , <sup>(5)</sup> Classe com sobrescrito (+) indica alta VIB, <sup>(6)</sup> Classe sem sobrescrito indica média VIB, <sup>(7)</sup> Classe com sobrescrito (-) indica baixa VIB, <sup>(8)</sup> Solos que se alagam por mais de oito meses durante um ano hidrológicamente normal.

A essas 27 classes e nove ordens principais devem ser adicionadas as possíveis 54 classes e 18 ordens correspondentes aos solos truncados, sendo 27 classes e nove ordens de solos truncados por lençol freático e 27 classes e nove ordens de solos truncados por presença de camada R. Como já referido, essas classes e ordens truncadas recebem em

sua notação de solo principal o complemento do símbolo P (impedimento por lençol freático) ou R (impedimento por rocha). Finalmente, uma última ordem ainda é possível, a ordem X (ordem dos solos alagados), com apenas uma única classe (classe E). Essa designação é dada aos solos que se alagam por pelo menos oito meses durante um ano hidrológico normal (Ottoni Filho, 2003).

### 3.2.3 - Mapeamento Físico-Hídrico de Solos

Para a elaboração dos mapas físico-hídricos, foi descrita, por Ottoni (2005), uma metodologia a qual prevê que cada unidade de mapeamento pedológico corresponde a uma unidade de mapeamento físico-hídrico e vice-versa. Também é prevista que toda classe pedológica caracterizada no levantamento deve corresponder a uma classe físico-hídrica e vice-versa. Quando uma classe pedológica for levantada com diversas fases (declives, vegetação ou uso distintos), todas essas fases corresponderão a mesma classificação, nomenclatura e notação físico-hídrica, a não ser que algo seja explicitado em contrário. A Figura 3.3 ilustra essa relação entre o mapeamento pedológico e o físico-hídrico.



**Figura 3.3:** Relação entre o mapeamento pedológico à esquerda e o físico-hídrico à direita, com o triângulo de disponibilidades de água e ar. (Fonte: Macedo *et al.*, 2004)

A unidade de mapeamento pedológico pode consistir-se de uma única classe ou de uma associação de classes de solos (duas ou mais) sendo, neste último caso, sua caracterização no mapa (cor/representação e notação) feita a partir da classe de solo preponderante na unidade de mapeamento. A mesma regra vale para unidades de mapeamento que contenham inclusões de solos dentro de unidades pedológicas preponderantes.

Correspondentemente, as unidades de mapeamento físico-hídrico são compostas por uma única classe ou por associação de classes físico-hídricas (com ou sem inclusões). Quanto à caracterização (cor/representação e notação) no mapa físico-hídrico, a cor é definida pela ordem físico-hídrica do solo preponderante, e a notação é a própria notação da classe físico-hídrica do solo preponderante (Figura 3.2).

Para toda classe identificada de solo no mapeamento pedológico, estando em associação ou não, devem ser selecionados, para representá-la, um ou mais perfis (perfis representativos), onde previamente foram realizados os testes físico-hídricos. A partir dos valores levantados das variáveis físico-hídricas nesses perfis selecionados por classe identificada de solo, será, então, realizada sua classificação físico-hídrica. Quando houver apenas um perfil representativo por classe de solo, a classificação físico-hídrica desse solo será a mesma do perfil.

Quando houver mais de um perfil representativo por unidade de solo, a classificação físico-hídrica (padrão e de superfície) dessa unidade será feita pela média aritmética das propriedades físico-hídricas  $A'_s$ ,  $W'_s$  e  $VIB'_s$ , sendo as duas primeiras calculadas no perfil de comprimento de 70 cm (classificação padrão) ou 30 cm (classificação de superfície), segundo a Equação 3.11. No caso de uma classe de solo ser representada por mais de um perfil representativo, onde pelo menos um deles apresentar algum impedimento, seja por lençol freático (P) ou por rocha (R), ainda assim essa classe de solo será classificada como truncada. Nesse caso, o algebrismo do cálculo dos  $\bar{A}_s$  e  $\bar{W}_s$  também será de acordo com a Equação 3.11 e como preconizado no item anterior. As médias aritméticas correspondentes dos valores de  $\bar{A}$ ,  $\bar{W}$  e  $\overline{VIB}$  serão então computadas, mesmo sendo alguns perfis completos e outros truncados, ou mesmo sendo alguns perfis truncados com profundidades de truncamento diferentes.

Quando uma unidade de mapeamento pedológico contiver apenas uma classe de solo, ou seja, quando esta unidade for caracterizada por um solo isolado, com uma ou várias fases, sua classificação e caracterização físico-hídrica corresponderão a classificação físico-hídrica dessa classe.

Segundo Ottoni (2005), a notação da unidade de mapeamento físico-hídrico, seja na profundidade padrão ou de superfície, é representada pela correspondente notação da classe físico-hídrica do solo isolado ou do solo predominante de uma associação. Caso haja duas notações iguais representando unidades de mapeamento físico-hídrico diferentes, elas serão tornadas distintas através de números arábicos colocados no final de cada notação coincidente. Por exemplo, se a classe Bw corresponder a duas distintas unidades de mapeamento físico-hídrico, haverá, então, um Bw1 e Bw2 para representá-las.

Ainda de acordo com o autor, as cores/representações devem caracterizar as ordens físico-hídricas no mapa, que são, potencialmente, em número de 28 (9 principais +18 truncadas + ordem dos solos alagados). A definição das cores deve seguir uma lógica, pautada na indicação das capacidades de aeração e de hidratação (Capítulo II).

A cor verde indica os solos sem alta restrição de aeração e/ou hidratação (ordens de I a IV), sendo um verde azulado na ordem I (solos com alta aeração e hidratação); o amarelo indica os solos com alta restrição hídrica (Ordens V e VI); o vermelho aponta os solos com alta restrição de aeração (Ordens VII e VIII); e o vermelho-roxo representa os solos com alta restrição de água e de aeração (Ordem IX). As ordens truncadas são mostradas a partir de representações gráficas superpostas às cores das ordens principais correspondentes, conforme indicado no Capítulo II.

Os solos alagados (Ordem X) são, naturalmente, representados pelo azul. A codificação das cores será apresentada no Capítulo IV, uma vez que não foi explicitada por Ottoni (2005). As cores foram estabelecidas em consonância com o que foi praticado por Ottoni (2005) no triângulo de disponibilidades de água e ar (Figura 3.1), quando foi feito o mapeamento físico-hídrico dos solos da bacia hidrográfica de Santa Maria e Cambiocó, município de São José de Ubá / RJ.

A nomenclatura da classificação físico-hídrica padrão e de superfície de uma unidade de solo, inicia-se com o nome da ordem, seguida da notação da classe, encerrando-se com o nome da classe de drenagem. Segundo o critério de Klute (1965), essas classes de condutividade hidráulica variam conforme o valor da VIB, podendo ser: muito lento ( $VIB < 0,125 \text{ cm h}^{-1}$ ), lento ( $0,125 \leq VIB < 0,5 \text{ cm h}^{-1}$ ), moderadamente lento ( $0,5 \leq VIB < 2,0 \text{ cm h}^{-1}$ ), moderado ( $2,0 \leq VIB < 6,25 \text{ cm h}^{-1}$ ), moderadamente rápido ( $6,25 \leq VIB \leq 12,5 \text{ cm h}^{-1}$ ), rápido ( $12,5 \leq VIB \leq 25 \text{ cm h}^{-1}$ ) e muito rápido ( $VIB > 25 \text{ cm h}^{-1}$ ).

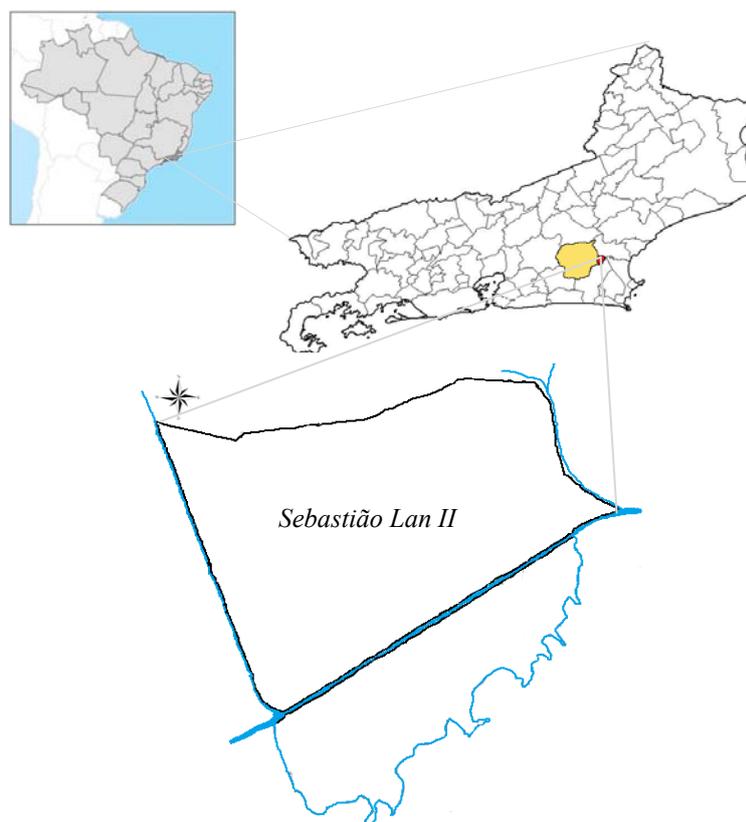
Caso a unidade de mapeamento corresponda a uma associação ou inclusão de solos, a legenda dessa unidade deve conter a nomenclatura de todas as classes constantes da associação ou inclusão, a menos que algumas dessas classes tenham exatamente a mesma nomenclatura. Quando a unidade de mapeamento for de um solo isolado, sua legenda físico-hídrica corresponderá, obrigatoriamente, à nomenclatura físico-hídrica desse solo.

Reitera-se que os mapas físico-hídricos são realizados com base no mapa de solos da bacia, ou seja, para cada unidade de mapeamento desse último mapa devem ser definidas uma cor/representação, notação e legenda físico-hídricas correspondentes à classificação padrão e de superfície, segundo os critérios acima descritos nesse item.

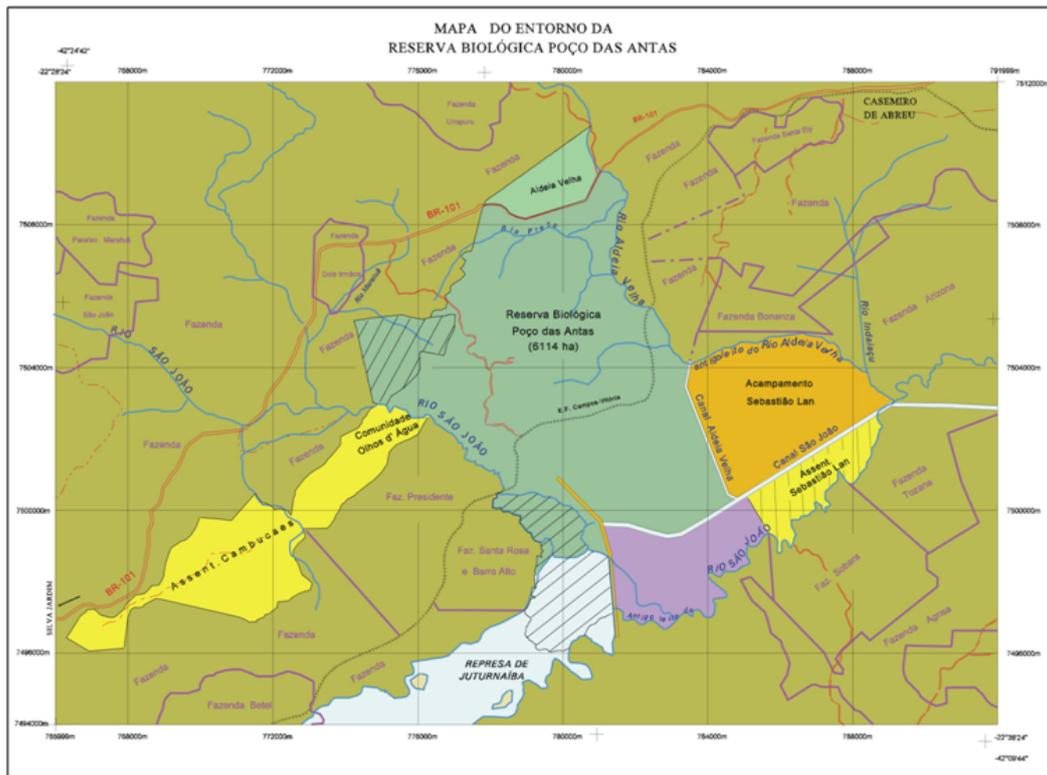
## CAPÍTULO IV – MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 – Caracterização da Área de Estudo

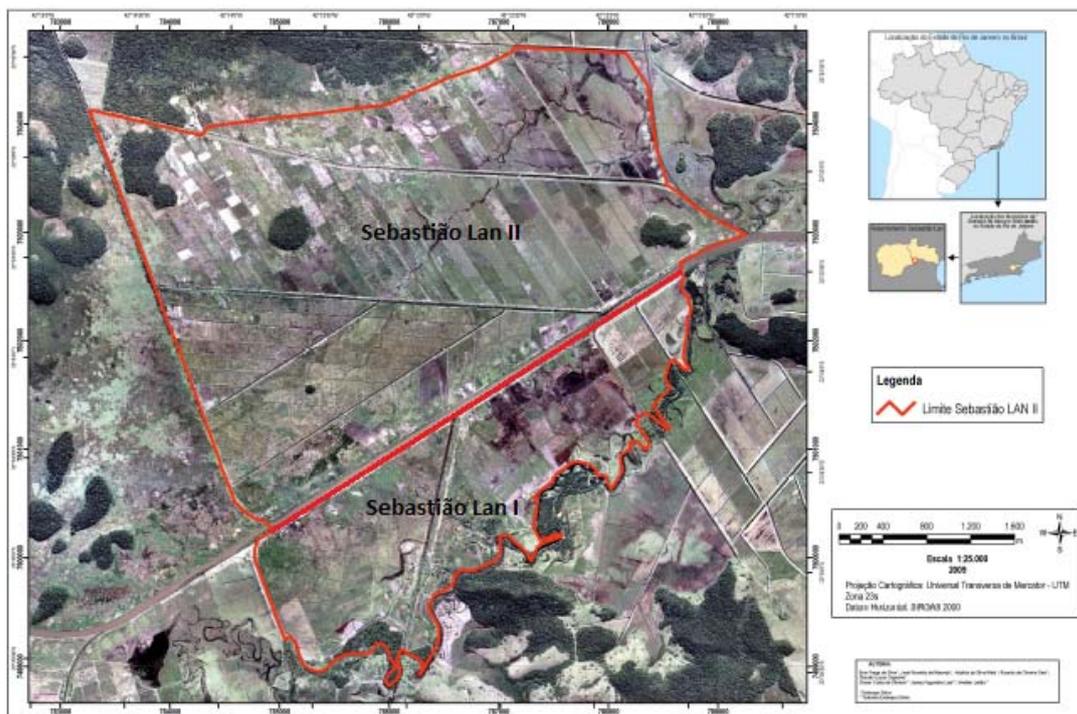
O estudo concentrou-se no município de Silva Jardim, próximo à divisa com o município de Casimiro de Abreu, estado do Rio de Janeiro. A área em questão, denominada Assentamento Agrícola Sebastião Lan II, faz parte da microrregião da bacia do rio São João, com localização geográfica entre os paralelos 22°28'51'' de latitude sul e os meridianos 42°12'14'' de longitude a oeste de Greenwich (Figura 4.1). Situa-se junto ao antigo leito do rio São João e ao canal retificado do mesmo rio (Figuras 4.1 e 4.2). A noroeste da área encontra-se a Reserva Biológica Poços das Antas (Figura 4.2).



**Figura 4.1:** Mapa de localização geográfica da área de estudo: mapa do Brasil acima; à direita, o estado do Rio de Janeiro, destacando, em amarelo, o município de Silva Jardim; no detalhe em vermelho, a área de estudo.



**Figura 4.2:** Mapa mostrando o assentamento Sebastião Lan II, em cor laranja, e a reserva biológica Poço das Antas. (Fonte: Universidade Federal Fluminense – UFF – Departamento de Geografia/Cartografia – Projeto GT-ECOSOCIAL, 2000)

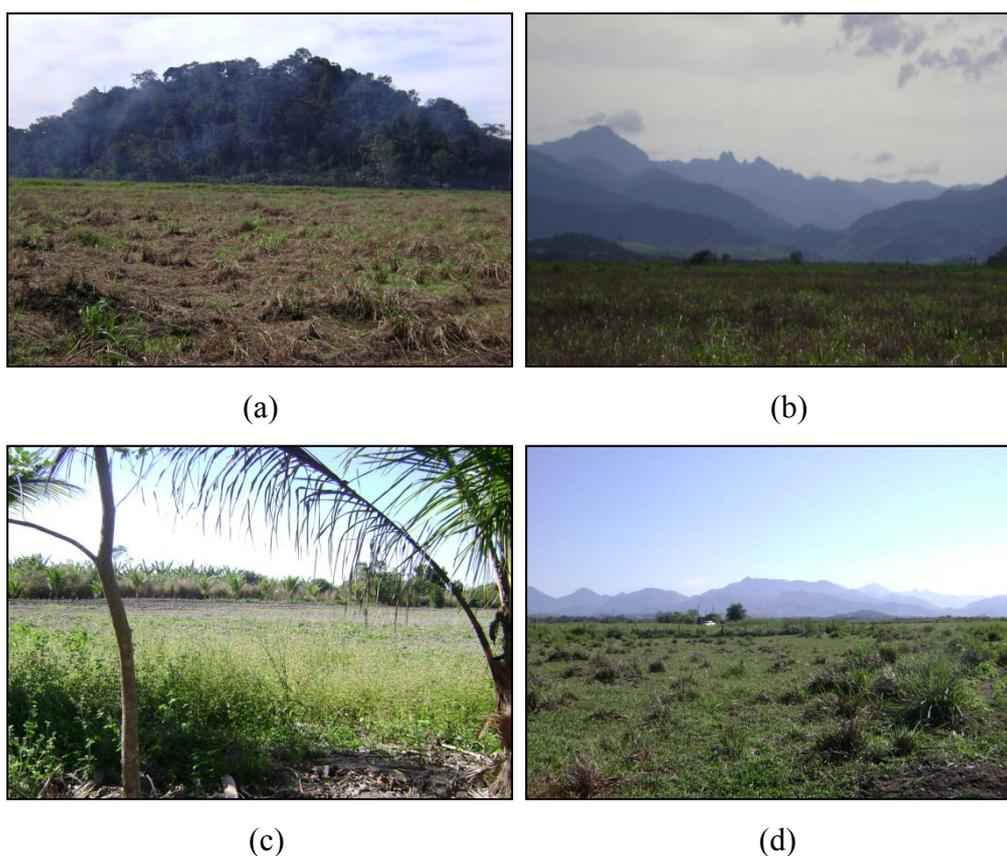


**Figura 4.3:** Localização da área do Assentamento/Acampamento Sebastião Lan I e II – Silva Jardim/Casimiro de Abreu (Fonte: EMBRAPA, 2009)

A área Sebastião Lan encontra-se dividida em três partes, sendo elas denominadas de Lan I, II e III. O que propicia esta divisão é o canal retificado do rio São João, sendo que a primeira e a terceira (Lan I e Lan III) encontram-se de forma regularizada pelo INCRA, onde as famílias já são consideradas donas de suas terras.

A área em questão (Lan II), com superfície de 15,8 km<sup>2</sup> (Figura 4.3), corresponde a um objeto de estudo de viabilidade das terras proporcionado pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) em parceria com a EMBRAPA, a fim de procurar uma solução que contemple todos os aspectos, tanto agrícola, econômico e social, a partir do qual se possa emitir um parecer se a área deve ou não ser concedida para a reforma agrária, desde que apresente aptidão para as atividades agrícolas.

Na Figura 4.4 (a, b, c e d), mostram-se fotos tiradas de pontos baixos e altos da área, apresentando uma variação de cotas de aproximadamente quatro metros.



