

**DIAGNÓSTICO E  
RECOMENDAÇÕES DE  
MANEJO DO SOLO:  
ASPECTOS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**Reitor**

Carlos Augusto Moreira Júnior

**Pró Reitora de Extensão e Cultura**

Sandra Regina Kirchner Guimarães

**Diretor do Setor de Ciências Agrárias**

Amadeu Bona Filho

**Coordenadora do Projeto Transição Agroecológica em Agricultura Familiar na Região Metropolitana de Curitiba e Litoral do Paraná**

Marlene Mortagua Walfior

**Coordenador do Projeto de Extensão Universitária Solo Planta**

Luciano de Almeida



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ REITORIA DE EXTENSÃO E CULTURA  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROJETO TRANSIÇÃO AGROECOLÓGICA EM AGRICULTURA FAMILIAR  
NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA E LITORAL DO PARANÁ  
PROJETO SOLO PLANTA

# **DIAGNÓSTICO E RECOMENDAÇÕES DE MANEJO DO SOLO: ASPECTOS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS**

Marcelo Ricardo de Lima (Editor)  
Angelo Evaristo Sirtoli  
Antônio Carlos Vargas Motta  
Aparecido Carlos de Oliveira  
Beatriz Monte Serrat  
Celina Wisniewski  
Fabio Vicente Ferreira  
Lausanne Soraya de Almeida  
Luciano de Almeida  
Karina Idamara Krieger  
Marco Aurélio de Mello Machado  
Nerilde Favaretto  
Neroli Pedro Cogo  
Oromar João Bertol  
Renato Marques

CURITIBA – PR  
2006

Copyright 2006 – Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR  
Permite-se a reprodução parcial somente com autorização por escrito dos  
respectivos autores de cada capítulo. Os conceitos e opiniões emitidas nos  
capítulos são de responsabilidade dos respectivos autores.

Impressão: Imprensa Universitária da UFPR

Fotos da capa: arquivo do Projeto Solo Planta

Capa: Wilson M. Voitena (UNIGRAF/PROEC/UFPR)

Revisão: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR

Exemplares desta obra devem ser solicitados à:

Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR

Rua dos Funcionários, 1540 – CEP 80035-050 – Curitiba – PR

Telefone: (41) 3350-5658 E-mail: [depsolos@ufpr.br](mailto:depsolos@ufpr.br)

Home page: [www.soloplan.agrarias.ufpr.br](http://www.soloplan.agrarias.ufpr.br)

2006 – 1ª edição

Tiragem: 1000 exemplares

ISBN: 85-89950-03-4

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS  
BIBLIOTECA CENTRAL – COORDENAÇÃO DE PROCESSOS TÉCNICOS

Diagnóstico e recomendações de manejo do solo : aspectos teóricos e  
metodológicos/ Marcelo Ricardo de Lima (editor); Ângelo Evaristo Sirtoli [et  
al.]. – Curitiba : UFPR/Setor de Ciências Agrárias, 2006.

xiv, 341 p.: il.  
ISBN 85-89950-03-4

1. Solos - Manejo. I. Lima, Marcelo Ricardo de. II. Sirtoli, Ângelo Evaristo.

CDU: 631.51

## APRESENTAÇÃO

Este livro reúne uma parcela da experiência dos projetos “Solo Planta” e “Transição Agroecológica em Agricultura Familiar na Região Metropolitana de Curitiba e Litoral do Paraná”, conduzidos por professores e estudantes da Universidade Federal do Paraná.

Estes projetos têm como diretriz geral estimular a aproximação da universidade com os agricultores familiares, valorizando a busca de alternativas produtivas e tecnológicas de caráter conservacionista, a partir de uma visão crítica quanto aos impactos ambientais e sociais dos padrões convencionais da agricultura. Além disso, promovem o exercício interdisciplinar nas ações de extensão, ensino e pesquisa, visando o aprimoramento de uma formação não fragmentada aos estudantes de ciências agrárias, a otimização das atividades de ensino, pesquisa e extensão, e a identificação de problemas de pesquisa sintonizados com a realidade dos produtores.

As ações desenvolvidas nestes projetos permitiram o acúmulo de experiências e informações que resultaram na elaboração do “Manual de Diagnóstico da Fertilidade e Manejo dos Solos Agrícolas”, lançado em 2003, o qual foi bem recebido pelos profissionais da área de ciências agrárias, sendo que a sua tiragem esgotou-se em poucos meses.

As sugestões e críticas apresentadas mostraram a necessidade de ampliar esta obra, com a inclusão de novos autores e temas, originando esta nova publicação, que deverá ser de grande utilidade aos profissionais das ciências agrárias.

Os capítulos abrangem aspectos relacionados a: visão sistêmica da propriedade agrícola, uso de dados geoambientais, diagnóstico do sistema de produção agrícola, amostragem de solo e plantas, análise do solo e interpretação, adubação e calagem, aspectos físicos do solo, degradação e conservação do solo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio de produtores rurais, servidores docentes e técnico administrativos, acadêmicos (bolsistas extensão e estagiários), e entidades parceiras, que viabilizaram o acúmulo de experiências, sem as quais não seria possível a edição deste livro.

A impressão desta publicação foi realizada com recursos provenientes do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), através do edital CT-AGRO/MCT/MDA/CNPq n. 022/2004.



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I</b> – A propriedade agrícola como um sistema <i>C. Wisniewski</i> .....	01
<b>CAPÍTULO II</b> - Aquisição e estruturação de dados geoambientais no contexto de uma unidade de produção agropecuária e suas relações com o diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos <i>A.E. Sirtoli, M.R. de Lima, F.V. Ferreira</i> .....	09
<b>CAPÍTULO III</b> - Diagnóstico do sistema de produção agrícola <i>L. de Almeida, M.R. de Lima</i> .....	37
<b>CAPÍTULO IV</b> - Amostragem de solo para fins de manejo da fertilidade <i>B. Monte Serrat, A.C. de Oliveira</i> .....	65
<b>CAPÍTULO V</b> – Amostragem para análise de plantas de importância agrícola e florestal <i>C.B. Reissmann, L.S. de Almeida, B. Monte Serrat</i> .....	87
<b>CAPÍTULO VI</b> – Caracterização química da fertilidade do solo <i>R. Marques</i> .....	99
<b>CAPÍTULO VII</b> – Considerações sobre interpretação de análise de solos (com exemplos) <i>B. Monte Serrat, K.I. Krieger, A.C.V. Motta</i> .....	125
<b>CAPÍTULO VIII</b> – Princípios de adubação <i>A.C.V. Motta, B. Monte Serrat</i> .....	143
<b>CAPÍTULO IX</b> – Princípios de calagem <i>A.C.V. Motta, M.R. de Lima</i> .....	191
<b>CAPÍTULO X</b> – Atributos físicos do solo relacionados ao manejo e conservação dos solos <i>M.A. de M. Machado, N. Favaretto</i> .....	233
<b>CAPÍTULO XI</b> – Degradação do solo por erosão e compactação <i>N. Favaretto, N.P. Cogo, O.J. Bertol</i> .....	255
<b>CAPÍTULO XII</b> – Uso, manejo e conservação do solo e água: aspectos agrícolas e ambientais <i>N. Favaretto, N.P. Cogo, O.J. Bertol</i> .....	293



# CAPÍTULO I

## A PROPRIEDADE AGRÍCOLA COMO UM SISTEMA

Celina Wisniewski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Eng. Florestal, Doutora, Professora do DSEA/UFPR. Rua dos Funcionários, 1540. CEP 80035-050, Curitiba (PR). E-mail: cewisni@ufpr.br

1 O ENFOQUE SISTÊMICO.....	2
REFERÊNCIAS .....	7

## 1 O ENFOQUE SISTÊMICO

A produção de biomassa num ecossistema agrícola, a princípio, depende fundamentalmente dos fatores ambientais, já que o processo de produção é uma função da fotossíntese, que por sua vez depende basicamente da radiação solar, do CO<sub>2</sub>, da água, dos nutrientes e de um clima razoavelmente adequado. Esses fatores estão, em maior ou menor grau, disponíveis no ambiente físico e é importante reconhecer que mesmo o agrônomo tecnicamente mais capacitado, e com acesso à mais alta tecnologia, tem pouca influência sobre a maioria deles.

As características físicas, a interação entre os fatores ecológicos (geologia, relevo, hidrografia, clima presente e pretérito, solos e vegetação) determinam as potencialidades, fragilidades e limitações de cada ambiente em relação à produção de biomassa e devem ser levadas em consideração se pensarmos em sustentabilidade. Esta é aqui definida como a possibilidade de continuar “produzindo adequadamente sempre”, uma vez que a demanda por produtos agrícolas não deve diminuir, tendo em vista o aumento sempre crescente da população humana.

Num ecossistema agrícola estamos interessados na produção de um tipo específico de biomassa, em geral o que chamamos de alimento e fibras. Este sistema, portanto, tem que ser criado e mantido pelo homem com esse objetivo. Isto significa que, ao contrário dos outros tipos de ecossistemas, que poderíamos chamar de "naturais", o ecossistema agrícola é artificial e depende do homem. Ou seja, o homem tem que ser considerado necessariamente como parte desse sistema. Ele é parte do sistema, tanto como gerenciador e tomador de decisões a respeito das ações de manejo, quanto como receptor dos benefícios ou prejuízos decorrentes dos efeitos sempre socializados dessas ações.

O termo sistema e a forma de pensar sistêmica são tão antigos quanto o próprio homem. O conceito de sistema começou a ser elaborado

entre 1800 e 1850 dentro da Filosofia, e pode ser encontrado em obras de Pitágoras, Platão e Aristóteles (KUMPERA, 1979). A teoria, no entanto, sob a denominação de Teoria Geral dos Sistemas, foi introduzida pelo biólogo Ludwig von Bertalanffy na década de 30. O autor definiu sistema como "(...) um conjunto de unidades em inter-relações mútuas". A utilização do termo no contexto ambiental ocorreu a partir de 1950.

O conceito de sistema foi bem expresso por HART (1980), como "um conjunto ou arranjo de componentes individuais, inter-relacionados de tal maneira que formam ou atuam como um todo, uma entidade, uma unidade".