**Figura 4.4:** Em (a) e (b) vista dos pontos mais baixos da área de estudo e em (c) e (d) dos pontos mais altos.

#### 4.1.1 - Geologia e Geomorfologia

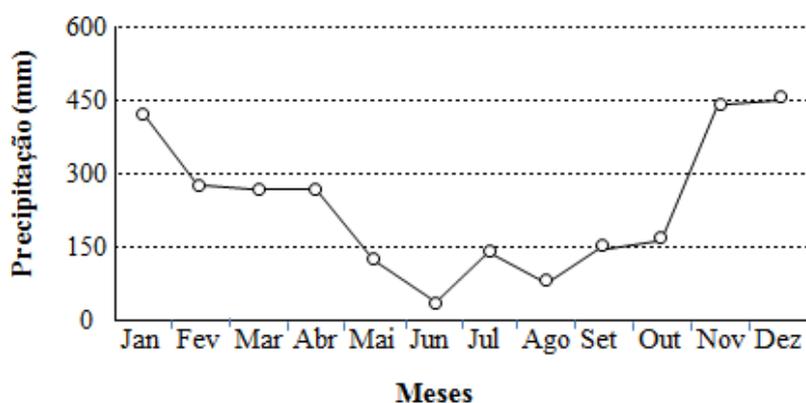
A região da bacia do rio São João possui geologia do Quaternário Aluvionar, segundo a Embrapa (2009), período este em que houve a deposição de diversos sedimentos aluvionares, coluvionares e marinhos. Já a geomorfologia insere-se no Modelado de Sedimentação Fluviomarinha dentro da Unidade de Planícies Costeiras, justamente por apresentar uma morfologia plana conseqüente do material deposicional de sedimentação fluvial e marinha.

O relevo é predominantemente plano com diferenças de altitude de aproximadamente 4 metros entre os extremos da área.

#### 4.1.2 - Hidrometeorologia

O clima da região caracteriza-se por ser quente e úmido, sem inverno pronunciado, com temperatura no mês mais frio de 19° C e sem período de estiagem pronunciada, porém com estação chuvosa centrada no verão.

Pelos dados da Figura 4.5, pode-se verificar que as altas precipitações ocorrem, principalmente, no período de novembro a março, com precipitação mensal superior a 200 mm, chegando, em alguns anos, até o mês de abril. Na região onde as famílias estão assentadas (S.Lan I e S. Lan III) e acampadas (S.Lan II), as fortes chuvas da estação úmida acarretam problemas de inundações periódicas, também motivadas pela falta de manutenção e dragagem dos canais dos rios São João, Aldeia Velha e Indaiacú.



**Figura 4.5:** Estimativa de precipitação média de cinco anos para Casimiro de Abreu – RJ (Fonte: Embrapa, 2009)

A época de baixa intensidade de chuvas ocorre normalmente no período de abril a setembro, totalizando seis meses. Uma pequena variação anual, na baixa intensidade das chuvas, pode estendê-la de março a outubro. Pode-se, ainda, afirmar que praticamente não há um mês sem precipitação pluviométrica na região. Apenas no mês de junho de 2006 não houve registro de evento de chuva.

#### **4.1.3 - Solos da Região**

Os solos identificados, segundo Embrapa (2009), manifestam pouca variação em suas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, ocorrendo na área de estudo classes com dominância, nas partes elevadas, de Cambissolos Háplicos em relevo suave ondulado a forte ondulado, originados de sedimentos argilo-siltosos do Grupo Barreiras, e nas baixadas, relacionadas aos sedimentos fluviomarinhas mais recentes, datados do Quaternário, ocorrem as classes: Organossolos Tiomórficos, Gleissolos Tiomórficos e Gleissolos Háplicos. As feições da paisagem foram representadas e definidas em função das classes de solo, condição de drenagem, vegetação original e relevo, que expressam as interações entre os atributos do meio físico. Foram também realizadas interpretações do levantamento de solos sob o aspecto da aptidão agrícola das terras e adequação de uso. Foram identificadas e caracterizadas as classes de solos ocorrentes, segundo a metodologia preconizada e adotada no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), assim como realizado agrupamento dos solos em 7 unidades de mapeamento (Embrapa, 2009). O mapa de solos foi confeccionado na escala de 1:10.000, encontrando-se no Apêndice E, e inclui também os solos da área do Assentamento Sebastião Lan I.

#### **4.2 - Levantamento de Dados da Classificação Físico-Hídrica dos Solos**

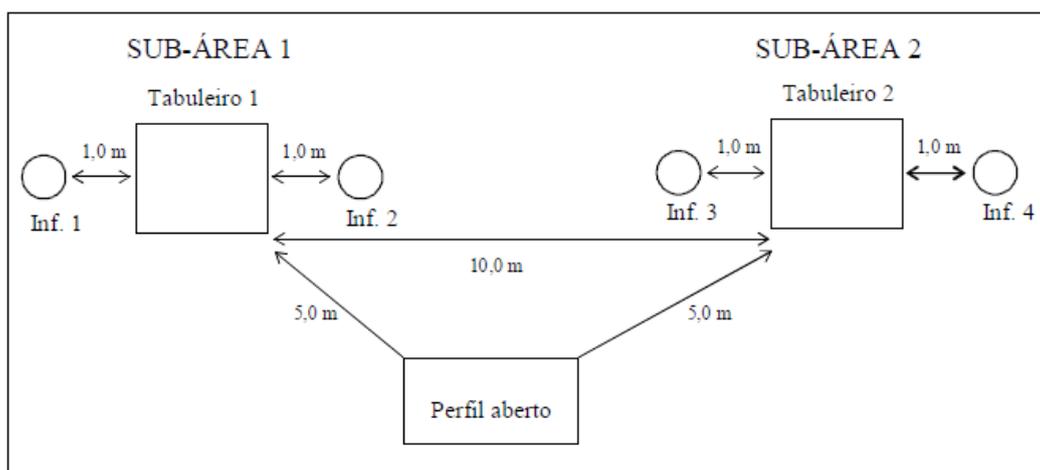
O texto deste subitem deve ser visto como uma descrição da metodologia de campo e laboratório visando a determinação das variáveis físico-hídricas intervenientes do SCFHS. O que pode variar é a existência de truncamento por lençol freático ou camada R em profundidades variadas, o que implica colocação de lâminas diferenciadas de água no tabuleiro para a determinação da capacidade de campo (CC), diretamente

proporcionais às profundidades de truncamento. Quanto à aplicação de água nos tabuleiros em terrenos mais acívosos, deve ser consultado Ottoni (2005).

A classificação físico-hídrica foi feita a partir do levantamento de dados no campo das variáveis físico-hídricas capacidade de campo *in situ* e infiltração, bem como a partir da determinação em laboratório das variáveis porosidade e ponto de murcha permanente. Sendo assim, foram selecionados 9 perfis representativos dos solos da área em questão (Sebastião Lan II), sendo estes os mesmos perfis que foram utilizados para o levantamento pedológico da área.

Os testes de campo foram realizados próximos às trincheiras utilizadas no levantamento pedológico de cada perfil selecionado. Os testes de capacidade de campo *in situ* foram desenvolvidos em duas repetições, e os de infiltração em quatro repetições. O local do levantamento do perfil e dos dois testes de capacidade de campo foram definidos em uma configuração semelhante a de um triângulo isósceles, onde os vértices da base são compostos pelos locais dos testes da capacidade de campo, com afastamento de 10 m, e o outro vértice do triângulo definido pela posição da trincheira, distanciada dos vértices da base em aproximadamente 5 m (Figura 4.6). Assim, para os 9 perfis selecionados, foram totalizados 18 testes de capacidade de campo no tabuleiro, além dos 36 testes de infiltração.

Para fins de padronização dos resultados físico-hídricos, especialmente com respeito aos testes de campo, recomenda-se a utilização do protocolo experimental e equipamentos discriminados nos itens que se seguem.



**Figura 4.6:** Configuração esquemática dos testes realizados no campo.

(Fonte: Ottoni, 2005)



(a)



(b)

**Figura 4.7:** (a) Configuração dos testes realizados no perfil 09 mostrando as duas subáreas; (b) Detalhes do tabuleiro de inundação e dos infiltrômetros instalados em uma subárea do mesmo perfil.

#### 4.2.1 - Testes de Capacidade de Campo

A capacidade de campo de referência foi determinada pelo método direto (ou método *in situ*) (Oliveira e Melo, 1971; Embrapa, 1997), que consiste na aplicação de uma lâmina de água suficiente para saturar o perfil na profundidade estudada (70 cm), num tabuleiro de metal com dimensões de 1,00 m x 1,00 m x 0,25 m (Figura 4.8), servindo como bordadura física da área de inundação. Após a infiltração total, a área de inundação era coberta com lona plástica para evitar as perdas por evaporação ou adição de água pela chuva. Essa lona se estendia em 1,0 m, aproximadamente, para cada um dos lados do tabuleiro, visando aumentar a proteção contra as chuvas. O conteúdo volumétrico de água no solo, que é o valor da capacidade de campo, foi, então, determinado após 48 h do término da infiltração no tabuleiro.



**Figura 4.8:** Tabuleiro de inundação utilizado para os testes de capacidade de campo *in situ*.

Os tabuleiros foram instalados cravando-se cerca de 5 cm no solo, com o uso de um batedor. A fim de evitar eventuais vazamentos no equipamento, foi feito, no lado externo dos mesmos, um dique de solo para conter a água. Além desses procedimentos, as áreas internas do tabuleiro eram limpas através do corte da parte aérea da vegetação, com uma tesoura.

Para a padronização do método *in situ* da capacidade de campo, a inundação foi feita no período seco do ano, durante os meses de julho e agosto de 2008.

As lâminas d'água foram aplicadas em cada ponto de forma a saturar o perfil até a profundidade estabelecida de 0,70 m. Sendo assim, foram aplicadas para todos os testes uma lâmina de 200 mm (ou 200 L) de água. O trabalho de Ottoni *et al.* (2004), também trabalhando com perfil de solo com profundidade de 70 cm, aplicando diferentes lâminas nos tabuleiros de alguns solos da bacia de Santa Maria e Cambiocó, indicou que não houve diferenças estatísticas significativas na capacidade de campo quando as lâminas foram de 300 mm ou 200 mm.

A água utilizada para a realização dos testes de capacidade de campo foi obtida dos canais e reservatórios localizados próximo aos locais dos testes, sendo armazenada em tonéis de 50 L e caixas de água de 1000 L (Figura 4.9). A aplicação de água foi feita com o auxílio de mangueira conectada aos tonéis.



**Figura 4.9:** Reservas de água utilizada nos testes de capacidade de campo e infiltração.

#### 4.2.2 - Testes de Infiltração

O teste de infiltração foi feito de acordo com o método do infiltrômetro de duplo anel (Embrapa, 1997). Os equipamentos para esse método são dois anéis de aço

galvanizado, sendo o menor com diâmetro de 20 cm e o maior de 39 cm, ambos com 25 cm de altura e 2 mm de espessura (Figura 4.10). Foram instalados de forma concêntrica, na vertical, sendo fixados 5 cm no solo, com o auxílio de marreta. Antes da cravação, era feita limpeza da área removendo-se apenas a parte aérea da vegetação com uma tesoura.

A água foi aplicada com regador, contra as paredes internas dos cilindros, para evitar que o impacto direto modificasse a estrutura dos primeiros centímetros do solo. A água para esses testes foi a mesma da dos testes de capacidade de campo *in situ*.

Os dois infiltrômetros de uma mesma subárea (Figura 4.6 e Figura 4.7) foram sempre abastecidos ao mesmo tempo, de forma a manter uma lâmina de água de aproximadamente 5 cm sobre o terreno, com oscilação máxima de 2 cm. As leituras do nível de água foram realizadas sempre no anel interno, com o auxílio de uma bóia presa a haste metálica conectada a régua vertical fixada nesse cilindro (Figura 4.10). No anel externo, a lâmina de água foi mantida em altura semelhante a do anel interno, para minimizar a dispersão lateral da água infiltrada a partir do anel interno.



**Figura 4.10:** Infiltrômetro de duplo anel.

Inicialmente, as leituras das lâminas infiltradas foram em intervalos de 1 minuto, passando para 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30 e 40 minutos, obtendo-se, assim, a velocidade de infiltração nesses intervalos.

Quando as diferenças entre essas velocidades passaram a ser mínimas, o que normalmente ocorreu após 4 horas de ensaio, considerou-se atingida a velocidade de infiltração básica (VIB). O valor da VIB foi, geralmente, calculado pela média das

quatro últimas leituras da velocidade de infiltração. Logo, para cada perfil representativo, foram obtidas 4 repetições dos valores de VIB.

#### **4.2.3 - Determinação das Variáveis Físico-Hídricas**

Após 48h do término da infiltração nos tabuleiros, foram retiradas duas amostras indeformadas nos mesmos, por horizonte (geralmente na profundidade central do horizonte), até a profundidade de 70 cm ou até aquela onde se encontrou impedimento por lençol freático (não foi encontrado impedimento por rocha na área). As profundidades de amostragens, bem como a caracterização dos horizontes de solo, acham-se indicadas no Apêndice A.

As amostragens em duplicata por local de amostragem (tabuleiro) foram feitas com o anel de Umland, para determinar a capacidade de campo (CC), o ponto de murcha permanente (umidade à tensão de 1,5 MPa) e a densidade do solo. Todas as amostras indeformadas contidas nos anéis amostradores foram protegidas em recipientes hermeticamente fechados para evitar alteração no conteúdo de água. Vale ressaltar que as amostras obtidas no tabuleiro permaneceram nos anéis amostradores para garantir sua indeformabilidade.

As umidades volumétricas da CC foram obtidas pelo método gravimétrico (Embrapa, 1997), enquanto que as umidades volumétricas relativas ao ponto de murcha (tensão à 1,5 MPa) foram definidas pelo método da câmara de pressão (Embrapa, 1997). Encerrada a determinação na câmara de pressão, a massa seca da amostra indeformada (de volume conhecido) foi utilizada para a determinação da densidade do solo (DS) pelo método do anel volumétrico (Embrapa, 1997).

A média das duas repetições no tabuleiro foi o valor considerado no trabalho para as variáveis acima descritas por sub-área, nas diversas profundidades. Da mesma forma, a VIB da sub-área foi considerada como sendo a média das VIB's dos dois infiltrômetros correspondentes.

Para determinar da densidade das partículas (DP), foram retiradas amostras deformadas no meio de cada tabuleiro, sem repetição, nas mesmas profundidades das amostras indeformadas, com uma cavadeira. As DP's foram medidas pelo método do balão volumétrico (Embrapa, 1997). Dessa forma, a porosidade total (PT) foi determinada através da Equação 3.4, em duas repetições por solo, nas diferentes profundidades de amostragem.

#### **4.2.4 - Granulometria e Matéria Orgânica**

As frações granulométricas (areia total, silte e argila) foram obtidas a partir do método do densímetro (Embrapa, 1997). Já o teor de matéria orgânica foi calculado a partir do teor de carbono orgânico, determinado segundo o método do bicromato de potássio com titulação pelo sulfato ferroso (Embrapa, 1997). Tais variáveis foram determinadas em todas as amostras utilizadas na determinação de DP. Portanto, tanto a DP e a PT, quanto as frações granulométricas e o teor de matéria orgânica foram determinadas sem repetições na sub-área, em dois locais de cada perfil representativo de solo.

#### **4.3 – Mapeamento Físico-Hídrico**

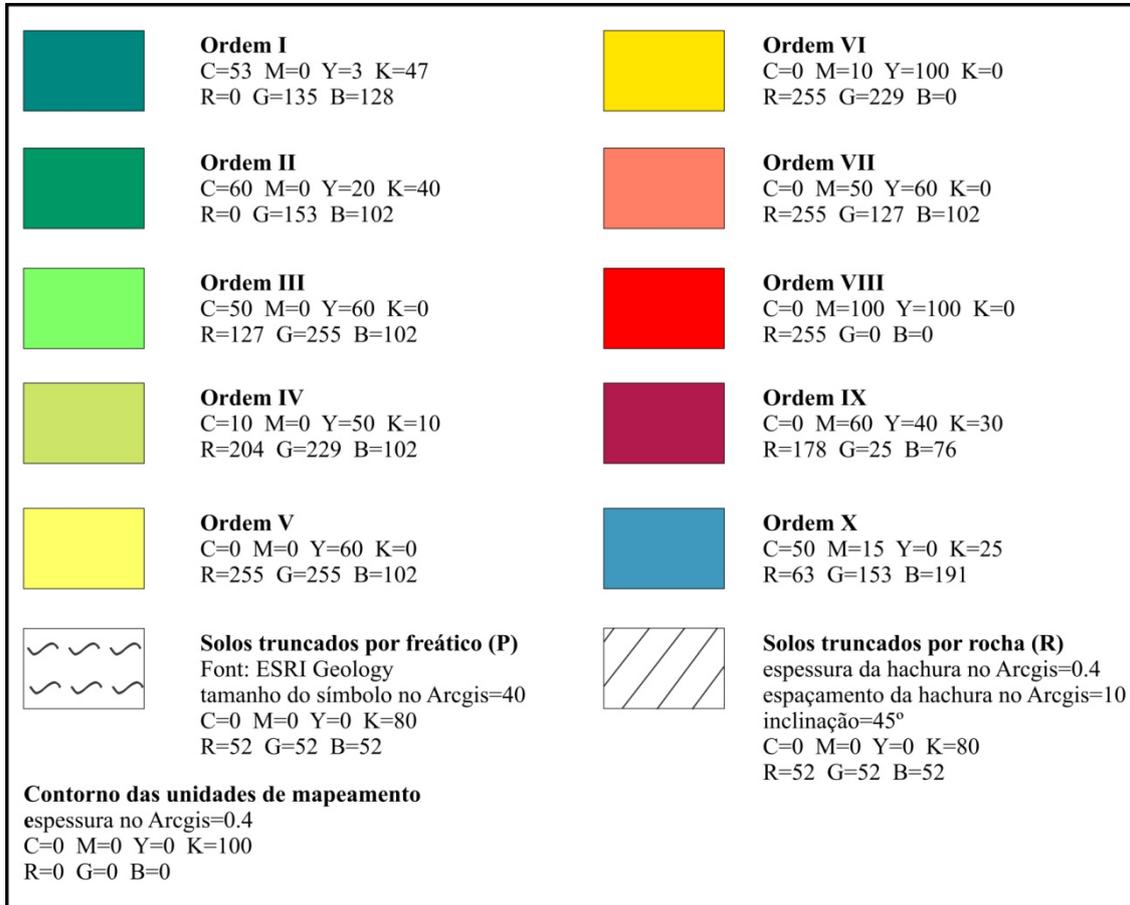
Com relação ao mapeamento físico-hídrico do assentamento Sebastião Lan II e da bacia hidrográfica Córrego da Cachoeira, estes foram elaborados utilizando o Programa ArcGis, a partir dos respectivos mapas pedológicos digitais, que foram disponibilizados pela Embrapa Solos.

#### **4.4 - Convenções de Cores/Representações para o Mapeamento Físico-Hídrico de Solos**

A Figura 4.11 mostra as cores e as representações que deverão ser usadas para a confecção dos mapas físico-hídricos de solos, como padronização ao mapeamento físico-hídrico, uma vez que isto não foi explicitado por Ottoni (2005). As cores foram estabelecidas em consonância com o que foi praticado por Ottoni (2005) quando foi feito o mapeamento físico-hídrico dos solos da bacia hidrográfica de Santa Maria e Cambiocó, município de São José de Ubá / RJ. As representações são elementos gráficos superpostos às cores das 9 ordens principais, para indicar as ordens truncadas, como indicado na Figura 4.11.

É importante ter o conhecimento de que a Figura 4.11, que revela uma tabela de cores codificada pelos sistemas CMYK (C-ciano, M-magenta, Y-amarelo e K-key-preto e RGB (R-vermelho, G-verde e B-azul), constitui uma padronização de cores e representações para elaboração do mapeamento físico-hídrico de solos. Porém essas

cores poderão, por ocasião da impressão, apresentar variação de tonalidade em função tanto da qualidade do código computacional quanto do papel de impressão utilizados, o que se aplica também em relação ao dispositivo gráfico.

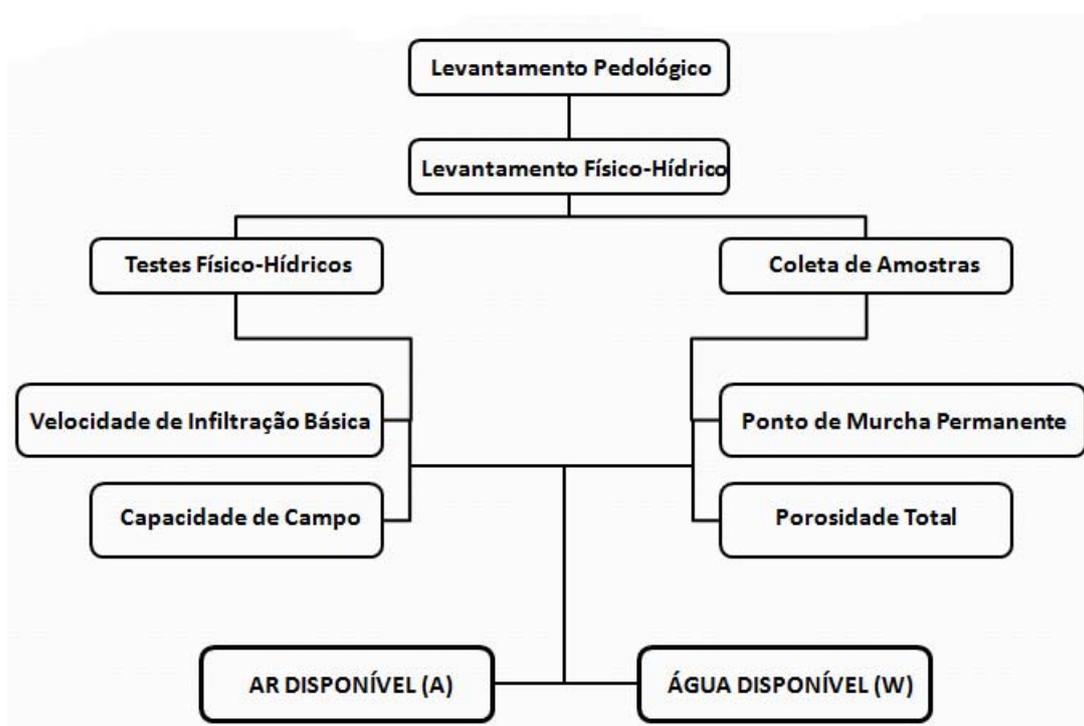


**Figura 4.11:** Convenção de cores (sistemas CMKY e RGB)/representações para o mapeamento físico-hídrico de solos.

## CAPÍTULO V - ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 5.1 – Introdução

Com a finalidade de melhor compreensão, será feita, resumidamente, a seqüência de passos realizados desde o levantamento de campo até a classificação final e mapeamento, de acordo com o organograma apresentado na Figura 5.1.



**Figura 5.1:** Esquema da sistematização dos trabalhos realizados em campo e em laboratório.

De posse dos dados físico-hídricos levantados em campo e em laboratório, procede-se a classificação para cada solo identificado da seguinte forma:

- a partir do valor da VIB, procede-se a escolha do triângulo de disponibilidade de ar e água correspondente, de acordo com a Figura 3.2;
- definido o triângulo correspondente, entra-se com os valores das variáveis W e A, determinando-se a respectiva classe e a ordem físico-hídrica.

## 5.2 - Classificação Físico-Hídrica dos Perfis Representativos dos Solos do Assentamento Sebastião Lan II.

A classificação físico-hídrica dos solos da área do assentamento Sebastião Lan II foi executada a partir do levantamento dos solos da bacia, realizado pela Embrapa Solos/RJ (Embrapa, 2009), assim como dos testes físico-hídricos executados nos perfis representativos, seguindo metodologia descrita por Ottoni Filho (2003), e sua extensão apresentada por Ottoni (2005). A Tabela 5.1 apresenta as classes dos 6 solos identificados na área de estudo, com seus respectivos perfis representativos (9 pedons levantados).

**Tabela 5.1:** Classes de solos identificadas e seus perfis representativos.

Classe de Solo	Perfis Representativos
GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico textura Média/argilosa argilosa/Média e argilosa/muito argilosa A moderado	P03 e P05
GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico e típico textura indiscriminada A hístico e moderado	(P02 e P07)*
GLEISSOLO TIOMÓRFICO Húmico típico textura argilosa A hístico	P09
GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico textura argilosa A hístico	P02 e P07
ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico térrico e típico textura média e média/argilosa	P06**
CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico textura argilosa A moderado	P04

*\*P01 excluído, refere-se ao caráter típico e A moderado.*

*\*\*P08 excluído, refere-se ao caráter típico.*

De acordo com a descrição pedológica realizada pela Embrapa, observa-se que a área de estudo apresenta-se de forma bastante homogênea, com seus solos manifestando pouca variação em suas características morfológicas, físicas e mineralógicas. Na porção mais elevada da área, com relevo suave ondulado a forte ondulado, ocorre, com dominância, a classe dos Cambissolos Háplicos (Apêndice E). Nas baixadas, ocorrem as

classes dos Organossolos Tiomórficos, dos Gleissolos Tiomórficos e dos Gleissolos Háplicos.

Algumas dessas classes foram consideradas com mais de um perfil representativo, segundo o nível de detalhamento aceito pelo levantamento e mapeamento pedológicos. Para esses casos, houve descrição pedológica quase coincidente até o quarto nível categórico entre os perfis P02 e P07 (Gleissolo Tiomórfico Órtico), e também entre P03 e P05 (Gleissolo Háplico) (Apêndices A, B e C).

De posse dos resultados laboratoriais dos 7<sup>1</sup> perfis amostrados (Apêndice F), considerados como os perfis representativos da área, foram calculadas as médias de CC, PMP e PT para as faixas de profundidade de 0-70 cm, de 0-30 cm ou até aquela onde houve truncamento de lençol freático, segundo a Equação 3.8, em cada um dos dois tabuleiros de cada um dos solos. Em seguida, determinaram-se os valores da disponibilidade de ar ( $\bar{A} = \overline{PT} - \overline{CC}$ ) e da disponibilidade de água ( $\bar{W} = \overline{CC} - \overline{PMP}$ ) nas faixas de profundidade citadas. Finalmente, a classificação do solo de cada perfil representativo foi realizada considerando as médias aritméticas dos dois valores de A e de W e dos quatro valores de VIB da área.

Determinados os valores médios finais de A, W e VIB para cada perfil representativo dos solos da bacia, como acima descrito, nas duas faixas de profundidade previstas (30 cm, 70 cm ou profundidade do impedimento por lençol freático), inseriram-se tais valores de A e W nos triângulos de classificação físico-hídrica, segundo a faixa de variação da VIB (Figura 3.2 (a), (b) e (c)). A posição no triângulo definiu a ordem e a classe do solo. Logo, para cada perfil nas profundidades de 70 cm e 30 cm, ou naquela onde existiu impedimento por lençol freático, obteve-se uma respectiva classe físico-hídrica com sua ordem correspondente.

Os resultados médios das variáveis físico-hídricas nessas faixas de profundidades de perfil, através das quais se obtiveram as respectivas classes e ordens físico-hídricas, encontram-se na Tabela 5.2. Apresenta-se, também, na Tabela 5.3, a legenda físico-hídrica desses 7 perfis.

---

*Obs: <sup>1</sup> Dos 9 pedons descritos, foram aproveitados os testes de capacidade de campo e infiltração em 7 deles (P02, P03, P04, P05, P06, P07 e P09), sendo descartados os outros dois (P01 e P08) por apresentarem problema de excesso de aplicação de água nos tabuleiros de inundação (dados de CC não disponíveis).*

**Tabela 5.2:** Classificação e resultados físico-hídricos dos perfis de solos representativos na área de estudo, nas profundidades padrão (0-70 cm) e de superfície (0-30 cm), com as classes texturais correspondentes.

Classe Pedológica Perfil	Prof. (m)	Classificação Textural	Umidade Volumétrica					VIB (cm/h)	Classe de Solo	Ordem de Solo
			CC	PMP	PT (%)	A	W			
Gleissolo Tiomórfico Órtico (P02)	0,63*	Argila	55,3	37,7	70,8	15,5	17,6	33,83	Ba <sup>+</sup> P	IP
	0,3	Frnaco-argilo-siltosa	50,5	26,5	74,3	23,8	24,0		A <sup>+</sup>	IP
Gleissolo Háplico Tb Distrófico (P03)	0,7	Franco-argilo-arenosa	34,5	25,4	44,0	9,5	9,1	13,03	Caw <sup>+</sup>	IV
	0,3	Argilo-arenosa	36,4	26,3	49,0	12,6	10,1		Baw <sup>+</sup>	II
Cambissolo Háplico Distrófico (P04)	0,7	Argila	30,6	24,9	54,6	24,0	5,7	11,4	Cw	V
	0,3	Argilo-arenosa	28,5	22,6	58,2	29,7	5,9		Cw	V
Gleissolo Háplico Tb Distrófico (P05)	0,7	Argilo-arenosa	29,0	22,1	47,5	18,5	6,9	8,28	Baw	iV
	0,3	Argila	35,8	29,3	53,0	17,2	6,5		Baw	IV
Organossolo Tiomórfico Sápico (P06)	0,7	Franco-argilosa	33,7	31,4	53,4	19,7	2,3	9,83	Cwa	VI
	0,3	Franco-argilosa	46,3	33,3	60,0	13,7	13,0		Ba	III
Gleissolo Tiomórfico Órtico (P07)	0,7	Franco-argilosa	55,8	40,3	74,3	18,5	15,5	0,74	Ba <sup>-</sup>	VII
	0,3	Franco-argilosa	51,7	31,7	72,1	20,4	20,0		A <sup>-</sup>	III
Gleissolo Tiomórfico Húmico (P09)	0,35**	Argila	60,8	43,0	69,4	8,6	17,8	0,08	Ca <sup>-</sup> P	VIIIP
	0,3	Argila	60,8	43,0	69,4	8,6	17,8		Ca <sup>-</sup>	VII

\* Profundidade de transição para o lençol freático a 63 cm de profundidade.

\*\* Profundidade de transição para o lençol freático a 35 cm de profundidade.

Obs: Os testes e coletas de amostras foram feitos em período seco do ano de 2008 (entre os meses de julho e agosto).

**Tabela 5.3:** Legenda físico-hídrica dos perfis de solos representativos da área de estudo. A primeira descrição corresponde à classificação padrão, e a segunda à classificação de superfície.

Classe Pedológica Perfil	Nomenclatura Físico-Hídrica
Gleissolo Tiomórfico órtico (P02)	Solo aerado-aquífero truncado por freático Ba <sup>+</sup> P / aerado-aquífero A <sup>+</sup> muito rápido
Gleissolo Háplico Tb distrófico (P03)	Solo mesaerado-aquífero Caw <sup>+</sup> / aerado mesaquífero Baw <sup>+</sup> rápido
Cambissolo Háplico distrófico (P04)	Solo aerado-aquífero Cw moderadamente rápido
Gleissolo Háplico Tb distrófico (P05)	Solo mesaerado-mesaquífero Baw moderadamente rápido
Organossolo Tiomórfico sápico (P06)	Solo mesaerado-aquífero Cwa / mesaerado-aquífero Ba moderadamente rápido
Gleissolo Tiomórfico órtico (P07)	Solo anaerado-aquífero Ba <sup>-</sup> / mesaerado-aquífero A <sup>-</sup> moderadamente lento
Gleissolo Tiomórfico húmico (P09)	Solo anaerado-aquífero truncado por freático Ca <sup>-</sup> P / anaerado-aquífero Ca <sup>-</sup> muito lento

As faixas de profundidade ( $\Delta_z$ ) utilizadas no cálculo das médias das variáveis no perfil (Equação 3.8) estão indicadas no Apêndice B.

Analisando a classe dos Gleissolos Tiomórficos Órticos, observam-se dois perfis representativos descritos e testados físico-hidricamente (P02 e P07). Pedologicamente, foram classificados como o mesmo solo, com características morfológicas similares. Observa-se que, na classificação físico-hídrica (Tabela 5.2), as variáveis CC, PMP, PT, A e W também se encontraram com valores muito próximos, variando apenas a VIB. O perfil P02 mostrou-se bastante permeável, enquanto que a permeabilidade do perfil P07 apresentou-se muito baixa devido ao intenso grau de compactação na camada superficial, por ser área de pastagem e bem trafegada por animais. Essa variação na velocidade de infiltração básica entre os dois perfis fez com que suas classificações físico-hídricas fossem distintas, sendo o perfil P02 classificado como aerado-aquífero, tanto para a classificação de superfície quanto para a classificação padrão, nesta última com impedimento por lençol freático a 63 cm de profundidade, e o perfil P07 classificado como um mesaerado-aquífero para a classificação de superfície e anaerado-aquífero para a classificação padrão (Tabela 5.2). Nesse caso, a grande diferença entre o valor da VIB dos dois perfis fez com que o perfil P07 tivesse seu nível de aeração rebaixado, caindo da ordem I para a ordem VII na classificação padrão, já que a velocidade de infiltração básica (VIB) dentro do SCFHS exprime parcialmente a permeabilidade de ar nos macroporos (Ottoni Filho, 2003).

Conclui-se, portanto, que o SCFHS pode responder bem às variações do nível de manejo do solo, não sendo ele estático no tempo. Os perfis P02 e P07, considerando-se as médias de suas propriedades, correspondem a solos que não apresentam sérias restrições quanto à disponibilidade de água e de ar (P02 classificado na ordem I), a não ser pela presença do lençol freático elevado no P02. O solo Gleissolo Tiomórfico Órtico (Tabela 5.2), considerado o melhor da área de estudo sob o ponto de vista físico-hídrico, foi representado por esses dois perfis. Esses perfis também representam solos com grande quantidade de matéria orgânica na camada superficial (Apêndice G). Supõe-se que a restrição quanto à aeração que aparece no caso do perfil P07 seja em função do manejo inadequado da sua camada superficial, em especial devido ao pastoreio. Note-se que a camada superficial do P07 tem altos teores de argila e matéria orgânica, bem como elevada porosidade, portanto com grande susceptibilidade à compactação (Apêndices F e G). Nesse caso, se bem manejado, possivelmente apresentar-se-ia adequado à atividade agrícola, sob a ótica físico-hídrica, enquadrando-se, talvez, nas

mesmas condições do perfil P02. Entretanto, as condições químicas dos Gleissolos Tiomórficos podem ser extremamente limitantes para o uso agrícola.

Outro perfil caracterizado como Gleissolo Tiomórfico foi o P09, diferenciando-se dos demais citados acima, por apresentar caráter húmico. Este também se mostrou com sérias restrições quanto a sua capacidade de aeração, sendo classificado como um anaerado-aquífero. Nesse solo, houve problemas para a coleta de amostras abaixo dos 30 cm de profundidade devido à presença do lençol freático logo abaixo desta (a 35 cm de profundidade), a qual corresponde ao limite para a classificação de superfície. Os valores médios de água e ar disponível da classificação de superfície foram considerados invariantes para o restante do perfil, entre 30 e 35 cm, resultando numa mesma classificação tanto de superfície quanto padrão. O que distinguiu foi a terminação P na classificação padrão indicando impedimento por lençol freático. Esse solo possui sérias limitações de aeração pelo excesso de água (baixos valores de A) e também pela baixa permeabilidade ( $VIB=0,08 \text{ cm h}^{-1}$ ), talvez por apresentar baixas cotas topográficas, bem como teores muito altos de argila (Apêndices F e G), podendo eventualmente ter problemas de saturação na superfície do terreno quando ocorrerem eventos prolongados ou excessivos de chuva.

Sua capacidade de uso seria muito limitada, talvez apenas a culturas mais adaptadas a terrenos que retêm muita água e que apresentam baixa permeabilidade, como algumas pastagens e arroz, ou ainda para a preservação ambiental. Convém salientar ainda que, para se obter benefícios mais duradouros ao uso agrícola por conta de lençol freático alto, precisam ser controlados o nível e a flutuação do mesmo.

As duas classes citadas acima (Gleissolo Tiomórfico Órtico – P02 e P07; e Gleissolo Tiomórfico Húmico – P09), são componentes das unidades de mapeamento GJo e GJh, que ocorrem com grande frequência, correspondendo a 33,2% e 14,1% da área de estudo, respectivamente.

Outro perfil que apresentou comportamento bem diferente dos demais foi o P06, correspondendo a classe Organossolo Tiomórfico Sáprico. Essa classe de solo apresentou também como perfil representativo o P08 (além do P06), o qual foi um dos dois perfis que foram descartados. Mesmo assim, pôde-se aproveitar a informação relacionada ao nível em que se encontrava o seu lençol freático. Assim, os demais dados físico-hídricos considerados para este Organossolo serão os estritamente relacionados ao P06. As classes de disponibilidade de ar e água nos primeiros 30 cm foram média e alta respectivamente (Tabela 5.2), não apresentando sérias restrições quanto às

quantidades de ar e água disponíveis. Já na profundidade de 0 a 70 cm, usada para a classificação padrão, a capacidade de ar aumentou, estando no limite da classificação de média para alta ( $A=19,7\%$ ), assim como a capacidade hídrica diminuiu para um patamar consideravelmente baixo ( $W=2,3\%$ ), sendo o solo classificado como mesaerado-aquíclodo. Para o perfil com essa profundidade, esse solo apresenta séria restrição hídrica, sendo essa sua principal limitação físico-hídrica, não retendo muita água em sua matriz, talvez pela diminuição do conteúdo de matéria orgânica ao longo do perfil (Apêndices F e G). Essa diferença marcante na disponibilidade de água ( $W$ ) entre as classificações de superfície e a padrão pode estar relacionada também a variações no tipo, grau e tamanho dos agregados da estrutura desse solo, acarretando diferente distribuição do tamanho dos poros ao longo da profundidade do perfil (Barral *et al.*, 1998).

Esse Organossolo Tiomórfico é o solo predominante da segunda unidade de mapeamento mais freqüente da área, correspondendo a 27% do total. Corresponde a solos originados de acumulações orgânicas sobre sedimentos fluviomarinhas (Embrapa, 2008).

Outra classe de solo importante da área (21,8 %) e que apresentou repetição de perfis representativos selecionados foi a do Gleissolo Háptico Tb Distrófico (perfis P03 e P05). Analisando os dois pedons (Apêndice F), observa-se que eles se assemelham, confirmando que são solos morfogeneticamente parecidos. Mesmo sendo classificados pedologicamente como o mesmo solo, os perfis P03 e P05 apresentaram ordem físico-hídrica distinta para a profundidade de 30 cm (superfície). Verifica-se que, para esses solos, a principal variação físico-hídrica na classificação de superfície deveu-se a variável VIB, que foi mais alta no P03 ( $13,03 \text{ cm h}^{-1}$ ) do que no P05 ( $8,28 \text{ cm h}^{-1}$ ). A VIB alta do P03 aumentou o nível de aeração de médio para alto, o que pode ser explicado pelo fato do P03 apresentar uma textura mais arenosa que o P05. Essa diferença no desempenho físico-hídrico entre solos semelhantes em termos pedológicos fez com que os dois Gleissolos Hápticos tenham sido classificados diferentemente na classificação de superfície (P03 na ordem II e P05 na ordem IV).

Para a classificação padrão, o P03 foi classificado como mesaerado-mesaquífero, apresentando níveis de ar e água disponíveis baixo (9,4%) e médio (9,1%) respectivamente, enquanto que, para o perfil P05, esses níveis foram correspondentemente de 18,5% e 6,9%. Assim, houve variação significativa na capacidade de ar entre os dois perfis. Mesmo com a diferença na variável VIB, os dois

solos foram incluídos na mesma ordem (IV) para a classificação padrão. Essa constatação explica-se em função do P03, mesmo tendo a variável A bem mais baixa que o P05, apresentar, como compensação, VIB mais alta e macroporos com maior permeabilidade ao ar. Assim, as aerações desses dois perfis representativos do Gleissolo Háplico da área, para a profundidade de 70 cm, foram consideradas como similares entre si, mesmo tendo os perfis classes físico-hídricas diferentes ( $C_{aw}^+$  para P03 e  $B_{aw}$  para P05). As variações físico-hídricas entre P03 e P05, ainda que não drásticas, podem ser explicadas pela variabilidade espacial de suas características pedológicas. Portanto, quanto mais repetidos forem os testes físico-hídricos no campo, mais precisa será a classificação. Finalmente, pelo analisado, pode-se esperar que os Gleissolos Háplicos da área de estudo, compreendendo 21,8% de sua abrangência, não devem apresentar limitações físico-hídricas marcantes à utilização agrícola.

Outro exemplo de classe de solo diferenciada foi a do Cambissolo Háplico, correspondendo ao perfil P04. A limitação que esse solo apresentou foi com relação a sua disponibilidade de água ( $W=5,8\%$ ), considerada baixa. Esses solos estão situados em posições fisiográficas de morros em relevo suave ondulado a forte ondulado, com declividades de 8 a 40% e se apresentam, aproximadamente, de forma bem homogênea quanto a suas propriedades físicas e físico-hídricas (Apêndice F) ao longo de todo o perfil analisado. Por ser bem aerado ( $A>20\%$  e  $VIB=11,4 \text{ cm h}^{-1}$ ) e aparentemente bem drenado, ao se utilizarem técnicas de irrigação adequadas, esse Cambissolo pode se tornar um excelente terreno agrícola sob o ponto de vista físico-hídrico, ainda que possam ocorrer limitações para mecanização devido ao relevo. Sua participação relativa na área de estudo é, entretanto, pequena (3,9%).