Em qualquer sistema podemos identificar os componentes, a interação entre eles, as entradas, as saídas e o limite físico. O número, tipo e interação entre componentes determinam a estrutura do sistema. As entradas e saídas são fluxos de energia, materiais e informações que entram e saem do sistema. A função sempre é definida em termos de processos, e está relacionada com a forma de atuação do sistema: como os componentes interagindo processam as entradas resultando numa saída. Os sistemas também se organizam em conjuntos de tal forma que podem ser identificados como subsistemas componentes de um sistema maior, formando assim uma hierarquia, mas nunca no sentido antropocêntrico que implica num sistema ser "mais" do que outro. Sistemas e subsistemas formam teias complexas de relações entre as várias partes de um todo unificado, e a hierarquia se traduz em redes de relações embutidas em redes maiores. Redes aninhadas dentro de redes (CAPRA, 1999). O reconhecimento dessas redes implícitas em sistemas vivos, se deu a partir do estudo das cadeias alimentares na década de 20.

A abordagem sistêmica considera que as partes essenciais de um organismo ou sistema vivo, são propriedades do conjunto que nenhum dos componentes isoladamente possui. Onde a natureza do todo é mais que a

soma das suas partes. Onde as propriedades das partes podem somente ser entendidas a partir da organização do todo. A partir da síntese e não da análise. Isso pode ser expresso nas chamadas “propriedades emergentes” de um sistema. Propriedades que surgem a partir do conjunto, como por exemplo, o sabor doce do açúcar. (CAPRA, 1999). O sabor doce certamente não está no C, no O ou no H isoladamente.

O desenvolvimento desta teoria, no entanto, foi lento devido à necessidade de uma nova matemática para lidar com a complexidade dos sistemas vivos, já que as redes são não-lineares. Somente a partir do desenvolvimento das equações não-lineares com as pesquisas em cibernética, foi possível compreender melhor o funcionamento destas redes.

Os sistemas e subsistemas são considerados abertos, trocando energia, matéria e informação continuamente.

O termo ecossistema identifica um sistema ecológico onde ocorre a interação do ambiente físico e da comunidade de organismos ali estabelecida. À luz deste conceito, um ecossistema agrícola se diferencia exatamente pela total dependência do homem para sua própria existência, e também pela influência que este, através do gerenciamento, exerce sobre a comunidade biológica que se estabelece e também sobre o ambiente físico. Assim, aspectos antropológicos, econômicos e sociais são também componentes deste sistema. Ou seja, o que leva um agricultor a tomar as decisões e ações que toma em sua propriedade? Qual é a sua visão de mundo? Quais as técnicas que estão à sua disposição? O quanto o seu saber está sendo valorizado? Quais as limitações econômicas e/ou sociais? A resposta a essas questões é crucial para se pensar e tentar alcançar a sustentabilidade. E não só a ecológica, mas também a econômica, a social e até a cultural.

Quanto mais um ecossistema agrícola se afasta de um ecossistema natural em seus componentes (diversidade de espécies, por exemplo) ou processos (reciclagem ineficiente de nutrientes, por exemplo), mais dependente das ações do homem ele se torna. E se essas ações não forem ecologicamente direcionadas, considerando a estrutura das “redes aninhadas dentro de redes” outros processos são afetados, dentro do próprio sistema agrícola e até em sistemas distanciados geograficamente, entre os quais, a princípio não se perceberia nenhuma relação. A contaminação de mananciais (cuja água inevitavelmente chegará a um sem número de residências) por agrotóxicos ou por resíduos de origem animal, ou de adubos solúveis é um bom exemplo dessa interação sistêmica. Inúmeros outros poderiam ser citados: ressurgência de pragas, eliminação de inimigos naturais, contaminação de alimentos, erosão a montante e assoreamento a jusante, efeito estufa, etc.

O enfoque sistêmico na análise de uma propriedade agrícola, que passa então a ser considerada como um sistema de produção, é fundamental para que se compreendam todas as interações entre componentes físicos, bióticos, sócio-econômicos e culturais. É absolutamente essencial que o técnico desenvolva a capacidade de olhar a propriedade rural sob a ótica do agricultor, que compreenda sua forma de “ver o mundo” e perceba todas as interações desta rede. É essencial que o agricultor e o seu saber sejam valorizados e que suas opiniões sejam levadas em consideração.

Somente a partir dessa compreensão, pode-se fazer propostas e recomendações técnicas que terão grandes chances de ser adotadas pelo produtor, aliando a questão da produção, geração de renda, qualidade de vida e conservação ambiental, resultando num desenvolvimento rural efetivo, e numa efetiva sustentabilidade para além da mera discussão retórica.

A compreensão da propriedade como um sistema de produção começa com seu diagnóstico. Do ambiente físico, para que se conheça as suas potencialidades, fragilidades e limitações e sócio-econômico para que se compreenda a forma de interação entre o homem (produtor) e o ambiente físico. Fundamental neste processo é entender o produtor como componente do sistema, do qual dependerá a adoção de qualquer alteração sugerida. Mesmo que tecnicamente e ecologicamente adequadas elas poderão ser desprezadas se ele não se sentir um participante ativo do processo.

O sucesso das estratégias de geração e socialização de conhecimentos e técnicas agrícolas está condicionado ao reconhecimento de que existem diferentes tipos de agricultores (pessoas) com problemas, potencialidades e necessidades específicas (DUFUMIER,1996). Por conseqüência, isto significa reconhecer que não existem padrões tecnológicos universais e adequados a diversidade de situações e demandas dos produtores rurais. Ou seja, não existem receitas prontas.

A metodologia aqui apresentada enfatiza a importância da realização de um diagnóstico das unidades produtivas que anteceda e oriente a busca de alternativas tecnológicas. O diagnóstico é visto como um instrumento que possibilita a identificação de restrições e oportunidades ao desenvolvimento dos sistemas de produção (RIBEIRO et al., 1997). Especificamente, no diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos, a caracterização do sistema de produção pode ser uma importante ferramenta facilitadora do trabalho do profissional que fará a orientação ao produtor rural.

Desta maneira, o adjetivo sustentável, derivado do latim "sustentare" que significa "o que pode ser mantido" (PASCHOAL, 1995), tão usado atualmente para defender um novo modelo agrícola, poderá deixar de ser um conceito teórico para ser uma prática de uso comum.

## REFERÊNCIAS

- CAPRA, F. **A teia da vida**. Cultrix, 1999.
- DUFUMIER, M. **Les projets de développement agricole**. Paris: Éditions Karthala-CTA, 1996.
- HART, R .D. **Agrosistemas**: conceptos basicos. Turrialba: CATIE, 1980. 211 p. (CATIE. Serie materiales de enseñanza, 1)
- KUMPERA, V. **Interpretação sistêmica do planejamento**. São Paulo: Nobel, 1979. 229 p.
- PASCHOAL. A. Modelos sustentáveis de agricultura. **Agricultura sustentável**, Jaguariúna (EMBRAPA-CNPMA), n. 1, ano 2., 1995
- RIBEIRO, M.F.S.; LUGÃO, S.M.B.; MIRANDA, M.; MERTEN, G.H. Métodos e técnicas de diagnóstico de sistemas de produção. In: IAPAR. **Enfoque sistêmico em P & D**: A experiência metodológica do IAPAR. Londrina: IAPAR, 1997. p. 55-79. (IAPAR. Circular, 97).



## CAPÍTULO II

### AQUISIÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DE DADOS GEOAMBIENTAIS NO CONTEXTO DE UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA E SUAS RELAÇÕES COM O DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE E MANEJO DOS SOLOS

Angelo Evaristo Sirtoli<sup>1</sup>, Marcelo Ricardo de Lima<sup>2</sup>, Fabio Vicente Ferreira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Eng. Agr., Doutorando, Professor do DSEA/UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050, Curitiba (PR), e-mail: asirtoli@ufpr.br; <sup>2</sup> Eng. Agr., Doutor, Professor do DSEA/UFPR;

<sup>3</sup>Eng. Agr., Agência Nacional de Águas.

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 COLETA DE DADOS BÁSICOS PARA CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA UNIDADE DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA.....	12
2.1 FOTOGRAFIAS AÉREAS VERTICAIS .....	12
2.2 DADOS DE SENSORES REMOTOS.....	13
2.3 MAPAS GEOGRÁFICOS.....	16
2.4 MAPAS TEMÁTICOS.....	16
2.4.1 Mapas de solos .....	17
2.4.2 Mapas geológicos .....	18
2.4.3 Cartas climáticas.....	19
2.5 CONCEITOS BÁSICOS EM GEOPROCESSAMENTO .....	20
3 UTILIZAÇÃO DOS DADOS GEOAMBIENTAIS E DE FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO EM UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA – UM EXEMPLO .....	21
3.1 AQUISIÇÃO E USO DE DADOS GEOAMBIENTAIS ANALÓGICOS..	22
3.1.1 Fotos aéreas verticais na escala de 1:25000 e 1:8000 .....	22
3.1.2 Mapas Planialtimétricos .....	22
3.1.3 Mapas geológicos .....	23
3.1.4 Mapa de Solos .....	24
3.1.5 Cartas Climáticas .....	25
3.2 METODOLOGIA UTILIZADA NO GEOPROCESSAMENTO .....	27
3.2.1 Modelo numérico do terreno (NMT) .....	28
3.2.2 Mapa de classes de declive .....	29
3.2.3 Perfis topográficos .....	31
3.2.4 Mapa de Solos .....	32
3.2.5 Mapa de capacidade de uso da terra.....	32
REFERÊNCIAS .....	35

## 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo visa dar uma visão geral sobre a importância de descrever, com precisão, uma grande categoria de observações feitas pelo homem da superfície terrestre e, estabelecer as relações entre elas em análise ambiental no contexto de uma unidade de produção agropecuária. Ao mesmo tempo, serão fornecidas informações sobre a busca e interpretação de dados espaciais, que podem ser úteis para a compreensão do meio no qual se insere o processo produtivo.

As ações do homem sobre a terra, bem como sua existência estão fortemente condicionados aos elementos que compõem a geomorfologia (formas de relevo) e, dependentes das relações harmoniosas de convívio com a natureza.

As formas do relevo e outros aspectos associados do ambiente, como profundidade, fertilidade, disponibilidade de água no solo, sempre foram notadas pelo homem no conjunto de componentes da natureza pela sua importância. A convivência do homem com as formas do relevo é muito antiga, no sentido de lhe conferir grande importância em muitas situações de seu dia a dia, como para assentar moradia, estabelecer melhores caminhos para locomoção, localizar áreas de cultivos, criar rebanhos ou definir os limites de seus domínios.

Para atuar sobre o mundo real e dele extrair seu sustento foi necessário que o homem se aperfeiçoasse em tecnologias e conhecimentos. Foi necessário tratar as entidades ambientais não somente no âmbito de suas origens e funções, mas também de suas localizações, formas, distribuições, escalas, limites, etc.

O tratamento das informações de um determinado espaço é hoje um requisito necessário para ordenar e controlar a ocupação de unidades físicas do meio ambiente para evitar decisões que contrapõem a lógica

racional de sua utilização. Para acompanhar a complexidade do uso do solo, é preciso dispor de técnicas que provêm referências espaciais da ordenação dessa ocupação, passíveis de tratamentos automatizados. Dentre as técnicas mais eficientes disponíveis, têm-se os sistemas de informações geográficas (SIGs), que podem ser definidos como sistemas destinados ao tratamento automatizado de dados georreferenciados, passíveis de serem utilizados no diagnóstico do manejo e fertilidade do solo para melhorar a acurácia das recomendações técnicas que serão destinadas à discussão com o produtor rural.

A utilização de dados espaciais básicos disponíveis e de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), no qual pode-se organizar informações georreferenciadas sobre os dados espaciais de uma unidade de produção agropecuária como: geologia, classes de solos, declividade do terreno, fertilidade, disponibilidade de água, suscetibilidade à erosão, aspectos climáticos, vegetação, áreas de utilização agrícola, florestal e pecuária, etc., podem facilitar a ordenação, análise e a tomada de decisões sobre como utilizar uma unidade de produção de forma mais adequada e racional. Com a utilização de dados em formato analógico da distribuição espacial dos atributos descritos acima é possível subsidiar a tomada de decisões no ordenamento de atividades de uma unidade de produção agropecuária. No entanto, com o auxílio de um SIG o caminho é mais curto para encontrar respostas para perguntas comuns como: qual é a área de solos mais férteis da propriedade? Qual área é mecanizável e o seu tamanho? Qual unidade da propriedade é mais adequada para fruticultura? Quantos hectares são possíveis de irrigar? Dentre outras questões.

## **2 COLETA DE DADOS BÁSICOS PARA CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA UNIDADE DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**

Os procedimentos de coleta de dados básicos, se referem a busca em fontes confiáveis e a organização de informações ambientais a respeito da unidade de produção agropecuária que se deseja estudar. As informações podem ser obtidas através da interpretação de imagens orbitais e fotografias aéreas, de mapas planialtimétricos, mapas de solos, geológicos, climáticos, de vegetação, geomorfológicos e outros.

As limitações para aquisição e organização de informações geoambientais começam pela desatualização da grande maioria dos mapas básicos existentes, bem como a usual pequena escala destes materiais.

### **2.1 FOTOGRAFIAS AÉREAS VERTICAIS**

Fotografias aéreas verticais vêm sendo utilizadas desde o início do século passado para a obtenção de dados geoambientais de unidades de produção agropecuária. São rotineiramente utilizadas para a extração de informações sobre distribuição dos solos na paisagem, uso e manejo destes e, principalmente, para confecção de mapas planialtimétricos.

As fotografias aéreas verticais podem ser obtidas junto a órgãos públicos relacionados à proteção ambiental ou de recursos hídricos, organismos gestores de regiões metropolitanas, e empresas da iniciativa privada.

No estado do Paraná, foram realizados três grandes levantamentos aerofotogramétricos, nos anos de 1950, 1962 e 1980, recobrando todo o estado. Em algumas regiões pontuais (municípios, regiões metropolitanas, áreas de influência de grandes reservatórios, áreas de proteção ambiental, etc.) existem levantamentos aerofotogramétricos mais recentes em distintas áreas e em distintas escalas. A Companhia Paranaense de

Energia Elétrica (Copel) possui um grande acervo de fotografias do estado do Paraná. Na região metropolitana de Curitiba (PR) existem fotografias aéreas desde a escala 1:40000 de 1976 a 1:10000 e 1:25000 de 1980 e em algumas regiões 1:8000 de 1985, encomendadas pela Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (COMEC). A Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos (SUDERSHA) possui fotos coloridas na escala 1:30000, da região do alto Iguaçu de 2000.

FIGURA 01 - RECORTE DE FOTOGRAFIA AÉREA COLORIDA NA ESCALA DE 1:30000 DE 2000 ILUSTRANDO PARTE DA FAZENDA SANTA AMÉLIA NO MUNICÍPIO DA LAPA - PR. (FONTE: SUDERSHA).



## 2.2 DADOS DE SENSORES REMOTOS

A utilização de imagens de sensores remotos, aéreos ou orbitais nos estudos das unidades de produção agropecuária é recomendável, pois aquelas apresentam como vantagem a possibilidade de visão de uma grande área da superfície terrestre. Assim, as imagens proporcionam uma visão global da propriedade a ser estudada, que é essencial para observar e entender a fisiografia geral do terreno e por conseqüência as diferentes unidades de paisagem. Além disso, algumas imagens podem proporcionar uma visão tridimensional do terreno e dos objetos que estão sendo analisados. Algumas características dos objetos da superfície da terra, que não são diretamente visíveis pelo olho humano, podem ser registradas na

forma de imagens e, posteriormente interpretadas. Como outra vantagem, as imagens proporcionam uma representação permanente dos objetos ou fenômenos num determinado momento. Esta característica possibilita a análise de mudanças ocorridas no terreno em função das diferentes épocas de tomadas da fotografia (AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMETRY, 1975).

O advento do sensoriamento remoto orbital possibilita o imageamento de uma mesma área a intervalos relativamente curtos. No caso do sistema LANDSAT 5 e 7 a cada 16 dias. A constelação SPOT (SPOT 1, SPOT 2, SPOT 4 e SPOT 5 ) possibilita o acesso de qualquer ponto da Terra em menos de 24 horas, devido a existência de quatro satélites em operação.

Desde setembro de 1999, estão disponíveis para o Brasil imagens captadas pelo satélite IKONOS II (Figura 02), com resolução espacial de 1 m no modo pancromático e 4 m no modo multiespectral, constituindo na atualidade uma das imagens orbitais com melhor resolução espacial para estudos ambientais. Além da resolução espacial a revisita do satélite é a cada 4 dias.

No entanto, a utilização destas ferramentas para fins de obtenção de dados geoambientais é ainda limitada, principalmente devido à baixa capacidade de detalhamento da maioria das imagens geradas pelos sistemas orbitais (resolução espacial relativamente grosseira).

Particularmente para o estudo de uma única unidade de produção agropecuária, a baixa resolução espacial se apresenta como fator limitante a uma melhor visualização de aspectos ambientais desta. Apesar de existirem satélites que possuem maior capacidade de detalhamento da superfície imageada (IKONOS II, com resolução espacial de um metro no modo pancromático e QUICK BIRD com resolução espacial de 0,71m no nadir), suas imagens ainda são restritivas pelo custo elevado.

FIGURA 02 - EXTRATO DE CENA IKONOS II MODO PAN PRÓXIMO A CAMPINAS – SP, COM RESOLUÇÃO ESPACIAL DE 1 METRO.



Não obstante do custo das imagens orbitais ser proporcionalmente menor que o custo de fotografias aéreas, há ainda uma limitação que se deve ao custo dos equipamentos (hardware e software) para extração de informações de interesse das imagens. Outra limitação da maioria das imagens obtidas por sensores orbitais em relação às fotografias aéreas, diz respeito à impossibilidade de visão tridimensional, com exceção daquelas produzidas pelo sensor a bordo do satélite SPOT, dentre outros, desde que previamente programado.

O Brasil juntamente com a China possui um satélite de imageamento da superfície da terra denominado de CBERS. Este satélite imageia com três instrumentos a bordo: Câmera Imageadora de Alta Resolução (CCD), Imageador por Varredura de Média Resolução (IRMSS) e Imageador de Amplo Campo de Visada (WFI).

Caso exista interesse na obtenção de produtos de sensores orbitais, podem ser contatados órgãos públicos como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), ou empresas privadas que comercializam produtos e imagens dos principais satélites.

### 2.3 MAPAS GEOGRÁFICOS

Os mapas utilizados para este tipo de estudo são mapas caracterizados como geográficos (**topográficos ou planialtimétricos**), ou seja, que caracterizam os detalhes gerais de uma região ou conjunto de regiões. Além disso, possuem um sistema de representação nos eixos X e Y (sistema de coordenadas, ou seja, a localização na superfície terrestre) e Z (altitude). Estas informações (latitude, longitude e altitude) são extremamente necessárias tanto para a localização da área de estudo, como para articulação entre as diferentes bases cartográficas que podem ser manipuladas (mapas temáticos).

No estado do Paraná, existem mapas planialtimétricos nas escalas de 1:100000 e 1:50000, e na escala de 1:25000 nas regiões de fronteira internacional. Estes mapas podem ser obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), ou no Serviço Geográfico do Exército (SGE). Na Região Metropolitana de Curitiba (RMC) a Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (COMEC) possui mapas nas escalas de 1:50000, 1:20000 e 1:10000, que podem ser obtidos junto a este órgão.

Em alguns locais no Brasil podem ser obtidos mapas em formato digital, que podem ser utilizados com maior facilidade em um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

### 2.4 MAPAS TEMÁTICOS

Outro material básico refere-se aos **mapas temáticos**, que incluem mapas de solos, mapas geológicos, mapas de vegetação, cartas

climáticas, os quais podem ser encontrados em diversas escalas, graus de atualização e formatos (papel ou digital).

#### 2.4.1 Mapas de solos

Os levantamentos de solos no Brasil iniciaram em meados de 1950. O Brasil executou e publicou levantamentos exploratórios de solos na escala 1:1000000 (Projeto RADAM). Vários estados possuem levantamento ao nível de reconhecimento, como Rio de Janeiro, São Paulo, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, partes de Minas Gerais, partes de Mato Grosso do Sul, partes do estado de Goiás. Algumas quadrículas, no estado de São Paulo, possuem levantamento de solos executados ao nível de semidetalhe. Além destes, existem diversos outros levantamentos de áreas menores realizados por instituições públicas e privadas, em escalas e graus de detalhamento diversos. Cabe ao profissional na sua região de atuação, verificar se existem levantamentos mais detalhados e procurar ter acesso a este importante referencial.