Analisando a Tabela 5.2, pode-se observar a independência entre o Sistema de Classificação Físico-Hídrica de Solos (SCFHS) e o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), justificando que o primeiro possa ser utilizado como complemento ao segundo, gerando uma base de dados de caráter quantitativo para a análise dos perfis, enriquecendo dessa forma o potencial de uso do SiBCS. Observam-se assim perfis identificados pedologicamente como o mesmo solo, que são os casos dos perfis P02 e P07 (Gleissolo Tiomórfico Órtico), com classificação físico-hídrica distintas. Salienta-se, nesse caso, a grande diferença da classificação físico-hídrica entre o P02 e o P07, provavelmente motivada pelo pastoreio intensivo sobre a área do segundo perfil. Não fosse tal manejo indevido para esse tipo de solo, provavelmente os dois perfis representativos teriam a mesma classificação, como indicado pela Tabela 5.2. O oposto

poderia também ocorrer, ou seja, dois solos com classificação físico-hídrica idêntica, mas com classes pedológicas bastante diferenciadas.

### **5.3 - Mapeamento Físico-Hídrico dos Solos do Assentamento Sebastião Lan II**

A classificação físico-hídrica aplicada nas unidades de mapeamento de solos do assentamento Sebastião Lan II foi realizada através do mapeamento pedológico, como já referido no Capítulo III. Pode-se distinguir na área, segundo esse mapeamento, 6 diferentes classes de solos, conforme mostra a Tabela 5.1.

Com base nos resultados das Tabelas 5.1 e 5.2, e considerando a metodologia de classificação físico-hídrica (Ottoni Filho, 2003; Ottoni, 2005), revista no Capítulo III, procedeu-se à classificação físico-hídrica das classes identificadas de solos (Tabela 5.4), constantes das unidades de mapeamento pedológico da área estudada, nas profundidades padrão e de superfície.

Na Tabela 5.4, são apresentadas as classes de solos com seus perfis representativos e as classificações de superfície (30 cm) e padrão (70 cm). Adicionalmente, na segunda coluna, é apresentada notação, definida aqui para melhor exposição das tabelas, que serve de base para a construção da Tabela 5.5, na qual se mostram as 5 unidades de mapeamento pedológico e seus respectivos solos componentes, bem como suas classificações físico-hídricas. Tal classificação da Tabela 5.5 é que permitirá gerar as cores, representações e as notações dos polígonos que aparecem no mapa físico-hídrico. A descrição pedológica das unidades de mapeamento é mostrada no mapa pedológico da área (Apêndice E). Das 5 unidades, apenas duas (GXbd1 e CXbd1) não são associações de solos.

Como exemplo, para a classe dos Gleissolos Háplicos, de acordo com a Tabela 5.4, identificam-se dois perfis representativos (P03 e P05), sendo conferida a ela uma notação representada pela sigla Gh. Analisando a unidade de mapeamento GXbd1, nota-se que ela apresenta somente como solo componente a unidade Gh. Assim, a classificação e a representação físico-hídrica dessa unidade de mapeamento ficam estritamente ligadas à classificação da classe Gh. Para a unidade de mapeamento Gjo de Gleissolos Tiomórficos (Tabela 5.5), observa-se que ela é composta de uma associação de dois solos, Gleissolo Tiomórfico Órtico, como classe preponderante, e Gleissolo Tiomórfico Húmico, como classe secundária, representados respectivamente pelas notações Gt1 e Gt2. Nesse caso, a classificação do solo preponderante (Gt1),

representativo dessa unidade de mapeamento, é que produzirá a cor e a notação do polígono que aparece no mapa.

**Tabela 5.4:** Classificação físico-hídrica de superfície e padrão das classes de solo na área de estudo.

Classe de Solo	Notação	Perfis Repres.	Prof. (m)	Umidade Volumétrica					VIB (cm/h)	Classe de Solo	Ordem de Solo
				CC	PMP	PT (%)	A	W			
GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico A moderado textura média/argilosa argilosa/média e argilosa/muito argilosa	Gh	(P03 e P05)	0,3	36,1	27,8	51,0	14,9	8,3	10,66	Baw	IV
			0,7	31,8	23,7	45,7	14,0	8,0		Baw	IV
GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico e típico A hístico e moderado textura indiscriminada	Gt1	(P02 e P07)*	0,3	51,1	29,1	73,2	22,1	22,0	17,29	A <sup>+</sup>	I
			0,63	55,6	39,0	72,6	17,0	16,6		Ba <sup>+</sup> P	IP
GLEISSOLO TIOMÓRFICO Húmico típico A hístico textura argilosa	Gt2	P09	0,3	60,8	43,0	69,4	8,6	17,8	0,08	Ca <sup>-</sup>	VII
			0,35	60,8	43,0	69,4	8,6	17,8		Ca <sup>-</sup> P	VIIIP
GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico A hístico textura argilosa	Gt3	(P02 e P07)	0,3	51,1	29,1	73,2	22,1	22,0	17,29	A <sup>+</sup>	I
			0,63	55,6	39,0	72,6	17,0	16,6		Ba <sup>+</sup> P	IP
ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sápico térrico e típico textura média e média/argilosa	Ot	P06**	0,3	46,3	33,3	60,0	13,7	13,0	9,83	Ba	III
			0,43***	33,7	31,4	53,4	19,7	2,3		CwaP	VIP
CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico A moderado textura argilosa	Ch	P04	0,3	28,5	22,6	58,2	29,7	5,8	11,4	Cw	V
			0,7	30,6	24,9	54,6	24,0	5,8		Cw	V

\* Perfil P01 excluído (dados físico-hídricos apenas dos perfis P02 e P07).

\*\* Perfil P08 excluído (dados físico-hídricos apenas do perfil P06, com exceção do truncamento P do perfil P08).

\*\*\* Informação da profundidade de impedimento por lençol freático do perfil P08; as demais informações físico-hídricas nesse caso coincidem com as do perfil P06.

**Tabela 5.5:** Classificação físico-hídrica das unidades de mapeamento na área de estudo.

Unidade de Mapeam.	Solos Compon.	Prof. (cm)	Umidade Volum. (%)		VIB cm/h	Ordem de Solo	Classificação Físico-Hídrica (Superfície)	Notação (Superf.)	Classificação Físico-Hídrica (Padrão)	Notação (Padrão)
Gjo	Gt1	0,3	22,1	22,0	17,29	I	Associação de solo AERADO - AQUÍFERO A <sup>+</sup> rápido e anaerado - aquífero Ca <sup>-</sup> muito lento	A <sup>+</sup>	Associação de solo AERADO - AQUÍFERO TRUNCADO POR FREÁTICO Ba <sup>+</sup> P rápido e anaerado - aquífero truncado por freático Ca <sup>-</sup> P muito lento	Ba <sup>+</sup> P
		0,63	17,0	16,6		IP				
OJs	Gt2	0,3	8,6	17,8	0,08	VII	Associação de solo MESAERADO - AQUÍFERO Ba moderadamente rápido e aerado - aquífero A <sup>+</sup> rápido	Ba	Associação de solo MESAERADO - AQUÍFERO TRUNCADO POR FREÁTICO CwaP moderadamente rápido e aerado - aquífero truncado por freático Ba <sup>+</sup> P rápido	CwaP
		0,35	8,6	17,8		VIIIP				
	Ot	0,3	13,7	13,0	9,83	III				
		0,43	19,7	2,3		VIP				
Gjh	Gt3	0,3	22,1	22,0	17,29	I	Associação de solo ANAERADO - AQUÍFERO Ca <sup>-</sup> muito lento e aerado - aquífero A <sup>+</sup> rápido	Ca <sup>-</sup>	Associação de solo ANAERADO - AQUÍFERO TRUNCADO POR FREÁTICO Ca <sup>-</sup> P muito lento e aerado - aquífero truncado por freático Ba <sup>+</sup> P rápido	Ca <sup>-</sup> P
		0,63	17,0	16,6		IP				
	Gt2	0,3	8,6	17,8	0,08	VII				
		0,35	8,6	17,8		VIIIP				
Gt1	0,3	22,1	22,0	17,29	I					
	0,63	17,0	16,6		IP					

**Tabela 5.5:** Classificação físico-hídrica das unidades de mapeamento na área de estudo  
(continuação).

Unidade de Mapeam.	Solos Compon.	Prof. (cm)	Umidade Volum. (%)		VIB (cm/h)	Ordem de Solo	Nomenclatura Físico-Hídrica	Notação (Superf.)	Nomenclatura Físico-Hídrica (Padrão)	Notação (Padrão)
			A	W						
<b>GXbd1</b>	Gh	0,3	14,9	8,3	10,66	IV	Solo MESAERADO - MESAQUÍFERO Baw moderadamente rápido	Baw	Solo MESAERADO - MESAQUÍFERO Baw moderadamente rápido	Baw
		0,7	14,0	8,0						
<b>CXbd1</b>	Ch	0,3	29,7	5,8	11,40	V	Solo AERADO - AQUÍCLUDO Cw moderadamente rápido	Cw	Solo AERADO - AQUÍCLUDO Cw moderadamente rápido	Cw
		0,7	24,0	5,8						

\* Perfil com truncamento por lençol freático a 0,63 m de profundidade.

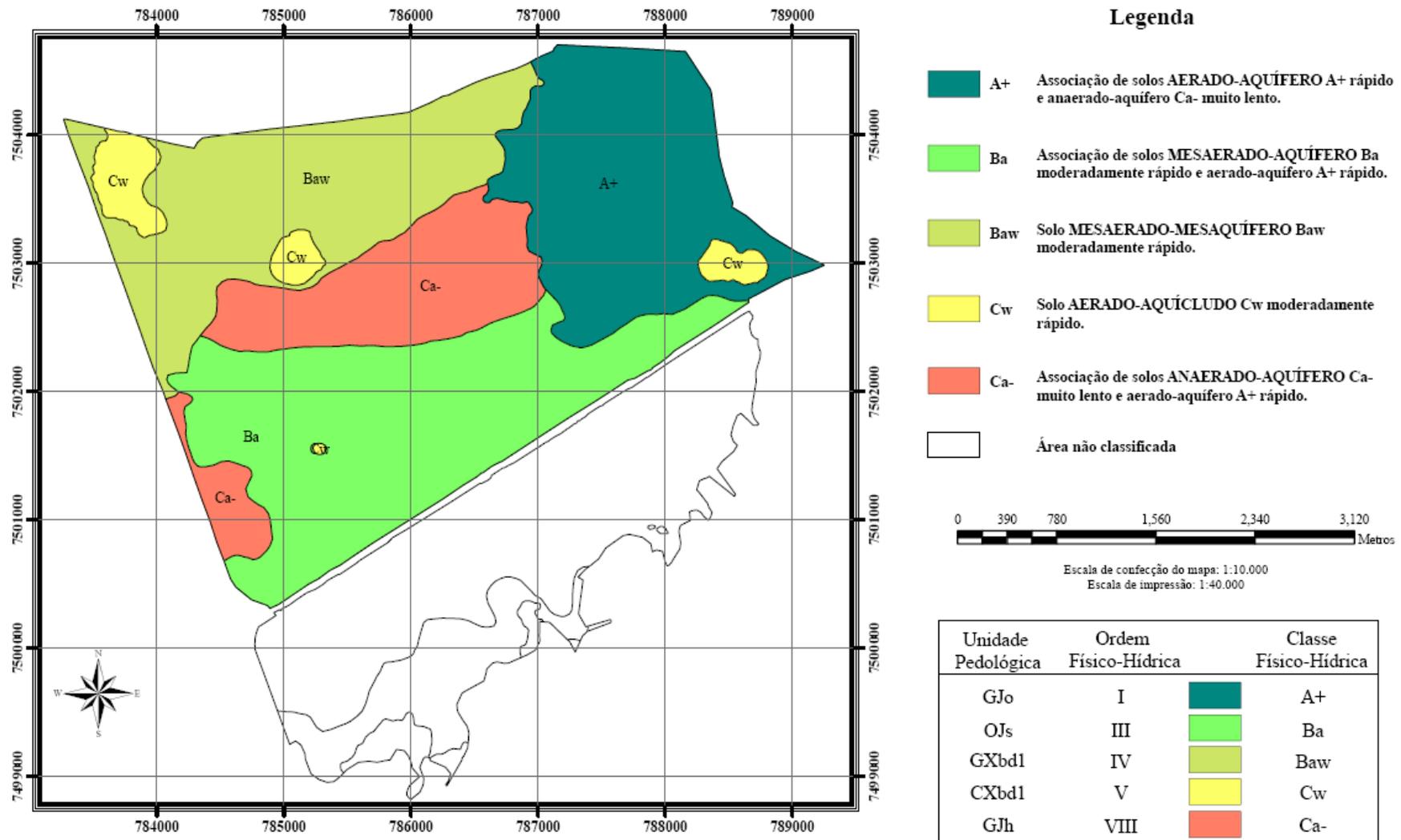
\*\* Perfil com truncamento por lençol freático a 0,35 m de profundidade.

\*\*\* Perfil com truncamento por lençol freático a 0,43 m de profundidade.

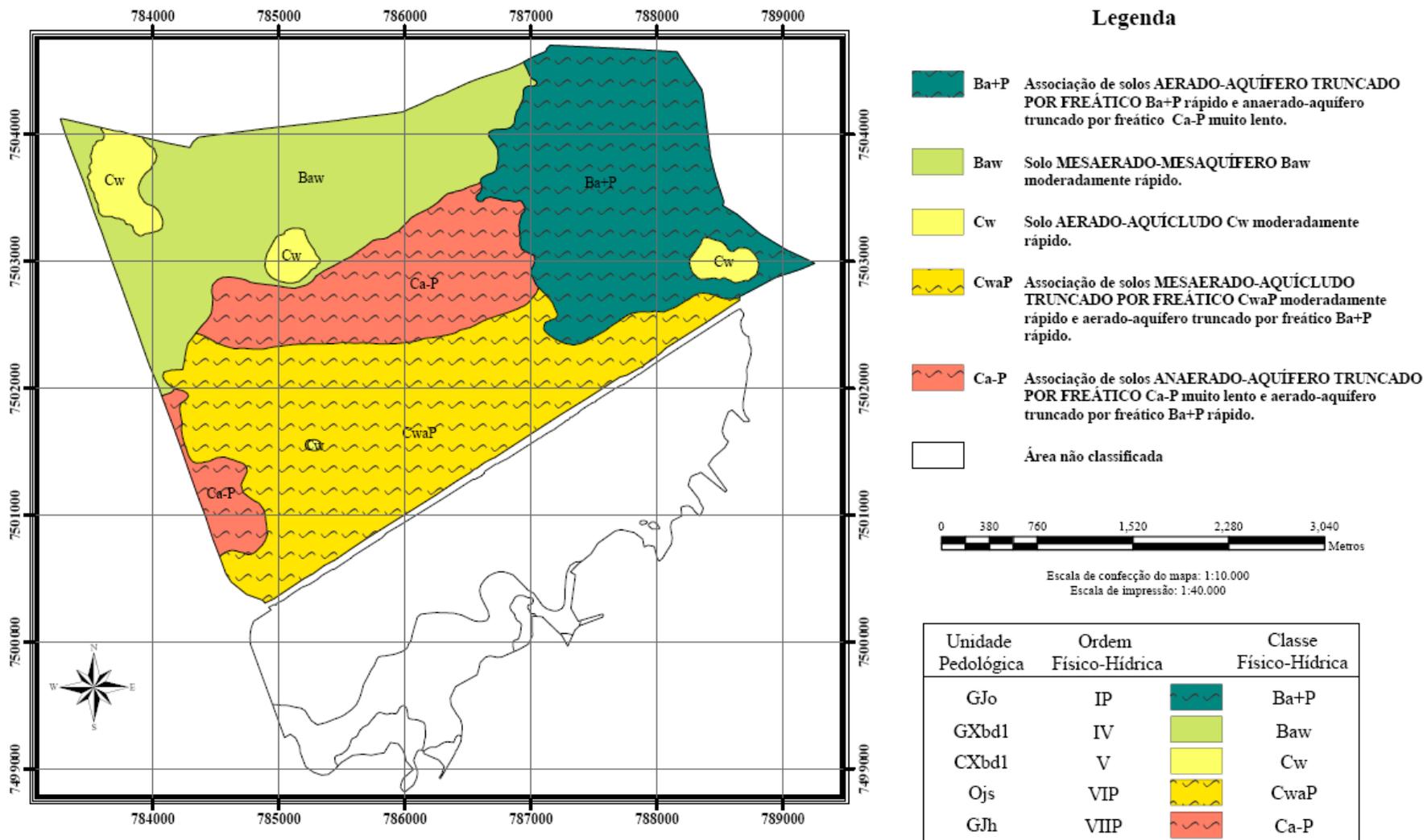
As Figuras 5.1 e 5.2 apresentam, respectivamente, os mapas e as legendas físico-hídricas das classificações de superfície e padrão para a área estudada, bem como as correspondências entre as unidades pedológicas e físico-hídricas. Analisando a Tabela 5.5, correspondente à classificação das unidades de mapeamento, pode-se identificar áreas com baixas, médias e altas restrições físico-hídricas.

Sob o ponto de vista físico-hídrico, a unidade de mapeamento que contém os melhores terrenos para utilização agrícola é a GJo, apresentando o Gleissolo Tiomórfico Órtico Organossólico (Gt1) como classe preponderante. Os estados de aeração e de hidratação desse solo foram considerados altos (ordem I), tanto nas profundidades padrão e de superfície. Mesmo sendo, pedologicamente, um solo classificado como Gleissolo, a boa drenagem interna do perfil e as altas taxas médias de infiltração conferem alta permeabilidade e aeração a esses terrenos, provavelmente relacionadas aos altos teores de matéria orgânica dos seus horizontes superficiais. Sua principal limitação físico-hídrica, sob o aspecto agrícola, seria com relação ao elevado nível do lençol freático. Essa unidade de mapeamento (GJo) representa 33,2% da área, como já antes mencionado

Solos também de grande representatividade na área e que apresentaram restrições físico-hídricas relevantes foram os correspondentes às unidades GJh e OJs, representando, respectivamente, 14,1% e 27% do assentamento Sebastião Lan II. Na classificação padrão (Figura 5.1), esses solos correspondem às cores vermelho claro e amarelo, indicando que suas principais limitações físico-hídricas no perfil de 70 cm de profundidade são as baixas disponibilidades de ar e permeabilidade (solos anaerados) e a baixa disponibilidade de água (solos aquícludos), respectivamente. Adicionalmente,



**Figura 5.2:** Mapa físico-hídrico de superfície do assentamento Sebastião Lan II - Silva Jardim – RJ.



**Figuras 5.3:** Mapa físico-hídrico padrão do assentamento Sebastião Lan II - Silva Jardim – RJ.

ambas as unidades apresentaram o nível do lençol freático elevado abrangendo os solos em porções mais baixas da área de estudo. Para a classificação de superfície, houve mudança apenas na unidade OJs, sendo esta classificada como um mesaerado-aquífero (cor verde claro), apresentando apenas média restrição quanto à aeração. A unidade GJh tem como classe predominante um Gleissolo Tiomórfico Húmico (perfil P09), uma unidade pedológica com sérias restrições em sua capacidade de aeração, como visto anteriormente. A associação OJs tem predominância de um Organossolo Tiomórfico Sáprico, cuja principal limitação físico-hídrica, além do alto lençol freático, é a baixa disponibilização de água de seu perfil subsuperficial, como já mencionado. Seu solo secundário (Gt3) (Tabela 5.4) é de alta capacidade de aeração e de hidratação.

Uma última unidade de grande extensão espacial (21,8%) é a GXbd1, sendo representada somente por uma classe de solo (Gleissolo Háplico). Também apresentou comportamento semelhante nas profundidades padrão e de superfície, sendo classificado como mesaerado-mesaquífero (ordem IV) para ambas as profundidades. Apresenta médias restrições quanto a aeração e hidratação, sendo sua classe físico-hídrica ( $B_{aw}$ ) a classe de qualidade mediana no SCFHS (A, W e VIB com valores médios). Espera-se que seus terrenos apresentem boa resposta ao uso agrícola sob a ótica físico-hídrica.

Solos com pouca expressão territorial são os componentes da unidade de mapeamento CXbd1 composta pelos Cambissolos Háplicos, aqui representada pelo perfil P04. Ocupam somente 3,9% da área do assentamento e correspondem a declividades mais acentuadas, apresentando relevo caracterizado como suave ondulado a forte ondulado. Essa unidade caracteriza-se por apresentar solos com sérias restrições hídricas. Como são bem aerados, se irrigados ou no período úmido, são terrenos muito promissores hidrofisicamente para a prática agrícola, como já mencionado.