O Levantamento de Solos do Estado do Paraná (EMBRAPA, 1984), por ser um levantamento de reconhecimento na escala 1:600000, foi executado para fins de avaliação qualitativa e semi-quantitativa do recurso solo, visando a estimativa do potencial de uso agrícola e não agrícola das terras, não sendo indicado para estudos detalhados de propriedades de grande a pequeno porte. Portanto, devido ao baixo grau de detalhamento deste mapa, é necessário um levantamento, mesmo que expedito, a campo, procurando, no mínimo, identificar os principais fatores limitantes e potenciais existentes nas diferentes glebas da unidade de produção agropecuária. Apesar desta grande generalização, os levantamentos de reconhecimento, como aquele existente no Paraná, fornecem um indicativo das classes de solo mais prováveis de serem encontradas em uma

determinada região, bem como as inclusões prováveis nas suas unidades de mapeamento. É um adequado ponto de partida que, associado aos métodos de interpretação de imagens para levantamento de solos, facilita um prognóstico das classes destes a serem encontrados a campo.

Uma limitação na utilização dos mapas temáticos de solos diz respeito ao fato da maioria dos levantamentos de solos realizados no Brasil estarem baseados na classificação apresentada por CAMARGO et al. (1987), enquanto os novos levantamentos estão sendo realizados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999). Este fato pode causar confusão ao profissional que não esteja atualizado em relação aos dois sistemas.

Neste material não será detalhado como produzir um mapa de solos de uma área de interesse, por não ser este o objetivo. Porém, é plenamente possível ao profissional estabelecer, mesmo de maneira simplificada, um mapa de solos de uma unidade de produção agropecuária, o que pode ser de grande valia no diagnóstico da fertilidade e manejo do solo. Os procedimentos para a execução de um levantamento de solos constam em EMBRAPA (1995).

#### 2.4.2 Mapas geológicos

A geologia, através do estudo do material de origem dos solos, reveste-se de grande importância, principalmente no que diz respeito à gênese e classificação dos solos. É conveniente lembrar que é sobre a rocha que os fatores de formação exercem a sua influência no processo de evolução dos solos. De longa data se tem observado que muitas propriedades do solo são herdadas das rochas subjacentes (ROTTA, 1972). Solos formados a partir de diferentes materiais de origem devem apresentar comportamento diferente e, portanto, devem ter manejo distinto.

Muitos mapas geológicos encontram-se com suas edições esgotadas, porém podem ser consultados junto a bibliotecas de institutos de pesquisa geológica e instituições como Universidades.

No Paraná, estão disponíveis mapas geológicos produzidos pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) nas escalas de 1:650000 e 1:250000. Existem outros levantamentos em escalas maiores produzidos por órgãos como a CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) e Serviço Geológico do Brasil em algumas áreas. Em partes da Região Metropolitana de Curitiba (RMC) a Minerais do Paraná S.A (MINEROPAR), sob encomenda da COMEC, realizou levantamentos na escala de 1:20000. Em algumas quadrículas do estado existem mapas na escala de 1:50000.

#### 2.4.3 Cartas climáticas

As informações sobre o clima também são muito valiosas para um trabalho de diagnóstico de uma unidade de produção rural, na medida em que interfere em aspectos como a possibilidade de escolha de culturas a serem instaladas, as épocas de plantio, risco de geadas, possíveis déficits hídricos, possibilidade de se produzir duas ou mais safras no ano, probabilidade de ocorrência de doenças e pragas, dentre outros aspectos. Particularmente, em relação ao solo, os efeitos do clima participam em aspectos como a decomposição ou acumulação de matéria orgânica, a lixiviação de nitratos, a susceptibilidade da erosão, época mais adequada e número de dias viáveis para o preparo do solo e controle mecânico de plantas daninhas. Portanto, o conhecimento das condições climáticas de uma região é mais um fator que contribui para melhorar a eficácia das recomendações técnicas relativas à fertilidade e manejo do solo.

Não é desejável efetuar o preparo do solo nas épocas nas quais ocorrem precipitações em grande volume e, principalmente em grande

intensidade. Em períodos muito chuvosos, a umidade do solo é maior e pode não só aumentar a demanda de potência do equipamento para a operação, como também pode conduzir a um preparo imperfeito, e mesmo compactar o solo. Da mesma forma, o preparo efetuado em época muito seca, igualmente demanda maior potência dos equipamentos e pode exigir um preparo secundário.

No estado do Paraná, a primeira edição das Cartas Climáticas (IAPAR, 1978) trouxe informações coletadas até 1975. Posteriormente foi elaborada uma nova versão das Cartas Climáticas (IAPAR, 1994), a qual foi elaborada com dados mais recentes, porém em escala muito pequena, e com raras informações geográficas que permitam localizar muitos dos municípios paranaenses. Apesar desta limitação, este trabalho fornece informações básicas como precipitação média mensal, temperatura média mensal, umidade relativa, evapotranspiração potencial, insolação, geadas e tipos climáticos. Deve-se ressaltar também que existe uma considerável malha de estações meteorológicas espalhadas pelo estado do Paraná, coordenada pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) que podem ser consultadas quando necessário na página desta instituição, pela internet.

## 2.5 CONCEITOS BÁSICOS EM GEOPROCESSAMENTO

O geoprocessamento por ser um conceito global, abarca desde a coleta da informação até a obtenção do produto gráfico final. Este denota uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Esta tecnologia tem influenciado, de maneira crescente, as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional.

Os instrumentos computacionais de geoprocessamento, chamados de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Os SIGs ainda tornam possível a automatização da produção de documentos cartográficos (CAMARA e MEDEIROS, 1998).

O SIG refere-se àqueles sistemas que efetuam tratamento computacional de dados geográficos. Um SIG armazena a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e, numa projeção cartográfica qualquer. Os dados tratados em geoprocessamento têm como principal característica a diversidade de fontes geradoras e de formatos apresentados (CAMARA e MEDEIROS, 1998).

### **3 UTILIZAÇÃO DOS DADOS GEOAMBIENTAIS E DE FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO EM UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA – UM EXEMPLO**

Para exemplificar a utilização do geoprocessamento na manipulação de dados geoambientais para fins de diagnóstico da fertilidade e manejo do solo, serão demonstrados alguns procedimentos de seleção e manipulação de bases de informações visando à estruturação de dados para uma propriedade rural do município de Bocaiúva do Sul (PR).

Este exemplo visa mostrar ao profissional que, sem custos elevados, e de maneira simples, podem ser obtidas informações básicas que auxiliam no diagnóstico de unidades de produção.

### 3.1 AQUISIÇÃO E USO DE DADOS GEOAMBIENTAIS ANALÓGICOS

Os materiais citados neste exemplo podem ser facilmente obtidos pelo profissional interessado em efetuar um diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos.

#### 3.1.1 Fotos aéreas verticais na escala de 1:25000 e 1:8000

As fotografias aéreas foram obtidas junto à mapoteca do Instituto Ambiental do Paraná (levantamento fotográfico efetuado em todo o estado do Paraná em 1980 na escala 1:25000), e na Coordenadoria da Região Metropolitana de Curitiba (levantamento realizado na escala 1:8000 em 1985). A fotografia que continha a propriedade foi digitalizada e registrada, sobre a qual foi delimitada a área da propriedade (Figura 03).

FIGURA 03 - MOSAICO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS PANCROMÁTICAS COM A DELIMITAÇÃO APROXIMADA DA ÁREA DA PROPRIEDADE. (FONTE: COMEC).



#### 3.1.2 Mapas Planialtimétricos

Na Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (COMEC) foram obtidos mapas planialtimétricos nas escalas de 1:50000 (folha SG-

22-X-D-I-2, entre as coordenadas 25°00' e 25°15' S, e 49°00' e 49°15' W) e 1:10000 (folha SG-22-X-D-I-2-SE-E, entre as coordenadas 25°12'30" e 25°15'00" S, e 49°03'45" e 49°07'30" W). As curvas de nível equivalentes a área da propriedade foram digitalizadas através do software SPRING e sua utilização e interpretação serão descritas no item 3.2.

### 3.1.3 Mapas geológicos

Foi utilizada a Planta Geológica (provisória) de parte do município de Bocaiúva do Sul na escala 1:10000 executada na disciplina de mapeamento geológico do curso de Geologia da UFPR.

Através da simples associação das informações dos mapas planialtimétrico e geológico, e auxiliado pela fotointerpretação e observações a campo, podem ser constatados aspectos básicos da geologia local, que influenciam aspectos de solo, como relevo, textura, fertilidade, cor e profundidade efetiva.

Na propriedade estudada no município de Bocaiúva do Sul, é comum a ocorrência de diques de diabásio, que possuem orientação sudeste (SE) noroeste (NW). Estas áreas possuem maior fertilidade natural e teor de argila, o que é indicado pelas análises químicas e granulométricas dos solos, bem como pelas próprias observações do produtor rural. Esta característica, observada empiricamente pelo produtor, se reflete claramente na preferência pela ocupação do solo nestas porções. Porém nestas áreas ocorre um relevo mais íngreme que nas áreas de filito e calcário, o que exige maiores cuidados com a conservação do solo. Os calcários e filitos devido à erosão diferencial formaram as partes mais baixas da propriedade. Os quartzitos são corpos que possuem disposição nordeste (NE) sudoeste (SW) e, nos solos derivados deste material se observa uma menor profundidade efetiva, maior pedregosidade e textura média.

### 3.1.4 Mapa de Solos

O Levantamento de Reconhecimento de Solos do Estado do Paraná (EMBRAPA, 1984), publicado na escala de 1:600000, foi consultado para verificação de quais as prováveis classes de solos podem ocorrer na área. Naturalmente que esta escala é muito pequena em relação às dimensões deste exemplo. Porém, esta consulta prévia permite inferir que nesta área predominam duas unidades de mapeamento: Ca5 e Lva13. Nota-se que este levantamento foi realizado com base na classificação de solos descrita posteriormente por CAMARGO et al. (1987).

A unidade Ca5 corresponde a Cambissolo álico Tb A proeminente textura argilosa fase floresta subtropical perenifólia relevo forte ondulado substrato filitos. Constituem variações desta unidade de mapeamento: solos intermediários para Latossolo Vermelho Amarelo textura argilosa; solos intermediários para Podzólico Vermelho Amarelo A moderado; e perfis mais rasos próximos de Solos Litólicos. Constituem inclusões nesta unidade: Solos Litólicos álicos substrato filitos; Terra Bruna Estruturada Similar; e Podzólico Vermelho Amarelo Câmbico.