Deve-se também dizer que, em função dos altos teores de matéria orgânica e argila nas camadas superficiais das unidades de mapeamento GJo, GJh e OJs, formadas pelos Gleissolos e Organossolos Tiomórficos, esses terrenos devem apresentar alta susceptibilidade à compactação, não sendo esses muito bem adequados a práticas agrícolas intensivas e ao pastoreio. Eles também correspondem aos solos mais baixos da área estudada, e com freático acima da profundidade de 70 cm, como atestado pela Figura 5.2.

#### 5.4 - Classificação Físico-Hídrica dos Perfis Representativos dos Solos da Microbacia Córrego da Cachoeira.

Neste tópico, serão apresentados os resultados físico-hídricos referentes à microbacia Córrego da Cachoeira, Paty de Alferes – RJ. A legenda atualizada segundo o SiBCS (2006) e o mapa pedológico atualizado da microbacia encontram-se nos Apêndices H e I, respectivamente. O Apêndice J apresenta a nomenclatura dos 8 perfis representativos selecionados, onde foram realizados os testes físico-hídricos. Na Tabela 5.6, encontram-se os resultados médios das variáveis físico-hídricas, segundo Brito (2004), dos perfis representativos da área, com extensão de 11 km<sup>2</sup>, e suas respectivas classificações texturais e físico-hídricas, para as profundidades de superfície e padrão.

**Tabela 5.6:** Classificação e resultados físico-hídricos dos perfis de solos representativos da microbacia do Córrego da Cachoeira - Paty do Alferes/RJ, nas profundidades padrão (0-70 cm) e de superfície (0-30 cm), com as classes texturais correspondentes.

Classe Pedológica Perfil	Prof. (cm)	Classificação Textural	PT	Umidade Volumétrica				VIB (cm/h)	Classe de Solo	Ordem de Solo
				CC	PMP (%)	A	W			
Latossolo Amarelo Distrófico típico A moderado (PCC1)	0,7	Argilosa	47,1	28,8	26,1	18,2	2,7	5,11	Cwa	VI
	0,3	Argilosa	48,9	28,7	25,4	20,2	3,3		Cw	V
Latossolo Amarelo Distrófico típico A moderado (PCC2)	0,7	Argilosa	47,4	29,3	27,9	18,0	1,4	1,92	Cwa <sup>-</sup>	IX
	0,3	Argilosa	48,5	28,9	26,9	19,6	2,0		Cwa <sup>-</sup>	IX
Cambissolo Hápico Tb Distrófico típico (PCC4)	0,7	Argilosa	52,5	37,0	34,0	15,5	3,0	10,4	Cwa	VI
	0,3	Argilosa	52,3	36,1	33,8	16,2	2,3		Cwa	VI
Argissolo Vermelho Distrófico típico (PCC7)	0,7	Argilosa	42,1	25,6	16,1	16,4	9,5	1,04	Baw <sup>-</sup>	VIII
	0,3	Argilosa	47,6	22,5	17,1	25,2	5,4		Cw <sup>-</sup>	VI
Gleissolo Hápico Tb Distrófico neofluvisólico (PCC11)	0,7	Média	44,7	22,9	22,3	21,8	0,6	28,25	Cw <sup>+</sup> P	VP
	0,3*	Média	44,7	22,9	22,3	21,8	0,6		Cw <sup>+</sup>	V
Cambissolo Flúvico Tb Distrófico gleissólico (PCC13)	0,7	Média	41,7	31,9	21,1	9,8	10,8	2,24	Caw	VIII
	0,3	Média	37,8	25,4	17,6	12,4	7,8		Baw	IV
Argissolo Vermelho Tb Alítico típico (IP5)	0,7	Média/Argilosa	47,2	23,0	16,4	24,2	6,5	2,92	Bw	II
	0,3	Média/Argilosa	49,3	22,3	16,2	27,0	6,1		Bw	II
Cambissolo Hápico Ta Distrófico típico (IIP5)	0,7	Argilosa	46,3	24,7	15,3	21,7	9,4	2,08	Bw	II
	0,3	Argilosa	44,1	25,6	17,7	18,6	7,9		Baw	IV

\*Transição para o lençol freático a 0,30 m de profundidade.

Ressalta-se que tais resultados relacionados aos perfis de solos representativos não serão aqui discutidos, pois a atenção será dada somente com relação ao novo mapeamento físico-hídrico, já que, quando da realização do trabalho de Brito (2004), não existia ainda uma metodologia geral padronizada quanto ao tal mapeamento. Importante também enfatizar que as nomenclaturas pedológicas de todas as classes de solos do trabalho de Brito (2004) foram atualizadas de acordo com o SiBCS (2006).

A Tabela 5.6 foi obtida a partir dos levantamentos físico-hídricos de Brito (2004), em sua Tabela 4. Deve-se dizer que as médias  $\bar{A}$  e  $\bar{W}$  (nos perfis de 0-30 cm e 0-70 cm) calculados por Brito coincidem com os valores calculados na Tabela 5.6, com apenas uma exceção. Essa exceção diz respeito ao valor de W no perfil (0-70 cm) em relação ao pedon PCC13, que foi de 9,0% naquele trabalho e de 10,9% no presente, o que não conduz a qualquer diferença na classificação físico-hídrica. Portanto, as classificações de ambos os trabalhos são inteiramente coincidentes em relação a todos os 8 perfis representativos e encontram-se descritas na Tabela 5.7.

**Tabela 5.7:** Legenda físico-hídrica dos perfis dos solos representativos da microbacia do Córrego da Cachoeira - Paty do Alferes/RJ.

Classe Pedológica Perfil	Descrição com Caracterização e Nomenclatura Físico-Hídricas
Latossolo Amarelo Distrófico típico A moderado (PCC1)	Solo mesaerado-aquícludo Cwa / aerado-aquícludo Cw moderado
Latossolo Amarelo Distrófico típico A moderado (PCC2)	Solo anaerado-aquícludo Cwa <sup>-</sup> moderadamente lento
Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico (PCC4)	Solo mesaerado-aquícludo Cwa moderadamente rápido
Argissolo Vermelho Distrófico típico (PCC7)	Solo anaerado-mesaquífero Baw <sup>-</sup> / mesaerado-aquícludo Cw <sup>-</sup> moderadamente lento
Gleissolo Háptico Tb Distrófico neofluvíssólico (PCC11)	Solo aerado-aquícludo truncado por freático Cw <sup>+</sup> P / aerado-aquícludo Cw <sup>+</sup> muito rápido
Cambissolo Flúvico Tb Distrófico gleissólico (PCC13)	Solo anaerado-mesaquífero Caw / mesaerado-mesaquífero Baw moderado
Argissolo Vermelho Tb Alítico típico (IP5)	Solo aerado-mesaquífero Bw moderado
Cambissolo Háptico Ta Distrófico típico (IIP5)	Solo aerado-mesaquífero Bw / mesaerado-mesaquífero Baw moderado

## 5.5 - Mapeamento Físico-Hídrico dos Solos da Microbacia do Córrego da Cachoeira - Paty do Alferes/RJ.

A unidade de mapeamento LAd (Apêndice H) foi representada somente por uma classe latossólica designada com La na Tabela 5.8, que teve como perfis representativos o PCC1 e PCC2.

**Tabela 5.8:** Classificações físico-hídricas de Superfície e Padrão das classes de solo da microbacia do Córrego da Cachoeira - Paty do Alferes/RJ.

Classe de Solo	Notação	Perfis Repres.	Prof. (m)	Umidade Volumétrica					VIB (cm/h)	Classe de Solo	Ordem de Solo
				PT	CC	PMP (%)	A	W			
LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura argilosa	La	PCC1	0,3	48,7	28,8	26,1	19,9	2,7	3,51	Cwa	VI
		PCC2	0,7	47,2	29,0	27,0	18,2	2,0		Cwa	VI
ARGISSOLO VERMELHO Tb Alítico típico A moderado textura média/argilosa	Ava	(IP5)	0,3	49,3	22,3	16,2	27,0	6,1	2,92	Bw	II
			0,7	47,2	23,0	16,4	24,2	6,5		Bw	II
ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado textura argilosa	Av	(PCC7)	0,3	47,6	22,5	17,1	25,2	5,4	1,04	Cw <sup>-</sup>	VI
			0,7	42,1	25,6	16,1	16,4	9,5		Baw <sup>-</sup>	VIII
CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico A moderado textura média	Ch	(IIP5)	0,3	44,1	25,6	17,7	18,6	7,9	2,08	Baw	IV
			0,7	46,3	24,7	15,3	21,7	9,4		Bw	II
CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Distrófico gleissólico A moderado textura média e argilosa	Cf	PCC13	0,3	37,8	25,4	17,6	12,4	7,8	2,24	Baw	IV
			0,7	41,7	31,9	21,1	9,8	10,8		Caw	VIII
CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico A moderado textura argilosa	C	PCC4	0,3	52,3	36,1	33,8	16,2	2,3	10,4	Cwa	VI
			0,7	52,5	37,0	34,0	15,5	3,0		Cwa	VI
GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico A moderado textura média	Gh	PCC11	0,3	44,7	22,9	22,3	21,8	0,6	28,25	Cw <sup>+</sup>	V
			0,3*	44,7	22,9	22,3	21,8	0,6		Cw <sup>+</sup> P	VP

\*Transição para o lençol freático a 0,30 m de profundidade.

Obs: Nas demais classes não foram realizados os testes físico-hídricos; estas se apresentaram como classes secundárias das unidades de mapeamento.

Analisando a classe dos Latossolos Amarelos, foram obtidas, segundo preconizado pela metodologia, as médias aritméticas dos dados das variáveis físico-hídricas dos perfis dos Latossolos PCC1 e PCC2 (Tabela 5.8), por estes apresentarem entre si a mesma descrição pedomorfológica, praticamente coincidente com a descrição da legenda da unidade La. Mesmo sendo morfogeneticamente parecidos, os dois perfis representativos se diferenciaram em nível de classe e ordem na classificação físico-hídrica. Detalhando os dois perfis (Tabela 5.6), verifica-se que tanto o PCC1 quanto o PCC2 foram homogêneos em suas propriedades hidrofísicas e não apresentaram

grandes restrições quanto à disponibilidade de ar (A). Em compensação, a permeabilidade nos dois perfis foi razoavelmente diferente, talvez por diferenciação no arranjo estrutural do solo devido ao manejo do mesmo ou à inerente variabilidade espacial dos terrenos. O PCC1 apresentou uma taxa de velocidade de infiltração média ( $VIB = 5,11 \text{ cm h}^{-1}$ ), enquanto que o PCC2 teve baixa taxa de infiltração ( $VIB = 1,92 \text{ cm/h}$ ), mas preticamente no limite para a classe de média VIB ( $VIB = 2,0 \text{ cm.h}^{-1}$ ). Essa diferença entre as VIB`s fez com que o *status* do nível de aeração do PCC2 fosse rebaixado de médio para baixo. Para esses perfis, observa-se que ambos apresentaram apenas restrições severas quanto às suas capacidades de armazenar água.

A unidade de mapeamento CXbd foi representada por uma associação de Cambissolos, como mostra a Tabela 5.9, representadas pelas notações C e Cf (Cambissolo Háplico Tb Distrófico – perfil PCC4 e Cambissolo Flúvico Tb Distrófico – PCC13, respectivamente, de acordo com a Tabela 5.8). A classe predominante na unidade de mapeamento CXbd foi o Cambissolo Háplico Tb Distrófico, aqui denotado como C, tendo como classe secundária o Cambissolo Flúvico, denotado como Cf (Tabela 5.8).

Isoladamente, os perfis PCC4 e PCC13 apresentaram classes e ordens diferenciadas no sistema de classificação físico-hídrica. Observa-se que os dados granulométricos bem como hídricos (Tabela 5.6) referentes aos dois perfis apresentam valores bem diferentes. As diferenças hidrofísicas existentes entre os dois perfis, claramente identificados na Tabela 5.6, devem possivelmente se dar em função de suas distinções granulométricas e estruturais. Suas maiores limitações são a capacidade de hidratação do PCC4 e a capacidade de aeração do PCC13. Quanto ao mapeamento, ambos os perfis interferem somente no mapeamento da unidade Cd3, como já referido, que é a unidade que representa os Cambissolos que aparecem nas áreas de baixada da microbacia.

Outras duas unidades de mapeamento com associação de solos foram o CXvd1 e CXvd2, ambas com classificações idênticas por serem representadas pelos mesmos solos Cambissólicos e Argissólicos (Apêndice H), diferenciando-se apenas quanto ao relevo. Integrando essas duas unidades como classe preponderante da associação, incluiu-se outro Cambissolo (designado como Ch na Tabela 5.8), ocupando posições mais acívas da paisagem, representado pelo perfil IIP5. O comportamento físico-hídrico desse Cambissolo de encosta se apresentou também bem diferente dos outros Cambissolos citados anteriormente. Os resultados obtidos mostraram que o perfil IIP5

não apresentou qualquer restrição severa quanto a sua aeração para a classificação padrão, não sendo afetado pela VIB, a qual apresentou um valor médio. Já a disponibilidade hídrica foi classificada como média. Sob o ponto de vista agrícola são solos bons físico-hidricamente, apresentando pouca ou nenhuma restrição na aeração e um valor médio na disponibilidade de água ao longo de todo o perfil. A principal limitação desse solo seria seu médio valor da VIB, próximo do limite de 2,0 cm/h, que marca a transição para baixas velocidades de infiltração. Como classe secundária nas unidades de mapeamento CXvd1 e CXvd2 têm-se um Argissolo Vermelho Tb Alítico (perfil IP5), designado como Ava (Tabela 5.8), o qual se apresentou com um bom comportamento físico-hídrico, sendo classificado na ordem II, tanto na classificação padrão como de superfície (Tabela 5.9). Nesse caso, o fator preocupante é em relação à disponibilidade de água (W) que se encontra próxima do limite de 6% do nível de baixa W.

Como classe preponderante das unidades de mapeamento PVal1 e PVal2 (Apêndice H), aparece o mesmo Argissolo descrito no parágrafo anterior como classe secundária (Ava). Essas duas unidades de mapeamento tiveram classificações físico-hídricas idênticas por terem os mesmos solos preponderantes, diferenciando-se também apenas com relação ao relevo. Ambas foram compostas de uma mesma associação de solos, porém sua classe secundária (também um Argissolo) não teve os dados físico-hídricos levantados (Tabela 5.9).

A unidade de mapeamento PVD também é uma associação de Argissolos, cuja classe preponderante é composta de um Argissolo Vermelho Distrófico típico (solo Av) que teve como perfil representativo o PCC7 (Tabelas 5.8 e 5.9), mas cuja classe secundária não foi levantada em termos dos testes físico-hídricos. Esta foi uma unidade de mapeamento que sempre se posicionou na paisagem acompanhada do Latossolo LAd. A sua disponibilidade de ar na classificação de superfície foi alta, enquanto que a disponibilidade de água foi baixa. Já na classificação padrão, a disponibilidade de ar diminuiu de nível, passando para média, assim com a retenção de água disponível também variou, passando a ser considerada de nível médio (Tabela 5.6). A baixa VIB, com valor de 1,04 cm/h, teve influência marcante na sua classificação, rebaixando os níveis de aeração do perfil devido ao seu baixo valor. Desta forma, a baixa permeabilidade do perfil impede que este solo seja bem classificado no item aeração. Neste perfil, houve grande diferença entre os dois tipos de classificação, indicando que o horizonte diagnóstico subsuperficial mais argiloso que as camadas superficiais

possivelmente promoveu maior retenção de água disponível e menor aeração, e influenciou muito nas classificações. O perfil e a unidade de mapeamento foram enquadrados na ordem VIII para a classificação físico-hídrica padrão e na ordem VI para a classificação de superfície, ambas consideradas de alta restrição, sendo a primeira com restrição de ar e a segunda com restrição de água. Portanto pode-se dizer que a unidade de mapeamento PVd é composta majoritariamente por solos onde pode se esperar um baixo desempenho agrônômico por motivos de aeração e baixa capacidade de água disponível.

**Tabela 5.9:** Classificação físico-hídrica das unidades de mapeamento da microbacia do Córrego da Cachoeira - Paty do Alferes/RJ.

Unidade de Mapeam.	Solos Compon.	Prof. (m)	Umidade Volum. (%)		VIB (cm/h)	Ordem de Solo	Classificação Físico-Hídrica (Superfície)	Notação (Superf.)	Classificação Físico-Hídrica (Padrão)	Notação (Padrão)
			A	W						
LAd	La	0,3	19,9	2,7	3,51	VI	Solo MESAERADO-AQUÍCLUDO Cwa moderado	Cwa	Solo MESAERADO-AQUÍCLUDO Cwa moderado	Cwa
		0,7	18,2	2,0		VI				
PVa11*	Ava	0,3	27,0	6,1	2,92	II	Associação de solo AERADO-MESAQUÍFERO Bw moderado e solo não levantado	Bw	Associação de solo AERADO-MESAQUÍFERO Bw moderado e solo não levantado	Bw
		0,7	24,2	6,5		II				
PVa12*	Ava	0,3	27,0	6,1	2,92	II	Associação de solo AERADO-MESAQUÍFERO Bw moderado e solo não levantado	Bw	Associação de solo AERADO-MESAQUÍFERO Bw moderado e solo não levantado	Bw
		0,7	24,2	6,5		II				
PVd*	Av	0,3	25,2	5,4	1,04	VI	Associação de solo MESAERADO-AQUÍCLUDO Cw <sup>-</sup> moderadamente lento e solo não levantado	Cw <sup>-</sup>	Associação de solo ANAERADO-MESAQUÍFERO Baw <sup>-</sup> moderadamente lento e solo não levantado	Baw <sup>-</sup>
		0,7	16,4	9,5		VIII				
CXvd1	Ch	0,3	18,6	7,9	2,08	IV	Associação de solo MESAERADO-MESAQUÍFERO Baw moderado e aerado-mesaquífero Bw moderado	Baw	Associação de solos AERADO-MESAQUÍFERO Bw moderado	Bw
		0,7	21,7	9,4		II				
	Ava	0,3	27,0	6,1	2,92	II				
		0,7	24,2	6,5		II				
CXvd2	Ch	0,3	18,6	7,9	2,08	IV	Associação de solo MESAERADO-MESAQUÍFERO Baw moderado e aerado-mesaquífero Bw moderado	Baw	Associação de solos AERADO-MESAQUÍFERO Bw moderado	Bw
		0,7	21,7	9,4		II				
	Ava	0,3	27,0	6,1	2,92	II				
		0,7	24,2	6,5		II				
CXbd	C	0,3	16,2	2,3	10,4	VI	Associação de solo MESAERADO-AQUÍCLUDO Cwa moderadamente rápido e mesaerado-mesaquífero Baw moderado	Cwa	Associação de solo MESAERADO-AQUÍCLUDO Cwa moderadamente rápido e anaerado-mesaquífero Caw moderado	Cwa
		0,7	15,5	3,0		VI				
	Cf	0,3	12,4	7,8	2,24	IV				
		0,7	9,8	10,8		VIII				
GXbd	Gh	0,3	21,8	0,6	28,25	VP	Solo AERADO-AQUÍCLUDO Cw <sup>+</sup> muito rápido	Cw <sup>+</sup>	Solo AERADO-AQUÍCLUDO TRUNCADO POR FREÁTICO Cw <sup>+</sup> P muito rápido	Cw <sup>+</sup> P
		0,3*	21,8	0,6		VP				

\*A classe secundária dessa unidade não foi levantada em termos físico-hídricos (perfil representativo não foi selecionado).

\*\* Profundidade de impedimento por lençol freático.