A unidade Lva13 corresponde a associação Latossolo Vermelho Amarelo álico relevo ondulado + Cambissolo álico Tb relevo forte ondulado substrato filitos, ambos A proeminente textura argilosa fase campo subtropical. Constituem inclusões nesta unidade de mapeamento: Podzólico Vermelho Amarelo; Solos hidromórficos; e Solos Litólicos.

No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), a unidade de mapeamento Ca5 deve corresponder a Cambissolo Húmico Alumínico típico, álico A proeminente textura argilosa fase floresta subtropical perenifólia relevo forte ondulado substrato filitos. A unidade de mapeamento Lva13 deve corresponder a Associação Latossolo Bruno Distrófico típico + Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, álico, relevo

ondulado + relevo forte ondulado substrato fílitos ambos A proeminente textura argilosa fase campo subtropical.

### 3.1.5 Cartas Climáticas

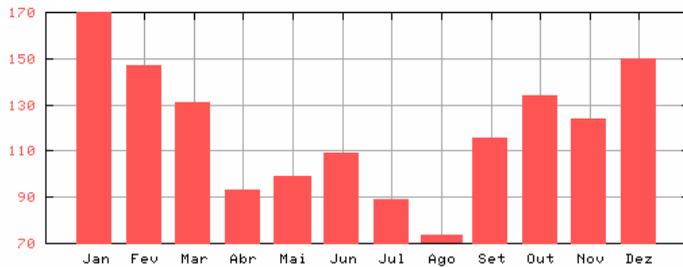
As Cartas Climáticas do Estado do Paraná (IAPAR, 1994) foram utilizadas para obter informações generalizadas sobre o clima da área estudada neste exemplo, as quais serão úteis, apesar da escala adotada nestas ser muito pequena (1:1 400 000).

Através da análise destas cartas constatou-se que o clima existente na área é, segundo a classificação de Köppen, Cfb, ou seja, clima temperado propriamente dito, temperatura média no mês mais frio abaixo de 18 °C mesotérmico, com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22 °C, e sem estação seca definida (IAPAR, 1994).

Estas informações são relevantes, pois limitam, de certa forma, o alcance de recomendações passíveis de adoção pelo produtor rural. A condição climática estabelece quais culturas não poderão ser incorporadas a um sistema de rotação a ser sugerido ao produtor. Não poderão, neste caso, entrar na rotação espécies características de clima tropical. Um fator favorável é a ausência de estação seca definida, o que permite que se faça a cobertura do solo durante o ano inteiro com culturas ou adubação verde.

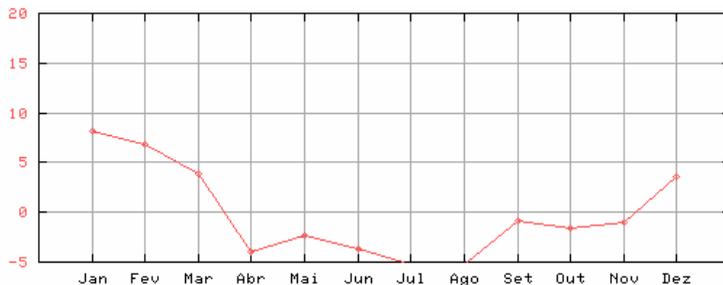
Apesar desta definição, dados do Instituto Nacional de Meteorologia (<http://www.inmet.gov.br>) demonstram que nos meses de inverno há redução da precipitação, podendo limitar o desenvolvimento de certas culturas na rotação (Figura 04). Por outro lado os meses de setembro a dezembro são meses pouco adequados à condução de atividades como preparo do solo devido à intensa precipitação. Igualmente nos meses de janeiro e fevereiro deve-se evitar que o solo esteja descoberto, pois são as épocas nas quais as chuvas são mais intensas.

FIGURA 04 - PRECIPITAÇÃO (mm) EM CURITIBA NO PERÍODO DE 1961-1990 (FONTE: INMET)



Na Figura 05 pode ser observado que nos meses de abril a agosto as temperaturas mínimas absolutas caem a níveis muito baixos, inviabilizando a introdução de coberturas verdes sensíveis à baixa temperatura, na rotação de culturas durante o inverno.

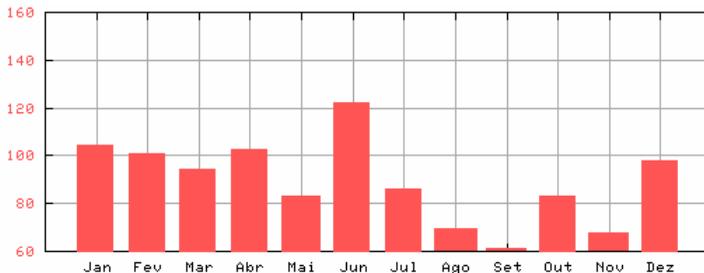
FIGURA 05 - TEMPERATURAS MÍNIMAS ABSOLUTAS ( $^{\circ}\text{C}$ ) EM CURITIBA NO PERÍODO DE 1961-1990 (FONTE: INMET)



Do ponto de vista de preparo do solo, talvez mais preocupante que os dados da Figura 04, sejam os dados de precipitações máximas em 24 horas (Figura 06), que mostram que em vários meses do ano podem ocorrer precipitações muito intensas, as quais podem ser superiores à

capacidade do solo em infiltrar este volume de água, podendo provocar processos erosivos.

FIGURA 06 - PRECIPITAÇÃO MÁXIMA EM 24 HORAS (mm) EM CURITIBA NO PERÍODO 1961-1990 (FONTE: INMET)



Caso sejam desejadas informações de estações meteorológicas, o Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) dispõe destas em municípios próximos a Bocaiúva do Sul (Piraquara, Curitiba e Cerro Azul).

### 3.2 METODOLOGIA UTILIZADA NO GEOPROCESSAMENTO

Sem ter a pretensão de encerrar o assunto, neste capítulo será apresentado um exemplo da utilização de ferramentas de geoprocessamento para auxiliar o diagnóstico da fertilidade e manejo do solo. A partir de dados básicos existentes (carta planialtimétrica) foi desenvolvido o modelo numérico do terreno (NMT), mapa de classes de declividade do solo, e ilustração de algumas toposseqüências.

Para o gerenciamento do SIG foi utilizado o programa computacional Spring 3.6.2 (CAMARA et al., 1996), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Este software é de domínio público, e pode ser obtido gratuitamente no site do INPE (<http://www.inpe.br>).

A primeira etapa do trabalho consistiu em adquirir o mapa planialtimétrico da área de estudo, na escala 1:10000 (com equidistância de curvas de nível de 5 m), junto a Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (COMEC, 1976), e localização da propriedade rural nesta carta. Para uma melhor localização dos limites da propriedade, coletaram-se no campo as coordenadas dos vértices da área com GPS de navegação.

Criou-se um projeto no programa SPRING 3.6.2, com características referentes à área a ser digitalizada e, em seguida efetuou-se a digitalização das curvas de nível com as respectivas cotas na tela do monitor sobre imagem do mapa planialtimétrico rasterizado e georreferenciado. Ao final da digitalização, efetuou-se um ajuste das isolinhas.

Além do mapa planialtimétrico foram escanizadas as fotografias aéreas de 1980 na escala 1:25000 e de 1985 na escala 1:8000, e o mapa geológico de 1992.

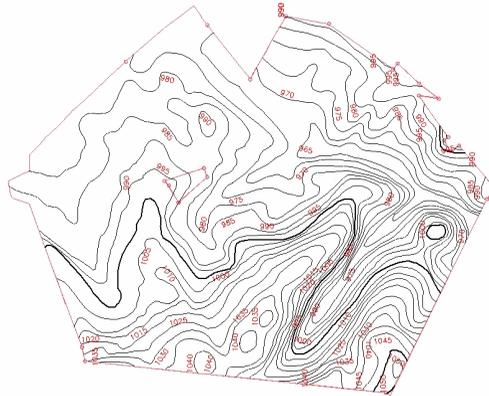
### 3.2.1 Modelo numérico do terreno (NMT)

Segundo INPE (2000) um modelo numérico de terreno (MNT) é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real. A superfície é em geral contínua e o fenômeno que representa pode ser variado. Dentre alguns usos do MNT, pode-se citar:

- a) Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;
- b) Análise de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- c) Elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio e análise de geomorfologia e erodibilidade;
- d) Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- e) Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

No processo de modelagem numérica de terreno podemos distinguir três fases: aquisição de dados, através da importação ou edição das curvas de nível (Figura 07), geração de grades e elaboração de produtos representando as informações a serem geradas. Os produtos elaborados serão a representação tridimensional da área de estudo (Figura 08) em combinação com fotografias aéreas pancromáticas e elaboração de mapa de declividade.

FIGURA 07 - CURVAS DE NÍVEL DIGITALIZADAS E COTADAS



### 3.2.2 Mapa de classes de declive

Declividade é a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal, isto é, a taxa máxima de variação no valor da elevação e, pode ser medido em graus (0 a 90<sup>0</sup>) ou em porcentagem (%) e, a exposição é a direção dessa variação medida em graus (0 a 360<sup>0</sup>) (INPE, 2000).

No programa Spring 3.6.2, além de gerar o mapa de classes de declividade (Figura 9), há ferramentas que possibilitaram a determinação das proporções destas.

FIGURA 08 - REPRESENTAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA UNIDADE DE PRODUÇÃO E ARREDORES EM COMBINAÇÃO COM FOTOGRAFIA AÉREA.