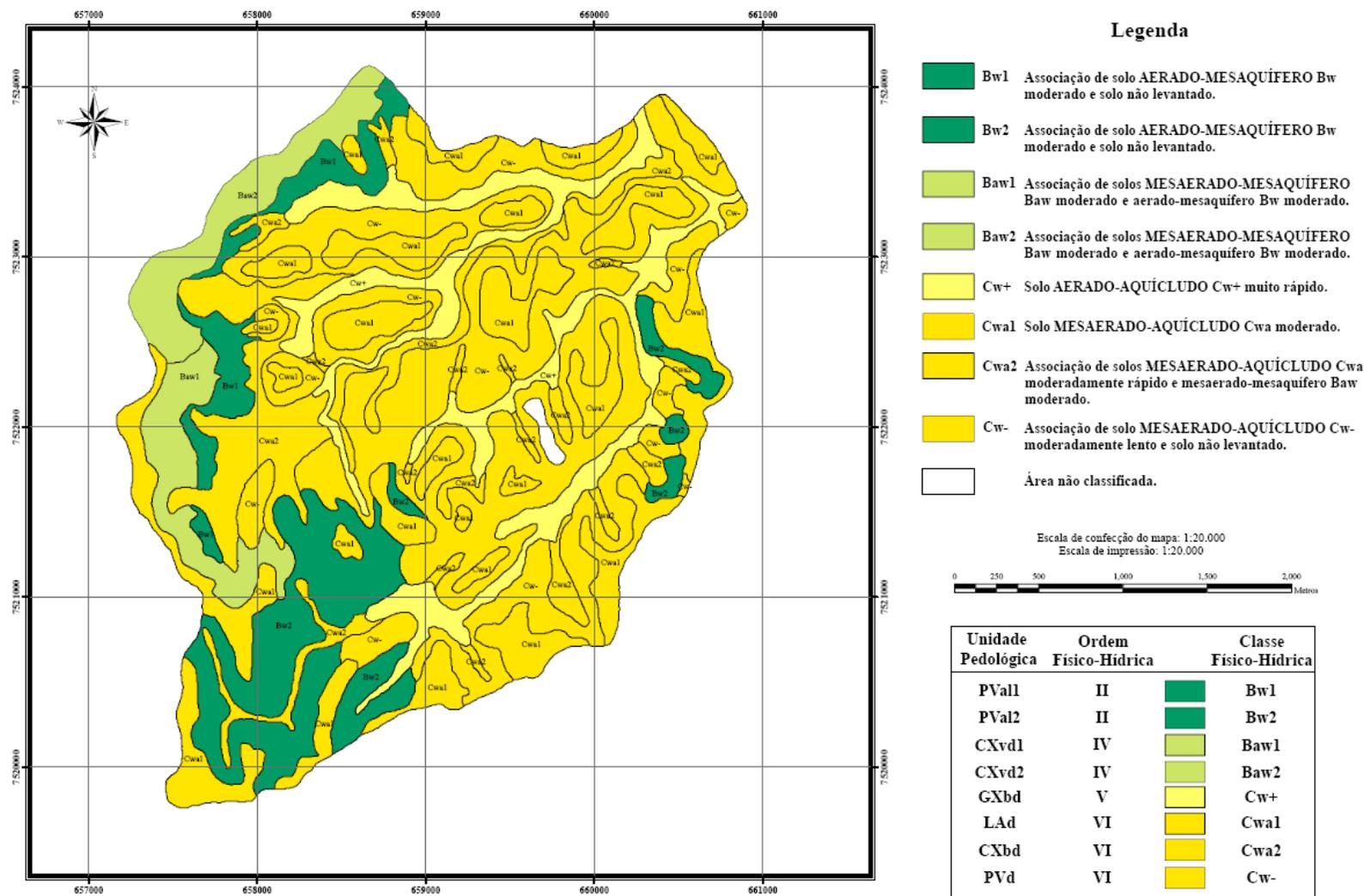
A unidade de mapeamento GXbd correspondente ao perfil PCC11, sem associação com outros solos, foi, dentre todos os solos representativos da área, o único que apresentou impedimento por lençol freático. Segundo Brito (2004), a coleta das amostras se procedeu até a profundidade de 0,30 m, onde se verificou a influência do lençol freático. Esta profundidade de 0,30 m corresponde ao limite para a classificação de superfície. Portanto, os valores médios de ar (A) e água (W) disponíveis foram considerados invariantes para o resto do perfil, de acordo com a metodologia proposta, resultando numa mesma classificação físico-hídrica tanto de superfície quanto padrão, a menos do caráter P (truncado por lençol freático) que somente existiu na classificação padrão. A unidade GXbd corresponde a Gleissolos com alto nível do lençol freático (solos Gh na Tabela 5.8). O estado de aeração desse solo na camada superficial foi considerado alto, tanto por conta do alto A (21,8%) quanto da alta taxa de infiltração básica (VIB = 28,25 cm/h). Mesmo sendo um Gleissolo Háplico, as características morfológicas e estruturais do solo conferem alta permeabilidade e aeração à camada superficial destes terrenos de várzea, pelo menos na estação seca (quando são realizados os testes físico-hídricos). Entretanto, seu valor de W se mostrou extremamente baixo, conferindo à camada superficial deste solo características físico-hídricas muito similares a uma areia típica (muito baixa capacidade de água disponível e muito alta aeração).

A Tabela 5.10 apresenta a dimensão relativa de cada área nas diversas unidades de mapeamento.

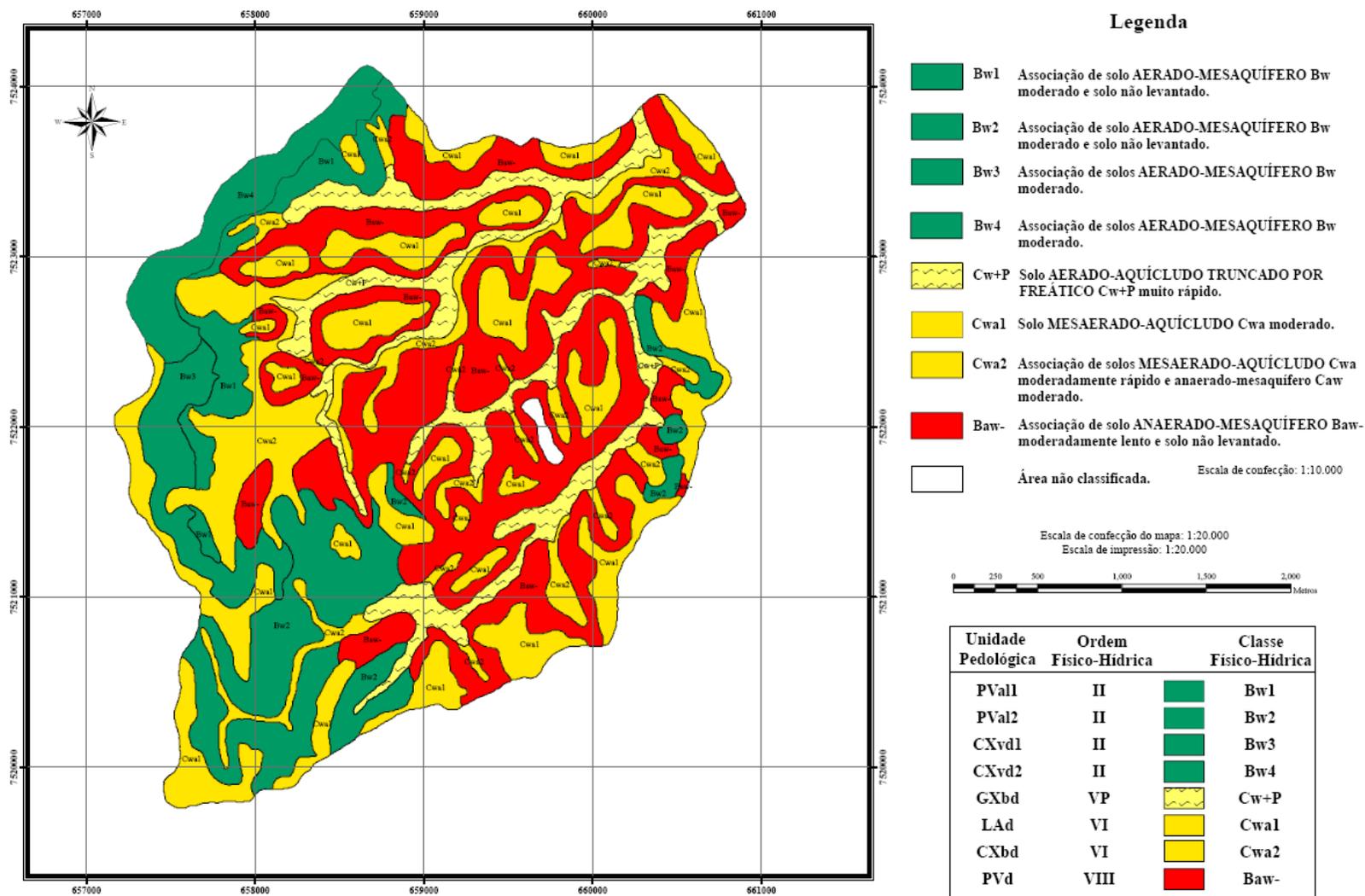
**Tabela 5.10:** Área dos solos da microbacia do Córrego da Cachoeira, Paty do Alferes/RJ. (Embrapa, 2000).

Unidade de Mapeamento	Área (ha)	Área (%)
LAd	216	20,1
PEe	3	0,3
PVal1	44	4,1
PVal2	134	12,5
PVd	349	32,6
CXvd1	42	3,9
CXvd2	48	4,5
CXbd	127	11,8
GXbd	109	10,2
<b>Total</b>	<b>1072</b>	<b>100</b>

Pode-se dizer que uma parte preponderante dos solos da microbacia do Córrego da Cachoeira tende a apresentar limitações físico-hídricas importantes, tanto no que diz respeito à capacidade de água disponível em muitos solos, mas também quanto à aeração na unidade de mapeamento PVd. Sob o ponto de vista hidrofísico os solos mais promissores são as associações predominadas pelos Cambissolos, que não se encontram nas baixadas e pelos Argissolos Vermelhos Tb Alíticos, estes últimos situados principalmente nas vertentes localizadas a oeste e sul da área. Tais solos são os únicos representados pela cor verde em ambos os mapas físico-hídricos.



**Figura 5.4:** Mapa físico-hídrico de superfície atualizado da microbacia do Córrego da Cachoeira - Paty do Alferes/RJ.



**Figura 5.5:** Mapa físico-hídrico padrão atualizado da microbacia do Córrego da Cachoeira - Paty do Alferes/RJ.

## CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Através deste trabalho, foi possível classificar e mapear de forma sistemática os solos do assentamento Sebastião Lan II, bem como mapear os solos da microbacia Córrego da Cachoeira, por meio do Sistema de Classificação Físico-Hídrica de Solos (SCFHS), a partir de informações quantitativas de parâmetros hidrofísicos do solo. Esse sistema revelou-se como ferramenta eficiente e de grande importância hidropedológica, identificando fatores limitantes do perfil com relação ao desenvolvimento das plantas, no que tange à disponibilidade de água e à capacidade de aeração do solo. Deve-se enfatizar que o SCFHS foi concebido para estar estritamente ligado a um sistema de classificação pedológica, sendo o levantamento e a classificação físico-hídrica realizados a partir da classificação pedológica.

Os solos exercem papel fundamental em estudos hidrológicos e na modelagem de bacias hidrográficas. A hidropedologia, por sua vez, estimula atenção especial à morfologia do solo, incluindo sua estrutura, a fim de se ter melhor orientação nas medições hidrológicas, e fundamenta a modelagem dos fluxos de água, gases, nutrientes e calor na zona vadosa. Nesta dissertação, os resultados obtidos através do SCFHS indicaram a robustez e a aplicabilidade da metodologia proposta pelo sistema, permitindo consolidar o emprego do conceito hidropedológico em estudos hidrológicos, pedológicos e agronômicos.

Destaca-se ainda que o mapeamento físico-hídrico pode ser uma ferramenta para discriminar os usos agrícola e não-agrícola, caracterizando ambientes para a agricultura e definindo áreas de planejamento ambiental. Além disso, o SCFHS constitui-se em procedimento potencialmente importante no balanço hídrico dos solos, pois permite gerar e consolidar uma base de informações que oferece suporte à compreensão dos processos de escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo que ocorrem na escala da bacia hidrográfica.

Existe ainda a proposta de inclusão do Sistema de Classificação Físico-Hídrica nos níveis categóricos mais baixos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Macedo *et al.*, 2004). Nesse caso, o SCFHS apresenta a vantagem de permitir a agregação sistemática de informações sobre a estrutura do solo no que diz respeito a sua capacidade de dispor ar e água às rizosferas. Essas características dos solos, de

caráter edafológico, são de grande importância, podendo assim justificar a proposta de inclusão da caracterização físico-hídrica nos níveis categóricos de família e/ou série do SiBCS, tornando-o mais completo e aplicável às operações de uso e manejo das terras.

Com a aplicação do SCFHS em três bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro, com áreas de 11 a 16 km<sup>2</sup>, envolvendo topografias e solos diversos (Latosolos, Argissolos, Luvisolos, Planossolos, Cambissolos, Neossolos, Gleissolos e Organossolos), e incluindo ambientes limitantes, com terrenos rasos e freático altos, pode-se dizer que a metodologia de classificação e mapeamento físico-hídricos foi relativamente bem testada, sendo positivo o resultado dessa avaliação. Foram verificadas classes de solos em todas as 9 ordens físico-hídricas principais. As limitações decorrentes do lençol freático alto e camada R rasa foram também bem representadas nos mapeamentos. Obviamente, ainda é desejável a aplicação do SCFHS em outros pedoambientes, visando a consolidação da metodologia e a avaliação plena de seu potencial aplicativo.

A ciência hidrológica deve, cada vez mais, enfatizar suas relações com a ciência do solo. O principal mecanismo de controle hidrológico numa bacia hidrográfica são os solos, que constituem, de fato, a superfície física da bacia. Esse controle atua não só na formação do escoamento superficial e das descargas de base dos rios, mas também como elemento de disponibilização hídrica para a evapotranspiração e para a recarga, por percolação profunda, dos mananciais hídricos subterrâneos. Portanto, a hidrologia dos solos é uma das principais áreas de conhecimento envolvidas na discussão sobre a parametrização de atributos físico-hídricos de solos em modelos hidrológicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHUJA, L.R.; NANEY, J.W.; GREEN, R.E.; NIELSEN, D.R., 1984. **Macroporosity to characterize spatial variability of hydraulic conductivity and effects of land management.** Soil Science Society of America Journal, v.48, p.699-702.

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. e FOTINELLI, F., 1995. **Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos.** R. Bras. Ci. Solo, v.19, pp.115-119.

ALVARENGA, M.I.N. & DAVIDE, A.C., 1999. **Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas.** R. Bras. Ci. Solo, 23:933-942.

ALVES SOBRINHO, T., 1997. **Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil.** Viçosa, MG:UFV, 85 p.(Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola).

ANDRADE, R. S. & STONE, L. F., 2009. **Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.13, n.4, p.382–388.

ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A. & SILVA, A.P., 2004. **Propriedades físicas de um Latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa.** R. Bras. Ci. Solo, 28, p. 337-345.

ARAÚJO FILHO, J.C. de e RIBEIRO, M. R., 1996. **Infiltração da água em Cambissolos do Baixo de Irecê (BA).** R. Bras. Ci. Solo, v.20, pp.363-370.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A., BAYER, C. & WILDNER, L., 2005. **Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de latossolo**

**vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura.** Ver. Bras. De Cienc. Do Solo, 29, p. 425-435.

BALDWIN, M.; KELLOGG, C. E.; THORP, J., 1938. **Soil classification.** In: SOILS and men. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, [1938]. p. 707-1001. (Yearbook of agriculture).

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C., 2006. **Manual de irrigação,** 8a ed, atualizada e ampliada, Viçosa: Editora UFV, 625p.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F., 1990. **Conservação do Solo.** São Paulo: Ícone, 355p.

BEZERRA, J.R.C.; AMORIM NETO, M. da S.; LUZ, M.J.S. e; BARRETO, A.N.; SILVA, L.C., 1999. **Irrigação do algodoeiro herbáceo.** In: BELTRÃO, N.E. de M. (Org.). O agronegócio do algodão no Brasil. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, v.1, p.619-682.

BODHINAYAKE W.L., Si, B.C., Xiao, C., 2004. **New method for determining water-conducting macro- and mesoporosity from tension infiltrometer.** Soil Science Society of America Journal 68: 760–769.

BOEDT, L. & VERHEYE, W. 1985. **Evaluation of profile available water capacity. 1. The conceptual approach.** Pedologie, 35(1):55-65.

BORGES, E.; ANTONINO, A.C.D.; DALL'OLIO, A.; AUDRY, P. & CARNEIRO, C.J.G., 1999. **Determinação da condutividade hidráulica e da sortividade de um solo não saturado utilizando-se permeâmetro à disco.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.34, p. 2083-2089.

BOUMA, J., 1989. **Using soil survey data for quantitative land evaluation.** Adv. Soil Sci., v.9, p.177-213.

BOUWER H., 1986. **Intake rate: cylinder infiltrometer**. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. Part I. Madison, Amer. Soc. Agron. & Soil Sci. Soc. Am., p.225-243.

BLANCO-CANQUI, H., 2007. **Soil hydraulic properties influenced by corn stover removal from no-till corn in Ohio**. Soil Tillage Research, v.92, p.144-155.

BRADY, N.C., 1989. **The Nature and Properties of Soils**. 10 ed. New York: Mcmillan Publishing Company, cap. 5, p. 123-152: Soil Water: Characteristics and behavior.

BRITO, F.S., 2004. **Classificação físico-hídrica dos solos da sub-bacia Córrego da Cachoeira no município de Paty do Alferes – RJ**. Dissertação de mestrado. UFRRJ, Seropédica.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R., 1995. **Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 19, p.121-125.

CARLESSO, R., 1995. **Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas**. Ciência Rural, 25:183-188.

CARTER, V.H., 1993. **Classificação de terras para irrigação**. Brasília, Secretaria de Irrigação, il. (Manual de Irrigação, v. 2).

CARTER, M. R., 2002. **Quality, critical limits and standardization**. In: LAL, R., ed. Encyclopedia of soil science. New York, Marcel Dekker, p. 1062-1065.

CASTRO, S.S.; COOPER, M.; SANTOS, M.C.; VIDAL TORRADO, P., 2003. **Micromorfologia do solo: bases e aplicações**. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.107-164.

CAVALIERI, K. M. V., SILVA, A.P., TORMENA, A.P., LEÃO, T.P., DEXTER, A.R., HAKANSSON, I., 2009. **Long-term effects of no-tillage on dynamic soil physical properties in a Rhodic Ferrasol in Paraná, Brazil**. Soil & Tillage Research, v. 103, p. 158-164.

CAVAZZA, L.; COMEGNA, V. & LINSALATA, D., 1973. **Correlation of field capacity between field and laboratory determinations.** In: HADAS, A., ed. Physical aspects of soil water and salts in ecosystems. New York, (Ecological Studies, 4), p.187-193.

CHAER, G. M., 2001. **Modelo para a determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos.** Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 90 p. (Tese de Mestrado).

CHIEF, K.; FERRÉ, P. A. & NIJSSEN, B., 2006. **Correlation between air permeability and saturated hydraulic conductivity: unburned and burned soils.** Soil Sci. Soc. of Am. Journal, vol. 72, n. 6, p. 1501-1509.

CIRINO, C.G. e GUERRA, H. O. C., 1994. **Utilização das relações energia/umidade na caracterização físico-hídrica dos solos.** Pesq. Agropec. Bras., v. 29, n. 12, pp. 1973-1978.

DEXTER, A.R., 1988. **Advances in characterization of soil structure.** Soil Tillage Res., 11:199- 238.

DEXTER A. R., 2004a. **Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth.** Geoderma, v. 120, p. 201-214.

DEXTER A. R., 2004b. **Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tilth and hard-setting.** Geoderma, v. 120, p. 215-225.

DEXTER A. R., 2004c. **Soil physical quality: Part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory.** Geoderma, v.120, p. 227-239.

DIAS JUNIOR., M. de S.D. & FERREIRA, M.M., 1997. **Informática na Agropecuária: Física do Solo.** Lavras: UFLA/FAEPE, 54 pp.

EMBRAPA, 1997. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2º ed. Rio de Janeiro, 212 pp.

EMBRAPA, 1999. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412p.

EMBRAPA, 2000. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). **Levantamento semidetalhado dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da microbacia do Córrego da Cachoeira, município de Paty do Alferes, RJ**; Boletim de pesquisa e desenvolvimento, n. 12, Rio de Janeiro.

EMBRAPA, 2006. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306 p.

EMBRAPA, 2009. **Caracterização pedológica e recomendação de manejo das áreas do assentamento-acampamento Sebastião Lan I e II, município de Silva Jardim, RJ**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, Rio de Janeiro.

EVANS, R.; CASSEL, D.K.; SNEED, R.E., 1996. **Soil, water, and crop characteristics important to irrigation scheduling**. Carolina: North Carolina Cooperative Extension Service. (Disponível em <http://www.bae.ncsu.edu/programs/extension/evans/ag452-1.htm>. Acesso em 18/04/2010).

FAYER, M., and HILLEL, D., 1986a. **Air Encapsulation: I. Measurement in a Field Soil**. Soil Science Society of America Journal, 50, 568-572.

FAYER, M., and HILLEL, D., 1986b. **Air Encapsulation: II. Profile Water Storage and Shallow Water Table Fluctuations**. Soil Science Society of America Journal, 50, 572-577.

FERREIRA, M.M., 1988. **Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos brasileiros**. Viçosa, UFV, 79p. (Dissertação – Mestrado).

FIDALSKI, J., 2004. **Propriedades físico-hídricas de um Argissolo Vermelho distrófico latossólico em diferentes sistemas de manejo das entrelinhas de citros.** 62p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

FIGUEIREDO, L.H.A.; DIAS JUNIOR, M. de S.; FERREIRA, M.M., 2000. **Umidade crítica de compactação e densidade do solo máxima em resposta a sistemas de manejo num Latossolo Roxo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.24, p.487-493.

FRIZZONE, J.A., 1993. **Irrigação por superfície.** São Paulo: ESALQ/ USP. 183p.

GERMANN, P.F., 1983. **Slug approach to infiltration into soil with macropores.** In: NATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN INFILTRATION, 1983. Chicago. Proceedings. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, p. 122-131. (ASAE Publication, 11-83. Advances in infiltration).

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A. P. e IMHOFF, S., 2002. **Relações entre propriedades físicas e características de solo da região sul do Brasil.** R. Bras. Ci. Solo, v. 26, pp. 885-893.

GHIDYAL, B.P.; TRIPATHI, R.P., 1987. **Soil Physics.** New Delhi: [s.n.], 656 p.

GLOVER, J. D.; REGANOLD, J. P. & ANDREWS, P. K., 2000. **Systematic method for rating soil quality of conventional, organic and integrated apple orchards.** in Washington State. Agric. Ecosys. Environ., n. 80, p. 29-45.

HADAS, A.D., 1973. **Water retention and flow in soils.** 5.ed. In: YARON, B., Arid zone irrigation. New York, p.89-109. (Ecological Studies)

HADAS, A.D., 1997. **Soil tilth - the desired soil structural state obtained through proper soil fragmentation and reorientation processes.** Soil Tillage. Res., v.43, p.7-40.

HILLEL, D., 1980a. **Applications of soil physics.** New York, Academic Press, cap.2 (p.5-49), cap.3 (p.50-75) e cap.6 (p.147-196).

HILLEL, D., 1980b. **Fundamentals of soil physics**. New York, Academic Press, cap.9 (p.195-232) e cap.11 (p.265-286).

HILLEL, D., 1980c, **Introduction to soil physics**. New York, Academic Press, caps. 2, 4, 8, 12 e 13.

HILLEL, D., 1998. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic Press, 771p.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A., 2000. **Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade de um solo sob pastagem**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493 – 1500.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; DIAS JÚNIOR, M.S.; TORMENA, C.A., 2001. **Quantificação das pressões crítica para o crescimento das plantas**. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v.25, p.11-18.

IVERSEN, B. V., 2003. **Field application of a portable air permeameter to characterize spatial variability in air and water permeability**. Vadose Zone Journal, v.2, p.618-626.

JORDAN, A.; MARTÍNES-ZAVALA L. & BELLIFANTE, N., 2008. **Heterogeneity in soil hydrological response from different land cover types in southern Spain, Catena**.

KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; COLLARES, G. L. & KUNZ, M., 2009. **Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um latossolo sob diferentes níveis de compactação**. Bras. Ci. Solo, 33:845-855.

KARLEN, D.L. & STOTT, D.E., 1994. **A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality**. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BZEDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, p.53-72. (Special Publication, 35).

KARLEN, D. L., MAUSBACH, M. J., DORAN, J. W., CLINE, R. G., HARRIS, R. F. e SCHUMAN G. E., 1997. **Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial)**. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:4-10.

KIRBY, J. M., 1991. **The influence of soil deformations on the permeability to air**. European Journal of Soil Science. v. 42, p. 227-235.

KIEHL, E.J., 1979. **Manual de Edafologia**. Ed. Agronômica Ceres. São Paulo, cap. 13.

KLAR, A.E., 1984. **A Água no Sistema Solo-planta-atmosfera**. Nobel, São Paulo, 408 pp.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L., 2000. **A faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e a sua relação com a densidade do solo ao longo de um latossolo roxo**. Ciência rural. v.30, p. 959-964.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L., 2002. **Densidade e distribuição de diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, n. 4, p. 857-867.

KLEIN, V. A. & CAMARA, R. K., 2007. **Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em latossolo vermelho sob plantio direto escarificado**. R. Bras. Ci. Solo, 31:221-227.

KLUTE, A., 1965. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. pt.1, p.253-261.

KOPI, A.J.; DOUGLAS, J.T., 1991. **A rapid inexpensive and quantitative procedure for assessing soil structure with respect to cropping**. Soil Use Manag., v.7, p.52-56.

LAL, R.; SHUKLA, M.K., 2003. **Principles of Soil Physics**. Ohio State University, Marcel Dekker, inc, New York, 638 pp.

LAWALL, S.; SANTOS, A. C. F.; MOTA, P. O. & FERNANDES, N. F., 2009. **Modificações da dinâmica hidrológica do solo em resposta as mudanças de uso e cobertura: Um estudo de caso na região serrana do Rio de Janeiro.** 12º Encontro de Geografos da América Latina, Montevideo, Uruguai, p. 7467-7477.

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMHOFF, S. & EUCLIDES, V.P.B., 2004. **Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado.** R. Bras. Ci. Solo, 28, pg 415-423

LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D. e ESPÍNDOLA, C. R., 1983, **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade uso.** 4ª aproximação. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

LETEY, J., 1985. **Relationship between soil physical properties and crop production.** Advances in Soil Science, New York, v. 1, p. 277-294.

LIMA, C.L.R.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A . S. & SILVA, J.B., 2003. **Estabilidade de agregados de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.27, p.199-205.

LIN, H. S., BOUMA, J., PACHEPSKY, Y., WESTERN, A., THOMPSON, J., VAN GENUCHTEN, M. TH., VOGEL, H., AND LILLY, A., 2006. **Hydropedology: Synergistic integration of pedology and hydrology.** Water Resour. Res., 42, W05301, doi:10.1029.

LIN, H. S., 2010a. **Linking principles of soil formation and flow regimes,** J. Hydrol., in review.

LIN, H. S., 2010b. **On the study of soils and the Critical Zone: Time vs. space, evolution vs. conservation, biology vs. physics, and beyond,** Soil Sci. Soc. Am. J., in review.

LIN, H. S., SINGHA, K., CHITTLEBOROUGH, D., VOGEL, H.-J., AND MOONEY, S., 2008a. **Advancing the emerging field of hydropedology**, EOS Trans., 89, 490, doi:10.1029.

LIPIEC, J; KÚS, J.; SLOWINSKA-JURKIEWICZ, A.; NOSALEWICZ, A., 2006. **Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods**. Soil & Tillage Research, v.89, p.210-220.

LUXMOORE, R.J., 1981. **Micro, meso, and macroporosity of soil**. Soil Sci. Soc. Am. J., v. 45, pp. 671-672.

MACEDO, J.R.; MENEGUELLI, N. A., OTTONI FILHO, T.B.; et al., 2002, **Estimation of Field Capacity and Moisture Retention Based on Regression Analysis Involving Chemical and Physical Properties in Alfisols and Utilisols of the State of Rio de Janeiro**. Soil Sci. Plant Anal., v. 33 (13 and 14), ppp. 2037-2055.

MACEDO, J. R.; OTTONI FILHO, T. B.; OTTONI, M. V.; BRITO, F. S.; PALMIERI, F. & ANJOS, L.H.C., 2004. **Contribuição ao sistema brasileiro de classificação de solos com a inclusão da nomenclatura físico-hídrica nos 5º e 6º níveis categóricos**. Embrapa Solos, Rio de Janeiro/RJ.

MELO FILHO, J. F.; SOUZA, A. L. V. & SOUZA, L. S., 2007. **Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um latossolo amarelo coeso dos tabuleiros costeiros, sob floresta natural**. R. Bras. Ci. Solo, n. 31, p. 1599-1608.

OADES, J.M., & WATERS, A.G., 1991. **Aggregate hierarchy in soils**. Aust. J. Soil Res. 29:815-828.

OLIVEIRA, L.B. e MELO, V., 1971. **Estudo da disponibilidade de água em um solo da Estação Experimental de Itapirema, Pernambuco**. Pesq. Agropec. Bras., Sér. Agron., v. 6, pp. 31-37.

OLIVEIRA, L.B. ; RIBEIRO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; RODRIGUES, J. J. V. e MARQUES, F. A., 2002. **Funções de pedotransferência para predição da umidade**

**retida a potencias específicos em solos do estado de Pernambuco.** R. Bras. Ci. Solo, v. 26, pp. 315-323.

OLIVEIRA, M.B de, 2005. **Análise do desempenho de equações de infiltração e de Métodos de determinação da capacidade de campo dos solos em uma bacia hidrográfica de São José de Ubá-RJ.** Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

OTHMER, H.; DIEKKRUGER, B.; KUTILEK, M., 1991. **Bimodal porosity and unsaturated hydraulic conductivity.** Soil Science, Baltimore, v. 152, n. 3, p. 139-150.

OTTONI, M.V., 2005. **Classificação físico-hídrica de solos e determinação da capacidade de campo *in situ* a partir de testes de infiltração.** Tese de mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

OTTONI FILHO, T.B., 2003. **Uma Classificação Físico-hídrica dos Solos.** Rev. Bras. de Ciência do Solo, v. 27, p. 211-222.

PACHEPSKY, Y. A., & RAWLS, W. R., 2005. **Development of Pedotransfer Functions in Soil Hydrology.** Elsevier, Amsterdam (In press).

PETEAN, L.P., 2007. **Alturas de pastejo em aveia e azevém e seus efeitos nas propriedades física de um solo sob integração lavoura-pecuária.** Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 66p. (Dissertação de Mestrado).

PETH, S.; HORN, R., 2006. **The mechanical behavior of structured and homogenized soil under repeated loading.** Journal of Plant Nutrition and Soil Science, v. 169, p.401-410.

POTT, C. A. & DE MARIA, I.C., 2003. **Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.27, p.19-27.

POULOVASSILIS, A., 1983. **The influence of the initial water content on the redistribution of soil water after infiltration.** Soil Sci., 135:275-281.

PREVEDELLO, C.L., 1986. **Física do solo com problemas resolvidos.** Ed. SAEAFS. Curitiba, PR, 446p.

PRUSKI, F.F., 2003. **Infiltração da água no solo.** Viçosa: Editora UFV, 2003.

RAMALHO, F. & BEEK, K.J., 1995. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras.** 3<sup>a</sup>.ed. Embrapa. 65p.

RATLIFF, L.F.; RITCHIE, J.T. & CASSEL, D.K., 1983. **A survey of field measured limits of soil water availability as related to laboratory-measured properties.** Soil Sci. Soc. Am. J., 47:770-775.

REICHARDT, K., 1985. **Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera.** 4<sup>o</sup> Ed., Fundação Cargill, São Paulo, 445 pp.

REICHARDT, K., 1988. **Capacidade de Campo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.12, n.13, p.211-216.

REICHARDT, K., 1996. **Infiltração da água no solo. In: Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas.** 2 ed. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. P. 317-352.

REICHARDT, K.; TIMM L. C., 2004. **Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos, Processos e Aplicações.** Ed. Manole, Barueri, SP, 478 pp.

REICHERT, J.M.; VEIGA, M. & CABEDA, M.S.V., 1992. **Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.16, p.289-298.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A., 2003. **Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas.** Revista Ciência & Ambiente, Santa Maria, v.27, p.29-48.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. F. & LU, X., 2002. **Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters.** Geoderma, 110. p. 141-146.

RICHARDS, L.A., 1965. **Physical conditions of water in soil.** In: BLACK, C. A., ed. Methods of soil analysis, Part 1, Madison, American Society for Testing and Materials, 770p., (Agronomy, 9).

RITCHIE, J.T.,1981. **Soil water availability.** Plant Soil, 58:327-338.

ROTH, C.H.; MEYER, B. & FREDE, H.G., 1985. **A portable rainfall simulator for studying factors affecting runoff, infiltration e soil loss.** Catena, v.12, p.79-85.

RUIZ, H.A.; FERREIRA, G. B. e PEREIRA, J. B. M. 2003, **Estimativa da capacidade de campo de Latossolos e Neossolos Quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade.** R. Bras. Ci. Solo, v. 27, pp. 389-393.

SALTER, P.J. & WILLIAMS, J.B., 1965. **The influence of texture on the moisture characteristics of soils.** I. A critical comparison of techniques for determining the available-water capacity and moisture characteristics curve of a soil. Journal of Soil Science, 16(1):1-15.

SALTER, P.J. & WILLIAMS, J.B., 1965. **The influence of texture on the moisture characteristics of soils.** II. Available-water capacity and moisture release characteristics. Journal Soil Science, 16(2):310-317.

SAXTON, K.E.; RAWLS, W.J.; ROMBERGER, J.S. & PAPENDICK, R.I., 1986. **Estimating generalized soil-water characteristics from texture.** Soil Sci. Soc. Am. J., 50:1031-1036.

SCHOENHOLTZ, S.H., MIEGROET, H. VAN, BURGER, J.A., 2000. **A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities.** Forest Ecology and Management 138: 335-356.

SIDIRAS, N. & ROTH, C.H., 1987. **Infiltration measurements with double ring infiltrometers and a rainfall simulator under different surface conditions on an Oxisol.** Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.9, n.2, p.161-168.

SILVA, A.P.; KAY, B.D. & PERFECT, E., 1994. **Characterization of the least limiting water range of soils.** Soil Sci. Soc. Am. J., 58: 1775-1781.

SILVA, A.P. da & KAY, B.D., 1997. **Estimating the least limiting water range of soil from properties and management.** Soil Sci. Soc. Am. J., 61: 877-883.

SILVA, C.L.; KATO, E., 1997. **Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado.** Pesquisa Agropecuária Brasileira Brasília, v.32, n.2, p.213-220.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J., 1998. **Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.22, p.311-317.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S.C., 2008. **Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração.** R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v.32, n.1, p.1-10.

SOUZA, C.C.; OLIVEIRA, F.A; SILVA, I. F.; AMORIM NETO, M. S., 2002. **Avaliação de métodos de determinação de água disponível em solo cultivado com algodão.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.37, n.3, p. 337 – 341.

SOUZA, L.S.; SOUZA, L. D. & SOUZA, L.F.S., 2003. **Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo sob o enfoque de produção vegetal: Estudo de caso para citros em solos coesos de tabuleiros costeiros.** In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Ribeirão Preto, cd-rom.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; HORN, R., 2008. **Relações do parâmetro S para algumas propriedades físicas de solos do sul do Brasil**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. v. 32, p. 2603 – 2612.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F. & FONSECA, I.C.B., 2001 **Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo**. R. Bras. Ci. Solo, 25:725-730.

TOPP, G.C.; ZEBTCHUK, W., 1979. **The determination of soil water desorption curves for soil cores**. Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, v. 59, p. 19-26.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. da & LIBARDI, P.L., 1998. **Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto**. Rev. Bras. Ci. Solo, Viçosa, 22: 573-581.

TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J. M., 2007. **Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférrico sob sistema de plantio direto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 211-219.

THOMASSON, A.J., 1978. **Towards an objective classification of soil structure**. J. Soil Sci., London, 29:38-46.

THORP, J.; SMITH, G.D., 1949. **Higher categories for soil classification**. Soil Science, Baltimore, v.67, p.117-126.

THURLER, A.M., 2000. **Determinação de capacidade de campo e retenção de umidade em solos do terciário da formação de barreiras, em função de suas características granulométricas e fatores estruturais**. Tese de Doutorado, UFRRJ, Seropédica, RJ.

TISDALL, J.M. & OADES, J. M., 1982. **Organic matter and water-stable aggregates in soils**. J. Soil Sci. 33:141-163.

USDA, 1975. **Department of agriculture. Soil Survey Division. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys.** Washington, 754p. (USDA. Agriculture Handbook, 436).

VEIHMEYER, F. J., e HENDRICKSON, A. H., 1927. **Soil Moisture conditions in relation to plant growth.** *Plant Physiol.* 2: 72-81.

VEIHMEYER, F.J. & HENDRICKSON, A.H., 1931. **The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils.** *Soil Sci.*, Baltimore, 32:181-193.

VEIHMEYER, F.J. & HENDRICKSON, A.H., 1949. **Methods of measuring field capacity and wilting percentages of soil.** *Soil Sci.*, Baltimore, 68:75-94.

VOMOCIL, J.A.; FLOCKER, W.J., 1961. **Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water.** *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, St Joseph, v.4, p.242-246.

WALKER, W.R.; SKOGERBOE, G.V., 1987. **Surface irrigation: Theory and practice.** New Jersey: Prentice-Hall. 386p.

WYMORE, A. W., 1993. **Model-based systems engineering: An introduction to the mathematical theory of discrete systems and to the tricotyledon theory of system design.** Boca Raton, CRC Press.

## APÊNDICES

APÊNDICE A – Descrição dos horizontes dos 7 perfis de solos estudados, com a profundidade de retirada das amostras nos testes de capacidade de campo *in situ*.(Fonte: Embrapa, 2009).

Perfil	Classificação	Horizonte		Profundidade de Amostragem (cm)
		Símbolo	Profundidade (cm)	
P02	GLEISSOLO TIOMÓRFICO	O	0-26	13
		Cg1	26-57	41,5
		Cg2	57-92	63,5
P07		Op	0-20	10
		AC	20-40	20
		Cg1	40-69	54,5
		Cg2	100-160	x
P09	A	0-22	11	
	Cg1	22-44	22	
	O	44-67	55,5	
	Cg2	90-140	x	
P03	GLEISSOLO HÁPLICO	Ap	0-11	5,5
		AC	11-28	19,5
		Cg1	28-54	41
		Cg2	54-67	60,5
		Cg3	67-120	x
P05		A	0-12	6
		CA	12-30	21
		Cg1	30-50	40
		Cg2	50-93	60
		Cg3	93-120	x
P04	CAMBISSOLO HÁPLICO	A	0-16	8
		BA	16-29	22,5
		Bi1	29-65	47 e 63
		Bi2	65-91	x
		Bi3	91-141	x
P06	ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO	BC	141-205	x
		Op	0-20	10
		O1	20-37	28,5
		Ag	37-85	53,5
		Cg	100-140	x

*Obs: Foram levantadas amostras até a profundidade de 70 cm ou até a profundidade de impedimento por lençol freático.*

APÊNDICE B – Faixas de profundidade ( $\Delta z$ ) para a classificação de superfície (0-30 cm) e classificação padrão (0-70), utilizadas no cálculo das médias das variáveis nos perfis representativos do assentamento Sebastião Lan II.