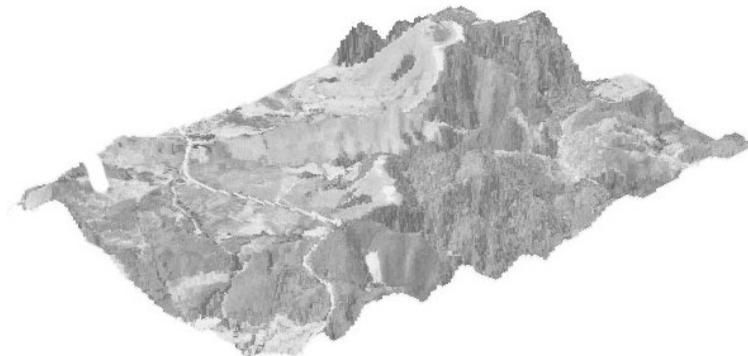
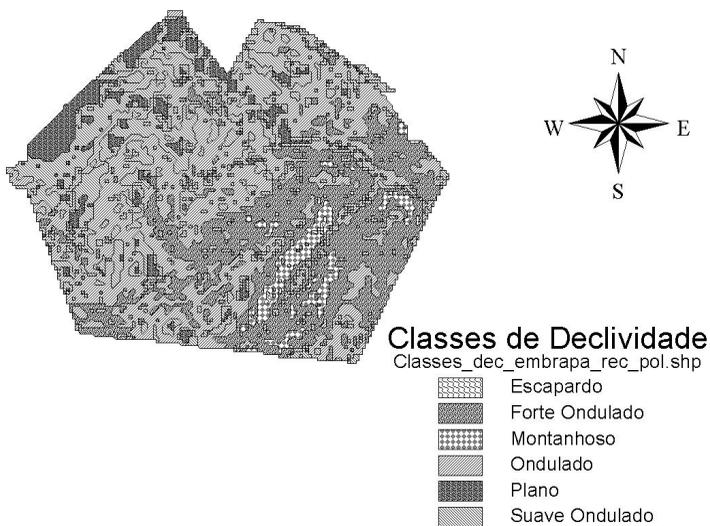


FIGURA 9 - MAPA ILUSTRANDO AS CLASSES DE DECLIVIDADE, GERADO A PARTIR DE GRADE NUMÉRICA REGULAR



### Classes de Declividade

Classes\_dec\_embraapa\_rec\_pol.shp

-  Escarpado
-  Forte Ondulado
-  Montanhoso
-  Ondulado
-  Plano
-  Suave Ondulado

Foram discriminadas as seguintes classes de declividade: plano (0 a 3%), suave ondulado (3 a 8%), ondulado (8 a 20%), forte ondulado (20 a 45%), montanhoso (45 a 75%), e escarpado (maior que 75%), conforme EMBRAPA (1999). O resultado da classificação da declividade na área está ilustrado na Tabela 01.

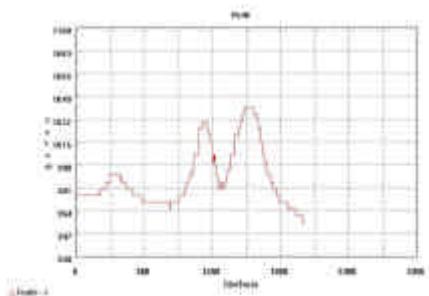
TABELA 01 - PROPORÇÃO DAS CLASSES DE DECLIVE EM UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA DO MUNICÍPIO DE BOCAIÚVA DO SUL (PR)

CLASSE DE DECLIVE	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Plano	8,75	7.41
Suave ondulado	23,25	19.68
Ondulado	48,41	40.98
Forte ondulado	32,38	27.41
Montanhoso	5,12	4.33
Escarpado	0,02	0.19
Área total da propriedade	118,13	100

### 3.2.3 Perfis topográficos

A conformação de superfícies de uma área pode ser ilustrada através de perfis topográficos, conforme ilustrado na Figura 10.

FIGURA 10 - PERFIL TOPOGRÁFICO DE UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE BOCAIÚVA DO SUL (PR)



A partir de dados do tipo MNT, podem ser gerados representações de segmentos da paisagem aleatoriamente selecionados. Estes perfis ilustram a conformação da superfície do terreno através da representação dos pontos de elevação (valor de  $z$ ) ao longo de uma linha previamente escolhida. A ilustração da conformação topográfica de superfícies é útil no entendimento das principais estruturas fisiográficas, as quais são importantes no entendimento de aspectos relacionados a geologia, solos e conseqüente uso destes.

#### 3.2.4 Mapa de Solos

O mapa com as classes de solos (Figura 11) que ocorrem na propriedade foi gerado a partir de fotointerpretação em fotos na escala 1:8000 e levantamento a campo, bem como descrição e amostragem de perfis a campo, seguidas de análises físicas e químicas, realizadas em laboratório.

Os perfis descritos e amostrados foram representativos dos aspectos fisiográficos locais, escolhidos a partir de técnicas de fotointerpretação aplicada a levantamento de solos. A extrapolação dos resultados obtidos para áreas com semelhança geomorfológica dentro da propriedade é uma prática muito utilizada que ajuda no prognóstico dos solos da propriedade.

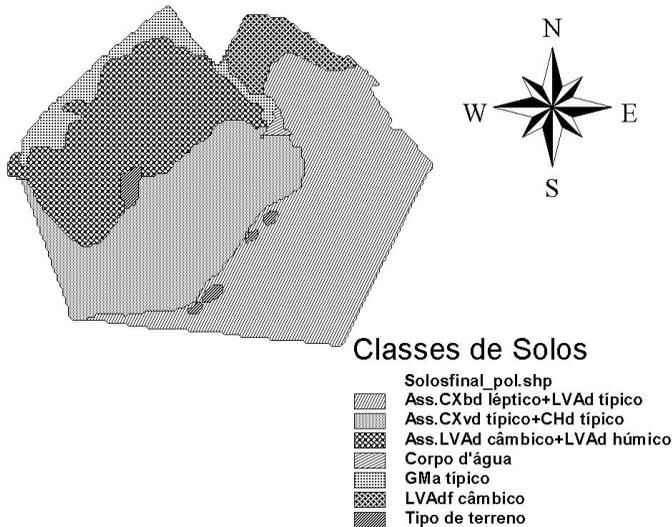
#### 3.2.5 Mapa de capacidade de uso da terra

Avaliar a capacidade de uso da terra significa levantar características ambientais (solo, relevo, clima, hidrografia) e indicar possibilidades de uso agrícola conforme critérios exigidos pelos cultivos.

O mapa de capacidade de uso da terra (Figura 12) foi obtido por meio do cruzamento entre os mapas de solos e de declividade. Tal cruzamento foi executado por meio de arquivo lógico de regras, editado e

executado via LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébico), que vem a ser um módulo de programação computacional do Spring.

FIGURA 11 - MAPA DE CLASSES DE SOLOS ENCONTRADAS NA AREA DE ESTUDO.

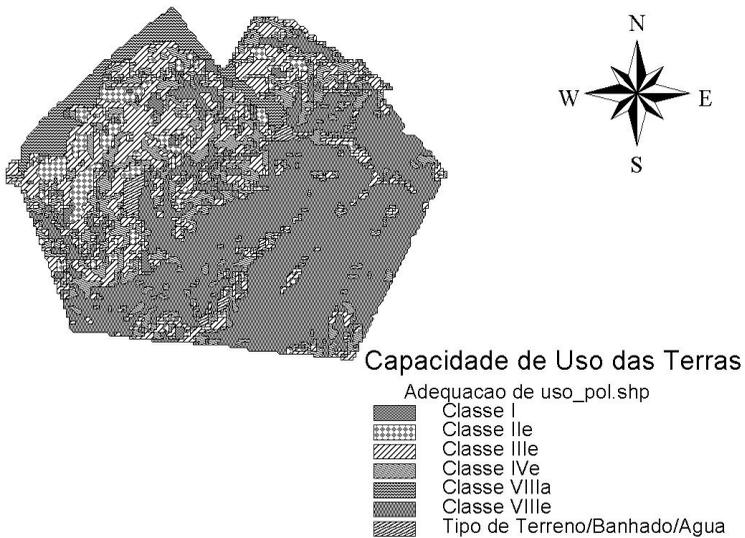


Os procedimentos para a identificação das classes no mapa de capacidade de uso são aqueles descritos por LEPSCH et al. (1991).

Com o mapa de capacidade de uso das terras e o mapa de uso atual do solo, faz-se o uso de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para explorar e gerar produtos de operações entre mapas. As operações em SIG proporcionam ao usuário uma interpretação mais apurada das características presentes em diferentes mapas e a relação das características entre si, facilitando a tomada de decisão.

O objetivo geral da elaboração de mapas está ligado a disponibilização de informações requeridas pelos planejadores de uso, ocupação e conservação dos recursos físicos em unidades de produção agropecuária. A identificação da variação espacial na aptidão agrícola dentro da unidade de produção facilita a identificação das limitações de uso e a recomendação de práticas de manejo de acordo com a capacidade de uso de cada gleba.

FIGURA 12 - MAPA DE CLASSES DE CAPACIDADE DE USO DAS TERRAS



## REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. **Manual of remote sensing**. Falls Church, American Society of Photogrammetry, v.2, 1975.
- CAMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. Spring: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers and Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- CAMARA, G.; MEDEIROS, J.S. de. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA-CPAC, 1998.
- CAMARGO, M.N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J.H. Classificação usada em levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, p. 11-33, 1987.
- COMEC. Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (Curitiba, PR). **Mapa planialtimétrico folha SG-22-X-D-I-2-SE-E**. Curitiba, 1976. mapa. 58 x 85 cm. Escala 1:10.000.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Curitiba: EMBRAPA-SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1984. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico, 57).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1995. 101 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- IAPAR. Fundação Instituto Agronômico do Paraná. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1978.
- IAPAR. Fundação Instituto Agronômico do Paraná. **Cartas climáticas do Estado do Paraná 1994**. Londrina, 1994. (IAPAR. Documentos, 18).
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Apostila de curso – SPRING 3.4 (versão Windows)**. São José dos Campos, 2000.
- LEPSCH, I.F. (Coord.); BELINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C.R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação das terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175 p.
- ROTTA, C.L. Noções gerais de geologia. In: MONIZ, A.C. **Elementos de pedologia**. São Paulo: EDUSP, 1972. p.289-303.