Perfil	Prof. Horizonte	Prof. Amostragem	$\Delta z$	$\Delta z$
	(cm)	(cm)	0-30 cm	0-70 cm
P02 <i>LF = 63 cm</i>	0-26	13	26	26
	26-57	41,5	4	37
P03	0-11	5,5	11	11
	11-28	19,5	17	17
	28-54	41	2	26
	54-67	60,5	-	16
P04	0-16	8	16	16
	16-29	22,5	13	13
	29-65	47 e 63	1	27
	65-70	-	-	14
P05	0-12	6	12	12
	12-30	21	18	18
	30-50	40	-	20
	50-70	60	-	20
P06	0-20	10	20	20
	20-40	28,5	10	20
	40-70	53,5	-	30
P07	0-20	0-20	20	20
	20-40	20-40	10	20
	40-69	40-69	-	30
P09 <i>LF = 35 cm</i>	0-22	11	22	22
	22-44	22	8	8

*Obs.: LF – Lençol freático.*

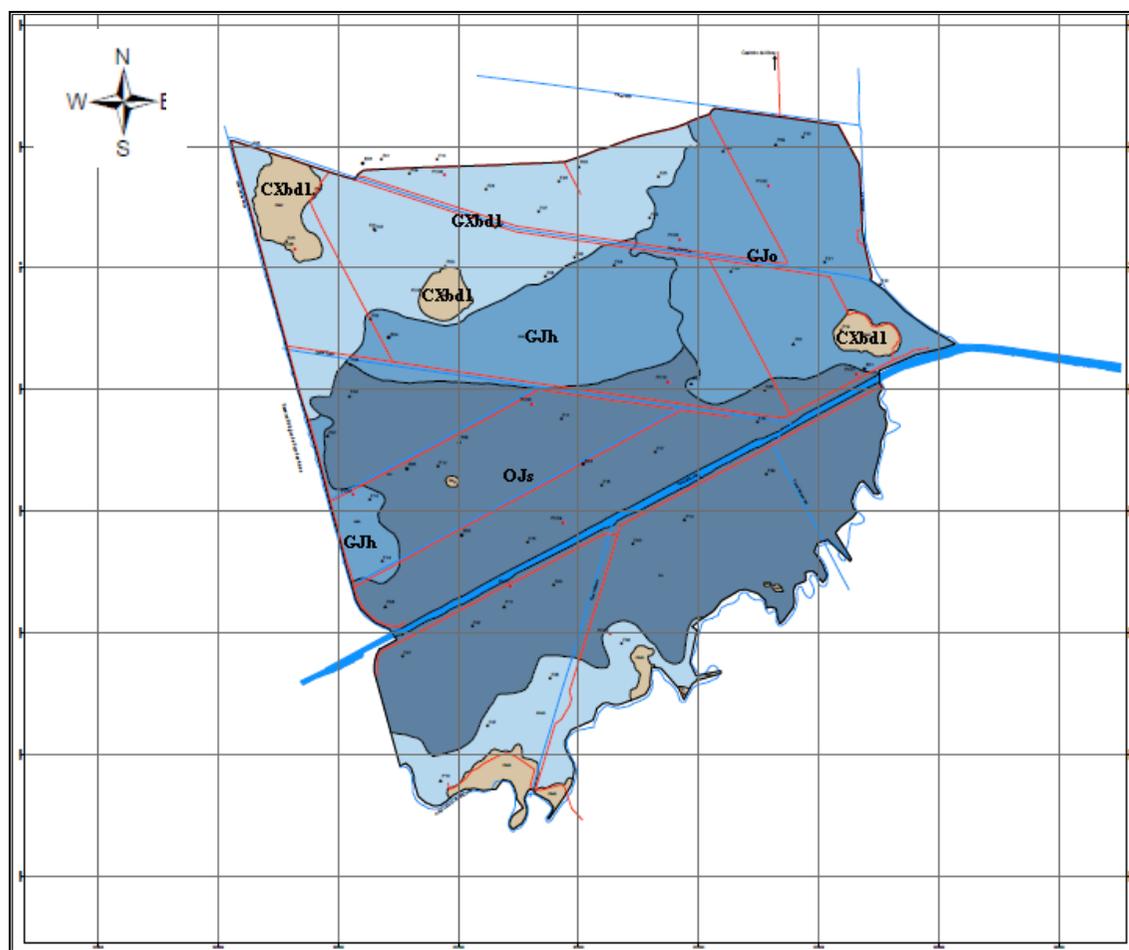
APÊNDICE C – Nomenclatura dos perfis representativos de solos do assentamento Sebastião Lan II. (Fonte: Embrapa, 2009)

Simbologia	Legenda	Uso do Solo
P02	GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico textura média/argilosa A hístico fase Campo tropical de várzea relevo plano	Plantio de eucalipto
P03	GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico textura Média/argilosa A moderado fase Campo tropical de várzea relevo plano	Plantio de laranja
P04	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico textura argilosa A moderado fase Floresta tropical perenifólia suave ondulado	Pastagem
P05	GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico textura Argilosa/média A moderado fase Campo tropical de várzea relevo plano	Plantio de laranja
P06	ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico térrico textura Média/argilosa fase Campo tropical de várzea relevo plano	Pastagem quicuío
P07	GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico textura Média/argilosa A hístico fase Campo tropical de várzea relevo plano	Plantio de eucalipto
P09	GLEISSOLO TIOMÓRFICO Húmico textura Agilosa A hístico fase Campo tropical de várzea relevo plano	Pastagem tiririca

APÊNDICE D – Legenda das unidades de mapeamento dos solos do assentamento Sebastião Lan II. (Fonte: Embrapa, 2009)

Unidade de Mapeamento Pedológico	Legenda do Mapa de Solos
CXbd1	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico textura argilosa A moderado fase floresta tropical subperenifólia relevo ondulado e forte ondulado + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico textura argilosa A moderado fase floresta tropical subperenifólia relevo suave ondulado.
GJo	GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico e típico textura indiscriminada A histórico e moderado fase campo tropical de várzea relevo plano + GLEISSOLO TIOMÓRFICO Húmico típico textura argilosa e argilosa/muito argilosa A histórico e húmico fase campo tropical de várzea relevo plano.
GJh	GLEISSOLO TIOMÓRFICO Húmico típico textura argilosa e argilosa/muito argilosa A histórico e húmico + GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico e típico textura indiscriminada A histórico e moderado ambos fase campo tropical de várzea relevo plano.
GXbd1	GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico textura média/argilosa, argilosa/média e argilosa/muito argilosa A moderado fase campo tropical de várzea relevo plano.
OJs	ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico térreo e típico textura média e média/argilosa + GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico textura argilosa A histórico todos fase campo tropical de várzea relevo plano.

APÊNDICE E - Mapa de Solos do Assentamento Sebastião Lan I e Acampamento Sebastião Lan II, município de Silva Jardim - RJ. (Fonte: Embrapa, 2009).



### Legenda

- 

CXbd1 - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico textura argilosa A moderado fase floresta tropical subperenifólia relevo ondulado e forte ondulado + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico textura argilosa A moderado fase floresta tropical subperenifólia relevo suave ondulado.
- 

GJo - GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico e típico textura indiscriminada A histórico e moderado fase campo tropical de várzea relevo plano + GLEISSOLO TIOMÓRFICO Húmico típico textura argilosa e argilosa/muito argilosa A histórico e húmico fase campo tropical de várzea relevo plano.
- 

GJh - GLEISSOLO TIOMÓRFICO Húmico típico textura argilosa e argilosa/muito argilosa A histórico e húmico + GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico e típico textura indiscriminada A histórico e moderado ambos fase campo tropical de várzea relevo plano.
- 

GXbd1 - GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico textura média/argilosa, argilosa/média e argilosa/muito argilosa A moderado fase campo tropical de várzea relevo plano.
- 

OJs - ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico térrico e típico textura média e média/argilosa + GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico organossólico textura argilosa A histórico todos fase campo tropical de várzea relevo plano.

APÊNDICE F – Resultados das variáveis físico-hídricas e valores das frações granulométricas e matéria orgânica por sub-área nas profundidades de amostragens dos 7 perfis estudados na área do assentamento Sebastião Lan II.

Perfil / Profundidade Limite Analisada	Sub-área (SBA)	Horizontes		Prof. de Amostragem *	Densidade das Partículas (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade do Solo (g/cm <sup>3</sup> )	CC (%)	PMP (%)	PT (%)	VIB (cm/h)	Granulometria (g/kg)			Matéria Orgânica (g/Kg)
		Símbolo	Prof.								Areia	Silte	Argila	
P02 - 63 cm	SBA 1**	O	0-26	13	1,87	0,46	45,1	22,0	75,4	35,25	118	543	339	166,2
		Cg1	26-57	41,5	2,37	0,74	62,3	51,6	68,8		37	295	668	38,1
	SBA 2***	O	0-26	13	1,64	0,43	52,6	23,6	73,7	32,4	225	515	260	221,4
		Cg1	26-57	41,5	2,36	0,78	59,1	48,8	66,9		25	311	664	55,9
P03 - 70 cm	SBA 1	Ap	0-11	5,5	2,29	1,05	41,2	30,3	54,1	11,65	371	176	453	56,7
		Ac	11-28	19,5	2,14	0,72	49,6	34,7	66,4		308	237	455	90,8
		Cg1	28-54	41	2,60	1,65	27,4	17,6	36,5		726	73	201	5,8
		Cg2	54-67	60,5	2,58	1,55	39	29,8	39,9		491	104	405	5,2
	SBA 2	Ap	0-11	5,5	2,50	1,39	30,4	20,7	44,4	14,4	574	162	264	18,8
		Ac	11-28	19,5	2,60	1,59	25,6	20,0	38,8		606	70	324	3,9
		Cg1	28-54	41	2,60	1,50	32,1	26,4	42,3		555	81	364	3,3
		Cg2	54-67	60,5	2,57	1,47	37,7	27,9	42,8		544	71	385	4,0
P04 - 70 cm	SBA 1	A	0-16	8	2,47	0,96	25,8	20,6	61,1	10,55	492	162	346	29,6
		BA	16-29	22,5	2,55	1,17	30,4	24,4	54,1		468	106	426	10,0
		Bt1	29-65	47	2,60	1,15	31,2	24,7	55,8		430	83	487	6,5
		Bt1	29-65	63	2,61	1,40	34,3	28,7	43,2		419	75	506	x
	SBA 2	A	0-16	8	2,53	1,01	28,3	21,2	60,1	12,25	485	129	386	15,3
		BA	16-29	22,5	2,58	1,12	29,7	24,8	56,6		434	99	467	9,3
		Bt1	29-65	47	2,58	1,20	31,2	25,7	53,5		428	105	467	6,7
		Bt1	29-65	63	2,61	1,34	34,1	29,3	45,7		384	88	528	x

APÊNDICE F – Resultados das variáveis físico-hídricas e valores das frações granulométricas e matéria orgânica por sub-área nas profundidades de amostragens dos 7 perfis estudados na área do assentamento Sebastião Lan II (*Continuação*).

Perfil / Profundidade Limite Analisada	Sub-área (SBA)	Horizontes		Prof. de Amostragem *	Densidade das Partículas (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade do Solo (g/cm <sup>3</sup> )	CC (%)	PMP (%)	PT (%)	VIB (cm/h)	Granulometria (g/kg)			Matéria Orgânica (g/Kg)
		Símbolo	Prof.								Areia	Silte	Argila	
P05 - 70 cm	SBA 1	A	0-12	6	2,46	1,15	39	32,1	53,3	4,30	201	224	575	18,0
		CA	12-30	21	2,52	1,08	44,9	37,7	57,1		225	201	574	7,6
		Cg1	30-50	40	2,58	1,51	23,8	17,5	41,5		663	75	262	2,1
		Cg2	50-93	60	2,56	1,47	25,4	17,5	42,6		620	56	324	2,9
	SBA 2	A	0-12	6	2,46	1,08	36,8	31,7	56,1	12,25	252	194	554	17,0
		CA	12-30	21	2,61	1,39	23,9	17,3	46,7		672	65	263	3,6
		Cg1	30-50	40	2,62	1,45	20	12	44,7		703	55	242	2,1
		Cg2	50-93	60	2,59	1,43	26,4	19,7	44,8		594	102	304	3,3
P06 - 70 cm	SBA 1	Op	0-20	10	1,88	0,52	55,5	37,2	72,3	11,65	291	326	383	126,1
		A1	20-40	28,5	2,5	1,15	45,7	35,6	54,0		357	317	326	22,7
		Ag	40-85	53,5	2,57	1,33	42,4	32,6	48,2		356	175	469	10,2
	SBA 2	Op	0-20	10	2,37	1,06	41,5	30,3	55,3	8,00	439	232	329	55,0
		A1	20-40	28,5	2,53	1,25	37,8	29,2	50,6		458	155	387	13,9
		Ag	40-85	53,5	2,61	1,38	38,2	26,3	47,1		501	134	365	6,5
P07 - 70 cm	SBA 1	Op	0-20	10	2,08	0,67	48,1	23,3	67,8	1,15	251	349	400	109,5
		AC	20-40	20	1,73	0,38	48,6	34,4	78,0		280	376	344	234,2
		Cg1	40-69	54,5	1,87	0,46	56,1	43,6	75,4		449	199	352	113,1
	SBA 2	Op	0-20	10	1,91	0,56	52,7	30,1	70,7	0,32	314	367	319	149,3
		AC	20-40	20	1,67	0,38	60,2	48,7	77,2		421	307	272	132,9
		Cg1	40-69	54,5	2,27	0,56	64,7	53,3	75,3		213	245	542	78,7
P09 - 35 cm	SBA 1	A	0-22	11	2,50	0,79	58,9	38,6	68,4	0,04	40	378	582	72,4
		Cg1	22-44	22	2,54	0,73	60,7	43,1	71,2		4	377	619	31,9
	SBA 2	A	0-22	11	2,48	0,73	62,6	47,5	70,5	0,11	40	378	582	72,4
		Cg1	22-44	22	2,47	0,79	59,7	45,8	68,0		4	377	619	31,9

X – dados não levantados.

\*Profundidade de coleta da amostra de solo.

\*\* SBA1 – sub-área 1 (Figura 4.6).

\*\*\* SBA2-sub-área 2 (Figura 4.6).

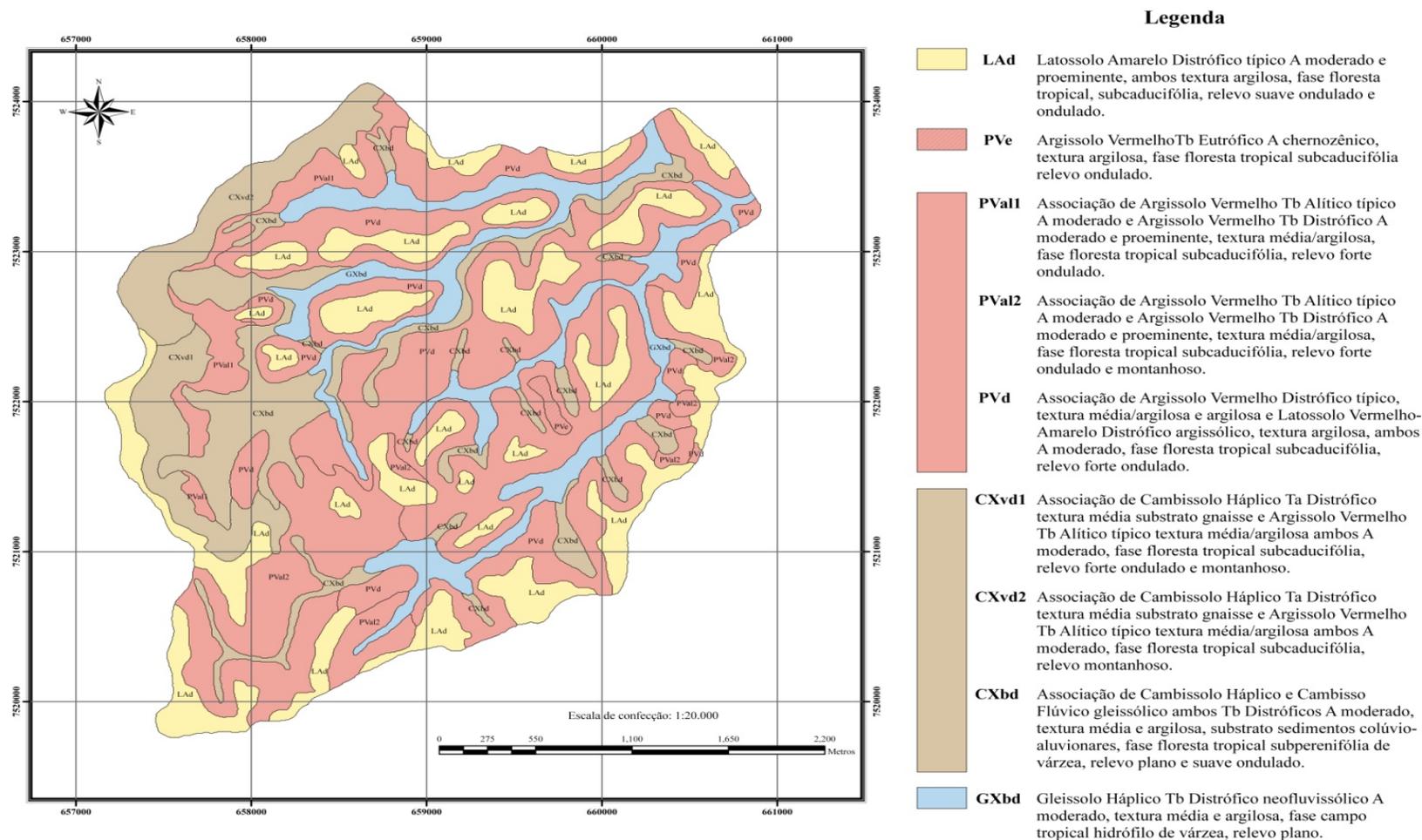
APÊNDICE G - Classificação textural e teor de matéria orgânica para as profundidades de 0-30 e 30-70 cm dos 7 perfis representativos do assentamento Sebastião Lan II.

Perfil	Prof. (cm)	Granulometria (%)			Classe Textural	Matéria Orgânica (g/g)
		Areia	Silte	Argila		
P02	0-30	15,3	49,9	34,8	Franco-argilo-siltosa Muito argilosa	0,1742
	30-70	3,1	30,3	66,6		0,0201
P03	0-30	47,5	15,4	37,1	Argila-arenosa Argila-arenosa	0,0410
	30-70	59,1	8,1	32,8		0,0026
P04	0-30	47,0	12,5	40,5	Argila-arenosa Argila	0,0164
	30-70	42,6	9,2	48,2		0,0033
P05	0-30	36,0	16,3	47,7	Argila Franco-argilo-arenosa	0,0104
	30-70	64,5	7,2	28,3		0,0015
P06	0-30	37,9	26,5	35,6	Franco-argilosa Argila	0,0665
	30-70	42,3	17,5	40,2		0,0062
P07	0-30	30,5	35,3	34,2	Franco-argilosa Argila	0,1475
	30-70	33,6	25,2	41,2		0,0673
P09	0-30	4,0	37,8	58,2	Argila Argila	0,0724
	30-70	4,0	37,8	58,2		0,0724

APÊNDICE H – Nomenclatura dos solos representativos da microbacia Córrego da Cachoeira, Paty do Alferes/RJ. (Fonte: Embrapa, 2000, atualizado segundo o SiBCS, 2006).

Unidade de Mapeamento Pedológico	Legenda do Mapa de Solos Atualizada (SiBCS, 2006)
LAd	Latossolo Amarelo Distrófico típico A moderado e proeminente, ambos textura argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo suave ondulado e ondulado.
PVe	Argissolo VermelhoTb Eutrófico A chernozêmico, textura argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia relevo ondulado.
PVa1	Associação de Argissolo Vermelho Tb Alítico típico A moderado e Argissolo Vermelho Tb Distrófico A moderado e proeminente, textura média/argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado.
PVa2	Associação de Argissolo Vermelho Tb Alítico típico A moderado e Argissolo Vermelho Tb Distrófico A moderado e proeminente, textura média/argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado e montanhoso.
PVd	Associação de Argissolo Vermelho Distrófico típico, textura média/argilosa e argilosa e Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico argissólico, textura argilosa, ambos A moderado, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado.
CXvd1	Associação de Cambissolo Háptico Ta Distrófico textura média substrato gnaisse e Argissolo Vermelho Tb Alítico típico textura média/argilosa ambos A moderado, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado e montanhoso.
CXvd2	Associação de Cambissolo Háptico Ta Distrófico textura média substrato gnaisse e Argissolo Vermelho Tb Alítico típico textura média/argilosa ambos A moderado, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo montanhoso.
CXbd	Associação de Cambissolo Háptico e Cambisso Flúvico gleissólico ambos Tb Distróficos A moderado, textura média e argilosa, substrato sedimentos colúvio-aluvionares, fase floresta tropical subperenifólia de várzea, relevo plano e suave ondulado.
GXbd	Gleissolo Háptico Tb Distrófico neofluvisólico A moderado, textura média e argilosa, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.

APÊNDICE I - Mapa de solos da microbacia Córrego da Cachoeira, Paty do Alferes/RJ. (Fonte: Embrapa, 2000, atualizado segundo SiBCS, 2006).



APÊNDICE J – Nomenclatura dos perfis representativos de solos da microbacia Córrego da Cachoeira, Paty do Alferes/RJ. (Fonte: Embrapa, 2000, atualizado segundo SiBCS, 2006).

Simbologia	Legenda	Uso do Solo
PCC1	LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura argilosa fase floresta tropical subcaducifólia relevo ondulado.	Pousio (capoeira)
PCC2	LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura argilosa fase floresta tropical subcaducifólia relevo ondulado.	Pastagem
PCC4	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico A moderado textura argilosa substrato sedimentos colúvio-aluvionares fase floresta tropical subperenifólia de várzea relevo suave ondulado.	Pastagem e pomar
PCC7	ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado textura argilosa fase relevo floresta tropical subcaducifólia relevo forte ondulado.	Pastagem
PCC11	GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico neofluvissólico A moderado textura média fase campo hidrófilo de várzea relevo plano.	Pastagem
PCC13	CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Distrófico gleissólico A moderado textura média substrato sedimentos colúvio-aluvionares fase floresta tropical higrófila de várzea relevo plano.	Pastagem
IP5	ARGISSOLO VERMELHO Tb Alítico típico A moderado textura média/argilosa fase floresta tropical subcaducifólia relevo ondulado.	Culturas
IIP5	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico A moderado textura argilosa fase floresta tropical subcaducifólia relevo ondulado.	Pastagem