## CAPÍTULO III

### DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Luciano de Almeida<sup>1</sup>, Marcelo Ricardo de Lima<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eng. Agr., Doutor, Professor do DERE/UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050, Curitiba (PR). E-mail: lucianoalmeida@ufpr.br; <sup>2</sup>Eng. Agr., Doutor, Professor do DSEA/UFPR

1 INTRODUÇÃO.....	38
2 A ADOÇÃO DE RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS.....	39
3 ANÁLISE SISTÊMICA DA UNIDADE DE PRODUÇÃO .....	43
4 LEVANTAMENTO DOS RECURSOS, INSUMOS E ATIVIDADES .....	47
5 LEVANTAMENTO DE POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES SOLO .....	48
6 ANÁLISE DA GESTÃO DA PROPRIEDADE .....	48
7 TÉCNICAS UTILIZADAS PARA OBTENÇÃO DAS INFORMAÇÕES ....	49
7.1 CROQUI DA PROPRIEDADE .....	49
7.2 TOPOSEQUÊNCIA .....	51
7.3 ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA .....	51
7.3.1 Questões para orientar a entrevista .....	57
7.3.2 Orientações gerais para o profissional na condução da entrevista, quando da elaboração dos croquis, da topossequência e da entrevista: ..	61
REFERÊNCIAS .....	63

## 1 INTRODUÇÃO

O sucesso das estratégias de geração e socialização de conhecimentos e técnicas agrícolas está condicionado ao reconhecimento de que existem diferentes tipos de agricultores com problemas, potencialidades e necessidades específicas (DUFUMIER,1996). Por conseqüência, isto significa reconhecer que não existem padrões tecnológicos universais e adequados à diversidade de situações e demandas dos produtores rurais.

Há certo consenso quanto ao papel significativo do desenvolvimento tecnológico nas transformações ocorridas no setor agrícola ao longo de sua evolução. Contudo, é preciso relativizar os efeitos da mudança tecnológica na capacidade de reprodução do conjunto dos agricultores. A tecnologia não é o único fator que contribui para o desenvolvimento das unidades produtivas e dos sistemas agrários. Ao contrário, diversas variáveis internas e externas as unidades produtivas condicionam a sustentabilidade econômica, social e ambiental daquela (SILVEIRA, 1993).

Nesta orientação, as estratégias de assessoramento e proposição de alternativas técnicas e gerenciais aos agricultores devem ser elaboradas e desenvolvidas em função dos problemas concretos, dos projetos dos agricultores e das reais condições para sua implementação. Por isso, as orientações aos agricultores devem ser feitas a partir das conclusões de um diagnóstico e ter como pressuposto os elementos acima mencionados (LIMA et al., 1995).

A metodologia aqui apresentada enfatiza a importância da realização de um diagnóstico das unidades produtivas que anteceda e oriente a busca de alternativas tecnológicas. O diagnóstico é visto como um instrumento que possibilita a identificação de restrições e oportunidades ao desenvolvimento dos sistemas de produção (RIBEIRO et

al., 1997). Especificamente, no diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos, a caracterização do sistema de produção pode ser uma importante ferramenta facilitadora do trabalho do profissional que fará a orientação ao produtor rural.

O objetivo deste capítulo é apresentar um instrumental para a realização do diagnóstico das unidades de produção, que permita a identificação e análise da fertilidade e das práticas de manejo do solo, a partir de um enfoque sistêmico. São apresentados métodos e técnicas que viabilizam a orientação dos agricultores na coleta de amostras de solos e permitem ao profissional interpretar os resultados das análises de solo e auxiliar nas recomendações técnicas. Esta abordagem vem sendo utilizada no Projeto de Extensão Universitária Solo Planta, desenvolvido no Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná (LIMA et al., 2000).

## **2 A ADOÇÃO DE RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS**

O trabalho de capacitação, orientação para coleta de amostras e, sobretudo, de aconselhamento a partir das análises de solos exige que se considerem alguns fatores que influenciam na possibilidade dos produtores rurais adotarem ou não as recomendações e inovações sugeridas.

A orientação difusionista da assistência técnica, que uniformiza os produtores rurais para os quais se repassam tecnologias padrões e pré-definidas, já se mostrou muito limitada e excludente, deixando sem opções tecnológicas e assessoramento adequado um grande conjunto de produtores rurais, sobretudo agricultores familiares cujos sistemas de produção são complexos (CAPORAL e COSTA BEBER, 1994). Nesta concepção clássica todos os agricultores poderiam ser classificados entre "dinâmicos", mais propensos ao risco e receptivos às técnicas modernas, e agricultores "tradicionais", avessos ao risco e pouco receptivos àquelas

técnicas. Essa teoria indica que a difusão e adoção de tecnologias, são processos que sugerem a pura e simples incorporação pelo agricultor de uma tecnologia acabada gerada fora de seu universo. A decisão do agricultor se daria num campo de escolha restrito: adotar ou não adotar. Essa noção, cujas incoerências já estão suficientemente confirmadas, desconsidera o papel dos agricultores como sujeitos sociais, cujas decisões administrativas se dão dentro de múltiplas pressões, objetivos e expectativas em conflito, condicionadas por um contexto que vai além dos limites da propriedade.

Ao contrário da visão clássica e difusionista, considera-se aqui que é preciso admitir as diversidades dos ecossistemas e dos modos de gestão, e reconhecer a constituição histórica de agricultores e agriculturas diferenciados econômica, social e culturalmente. Nesta perspectiva, o processo de assessoramento, de geração e socialização de conhecimentos e técnicas pressupõe não só o reconhecimento da existência de diferentes tipos de agricultores, mas a realização de procedimentos que caracterizem as diferenças fundamentais que condicionam a adoção de inovações. São estas condições concretas em nível de unidade produtiva, que determinarão as opções tecnológicas. Estas condições envolvem fatores não só econômicos, mas aspectos ecológicos, culturais e político-institucionais que definem distintas estratégias de decisão e gestão nas unidades produtivas (SILVEIRA, 1993).

Isso implica em reconhecer que os agricultores não tomam suas decisões exclusivamente orientadas pela busca do lucro. Ao contrário, os agricultores, e, sobretudo familiares, fazem suas escolhas orientados por fatores diversos e não só econômicos. Esses vários condicionantes nem sempre ocorrem de forma clara e harmônica para o agricultor. Frequentemente eles encontram-se influenciados por uma ampla lista de

objetivos que podem inclusive se apresentarem para o agricultor de forma conflitiva - tal como alcançar maior lucratividade ou manter a situação de segurança, de autonomia. Nesta perspectiva entende-se que a racionalidade que orienta as decisões dos agricultores é condicionada por contextos complexos, limitada pelas tensões do cotidiano, do mundo social e natural, e pelas diversas capacidades e objetivos dos seres humanos (GUIVANT, 1995).

Admite-se assim que o pressuposto da racionalidade econômica como único parâmetro válido e universal para orientar as escolhas dos agricultores é incapaz de explicar a complexidade do processo mudança técnica, sobretudo diante da diversidade de tipos de agricultores constituída pela diferenciação social que acompanhou o processo de modernização da agricultura brasileira.

É preciso, assim, compreender a racionalidade da gestão da unidade produtiva, identificando suas características sócio-econômicas, sua história e estado atual, suas necessidades e projetos. Como afirma SILVEIRA (1993) essa racionalidade ou lógica de gestão e decisão "(...) é sempre uma opção entre alternativas conhecidas pelo gestor, segundo critérios que são condicionados pela percepção do agente em relação a sua situação". Captar esta percepção do produtor é uma das principais funções do diagnóstico. Algumas questões centrais devem ser respondidas, dentre as quais se destacam:

- 1) Ocorrem problemas com os solos na propriedade agrícola?
- 2) O produtor percebe que estes problemas ocorrem? Na opinião do produtor, quais os impactos negativos destes problemas? Prejuízos econômicos: perdas de produção, de produtividade e renda? Impactos ambientais: processos de degradação? Perda do patrimônio sócio-cultural? Estas perguntas são fundamentais, pois é preciso que o agricultor esteja certo da necessidade do diagnóstico, das análises e

das recomendações daí derivadas. Essa necessidade deve ser evidenciada e reforçada se preciso, pois, do contrário, tanto a análise quanto as sugestões técnicas podem não ser consideradas importantes e úteis pelo o agricultor. Se isso acontecer a possibilidade de adoção das recomendações é pequena, ainda que elas possam parecer efetivamente necessárias;

- 3) Qual a prioridade que este produtor dá para os problemas de solo e para as recomendações que visem a correção ou manutenção da fertilidade do solo? Se outros problemas (técnicos ou não) forem considerados mais importantes pelo agricultor diante do esforço e custo que a análise e recomendações vão lhe exigir, seu interesse e aceitação diante das sugestões tende a ser reduzida.

Um método básico para responder a estas questões e identificar a importância e a prioridade para problemas e recomendações relacionadas com o solo é envolver ao máximo o produtor no trabalho de caracterização da propriedade. A participação do produtor tem por objetivo o engajamento deste na análise de sua realidade e na busca de alternativas apropriadas. Além disto, proporcionar que o produtor não seja um mero informante, mas um co-autor do diagnóstico, é reconhecer o conhecimento local e transformar o diagnóstico num instrumento de capacitação (CHAMBERS, 1995).

O diagnóstico participativo deve assim, permitir que o produtor analise e discuta sobre o modo como o seu solo é manejado e sobre os problemas daí decorrentes. Isto vai permitir que ele perceba a necessidade (ou não) das análises e das futuras recomendações, o que tende a favorecer a adoção das recomendações. É evidente que quanto mais discutido com o produtor for o diagnóstico e as recomendações, mais apropriadas ao sistema de produção serão as sugestões, e maior será o grau de adoção.

### **3 ANÁLISE SISTÊMICA DA UNIDADE DE PRODUÇÃO**

O enfoque sistêmico é aquele mais apropriado para captar e compreender a racionalidade e as lógicas de gestão de uma unidade de produção através da análise do seu funcionamento (LIMA et al., 1995).

Considerando-se que o produtor acredite que a análise de solos é importante diante de problemas prioritários já reconhecidos, deve-se proceder ao conhecimento do sistema de produção naquilo que influencia a fertilidade, o manejo do solo e a possibilidade de adoção das recomendações.

Este levantamento de informações deve partir de uma abordagem ampla e sistêmica do funcionamento da propriedade. É preciso que os problemas e alternativas relacionados a fertilidade do solo sejam identificados e analisados em suas interações e interferências com outras áreas e atividades do estabelecimento. O princípio básico é que as decisões do produtor quanto ao manejo do solo estão condicionadas à lógica de gestão de toda a propriedade. Portanto, é preciso entender como funciona o sistema produção e descobrir as causas que orientam as escolhas e decisões do produtor.

Na abordagem sistêmica, os estabelecimentos agrícolas são vistos como um todo organizado, um sistema aberto e complexo. O sistema de produção, segundo DUFUMIER (1996), pode ser entendido como um arranjo de atividades agrícolas e não-agrícolas, gerenciadas em função do ambiente sócio-econômico e agroecológico e de acordo com os objetivos, preferências e recursos da família.

Uma das propriedades mais importantes dos sistemas é que cada um deles ocupa um nível determinado em uma organização hierárquica e, portanto, pode constituir parte de um sistema maior, e por sua vez subordinar subsistemas hierarquicamente inferiores. Esta hierarquização de um sistema maior em subsistemas é imprescindível para que a

investigação não caia na generalização ou no reducionismo (SARAIVA, 1983). Esta hierarquia inclui o nível regional (sistema agrário), o nível intermediário da unidade de produção (sistema de produção), e o nível dos sistemas de cultivo, de produção animal, sistemas extrativistas e de processamento. O sistema de produção, assim, pode ser dividido em subsistemas:

- a) Sistemas de cultivo, definidos ao nível das parcelas ou de grupos de parcelas de terras tratadas de maneira homogênea, com os mesmos itinerários técnicos e sucessões culturais. Os sistemas de cultivo abrangem atividades de lavoura, florestas e pastagens;
- b) Sistemas de criação, definidos ao nível dos grupos de animais;
- c) Sistemas extrativistas, definidos ao nível de parcelas de áreas onde a retirada de recursos naturais ou de produtos predomina;
- d) Sistemas de processamento dos produtos agropecuários no estabelecimento.

Analisar um sistema de produção na escala dos estabelecimentos agrícolas não se resume somente em estudar seus elementos constitutivos, mas consiste, sobretudo em examinar com cuidado as interações e as interferências que se estabelecem entre eles (DUFUMIER, 1996):

- a) Relações de concorrência entre as espécies vegetais e animais pelos recursos naturais disponíveis (água, luz, minerais, matéria orgânica, etc.);
- b) Relações de sinergia ou de complementaridade na utilização dos recursos;
- c) Distribuição e repartição (no tempo e no espaço) da força de trabalho e dos meios de produção entre diferentes subsistemas de cultura e de criação: itinerários técnicos, sucessões e rotações de cultura,

distribuição da área disponível entre as culturas, calendários forrageiros, deslocamentos de rebanhos.

A Figura 01 apresenta o exemplo do esquema de funcionamento de um estabelecimento agrícola localizado no município de Bocaiúva do Sul (PR). A Figura 02 mostra especificamente o sistema de produção do estabelecimento apresentado na Figura 01, enquanto que a Figura 03 mostra o sistema de cultivo deste mesmo produtor.

FIGURA 01 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UM ESTABELECIMENTO AGRÍCOLA LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE BOCAIÚVA DO SUL (PR) (FONTE: UNIVERSIDADE, 1999).

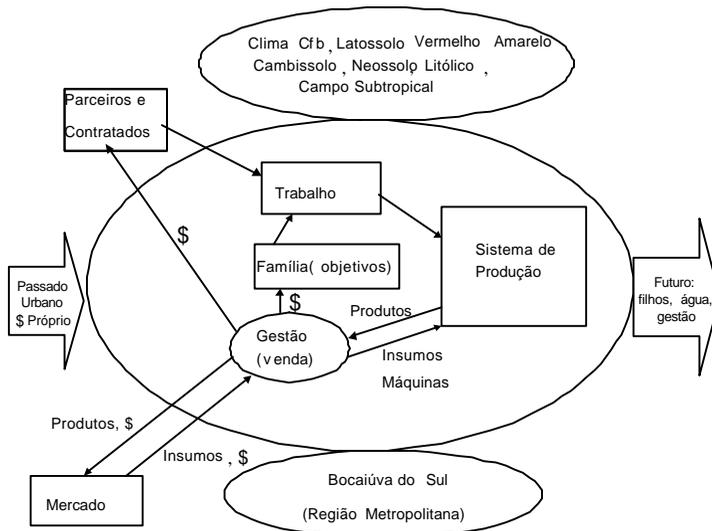


FIGURA 02 - SISTEMA DE PRODUÇÃO DE UM ESTABELECIMENTO AGRÍCOLA LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE BOCAIÚVA DO SUL (PR) (FONTE: UNIVERSIDADE, 1999)

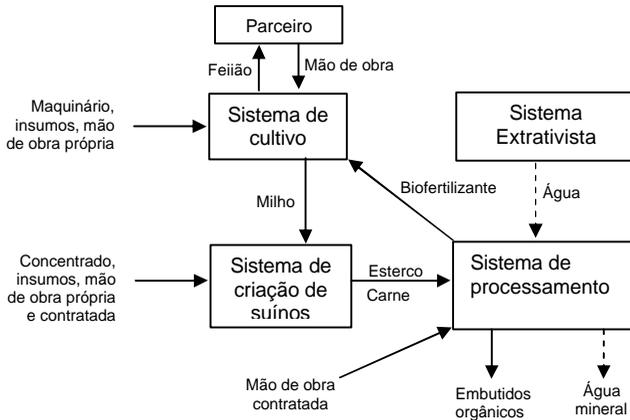
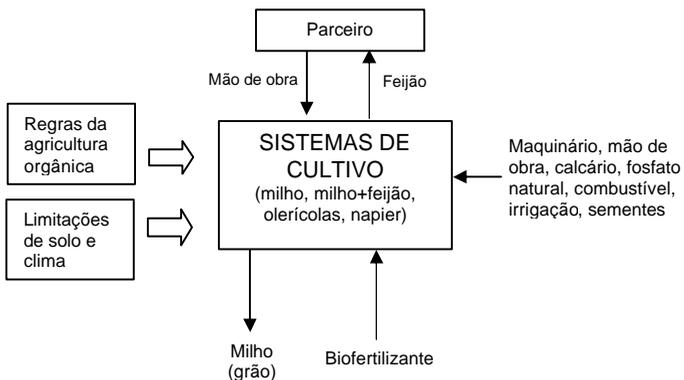


FIGURA 03 - SISTEMA DE CULTIVO DE UM ESTABELECIMENTO AGRÍCOLA LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE BOCAIÚVA DO SUL (PR) (FONTE: UNIVERSIDADE, 1999)



A partir do que foi exposto, é preciso, portanto, pensar alternativas e recomendações para os problemas do solo destas áreas compatíveis com os recursos, insumos e atividades existentes.

O levantamento a ser feito deve dar conta dessa amplitude, sem que seja necessário um trabalho muito detalhado.

Nos itens seguintes serão descritas as principais informações a serem obtidas, bem como os métodos para coletá-las.

#### **4 LEVANTAMENTO DOS RECURSOS, INSUMOS E ATIVIDADES**

Refere-se ao levantamento do conjunto dos recursos, insumos e atividades do sistema de produção que proporcione a compreensão do seu funcionamento, de seus limites e potencialidades. Temas a serem abordados:

- a) Posse e uso da terra;
- b) Benfeitorias;
- c) Estradas;
- d) Inventário dos equipamentos;
- e) Diferentes sistemas de exploração (floresta, pastagem, lavoura, etc.);
- f) Área total e explorações e recursos florestais;
- g) Distribuição espacial destas explorações;
- h) Calendário das atividades agrícolas, florestais e pecuárias;
- i) Critérios usados pelo produtor rural para selecionar áreas para as explorações;
- j) Forma de manejar os resíduos culturais e as razões para tal manejo;
- k) Sistema de preparo do solo e equipamentos usados para tal;
- l) Utilização de fertilizantes orgânicos ou químicos, fosfato natural, etc.;
- m) Estratégias conservacionistas (adubação verde, preparo do solo, terraceamento, cultivo em nível, etc.);

## **5 LEVANTAMENTO DAS POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DO SOLO**

Analisa-se aqui, com mais especificidade, as características dos solos do estabelecimento em estudo. Temas a serem abordados:

- a) Classes de solos predominantes;
- b) Declividade do terreno;
- c) Profundidade efetiva do solo;
- d) Espessura e cor do horizonte A;
- e) Grau de pedregosidade e rochiosidade;
- f) Drenagem;
- g) Textura;
- h) Fertilidade;
- i) Grau de erosão (se presente);
- j) Presença de áreas com sintomas de deficiência nutricional.

## **6 ANÁLISE DA GESTÃO DA PROPRIEDADE**

Trata-se de analisar com mais profundidade a percepção daqueles que conduzem o estabelecimento, que decidem o seu funcionamento e as prioridades onde investir recursos, tempo e trabalho. Busca-se neste ponto recuperar alguns antecedentes do estabelecimento e daqueles que fazem a gestão deste. A partir de um histórico da propriedade, parte-se para um exercício de problematização e de projeção dos objetivos e perspectivas. Assim, são abordados os seguintes temas:

- a) Identificação do histórico do estabelecimento e dos gestores deste. Atividades anteriores, tempo de ocupação da área, mudanças significativas;
- b) Identificação dos principais problemas e prioridades do produtor relacionadas com o solo;

- c) Identificação dos objetivos e perspectivas do produtor. Quais são seus projetos para a propriedade? Que atividades pretende fortalecer e/ou iniciar? Pretende investir na fertilidade, manejo e conservação do solo? Por quê? Como?

## **7 TÉCNICAS UTILIZADAS PARA OBTENÇÃO DAS INFORMAÇÕES**

Estas informações são obtidas através do uso de diferentes técnicas: elaboração de croquis (mapas), elaboração de topossequências, realização de uma entrevista semi-estruturada e coleta de amostras de solo e planta. Este conjunto de instrumentos para a coleta dos dados necessários será discutido a seguir. A coleta de amostras de solo e planta será objeto de capítulo específico neste trabalho.

### **7.1 CROQUI DA PROPRIEDADE**

Para facilitar a elaboração do croqui é recomendável buscar o ponto mais alto da propriedade, junto com o agricultor desenhar os limites, os diferentes usos, sentido do declive, estradas, benfeitorias, etc. (RIBEIRO et al., 1997).

A) Utilizar folhas de cartolina e pincel atômico para que se possa desenhar o(s) mapa(s) da propriedade. Pode-se fazer uma delimitação da área à priori, contudo é mais produtivo deixar que o produtor o faça. A Figura 05 mostra um exemplo de um croqui de uma unidade de produção agropecuária. Devem-se levantar questões que estimulem o produtor a identificar e definir (segundo sua própria terminologia):

- Tipos de solo existentes na propriedade, em função da localização, declividade, etc.;
- Características dos solos;
- Uso do solo (culturas, preparo, adubação).

- Levantar o histórico e tendência de ocupação do solo;

B) Registrar no croqui informações sobre os temas do levantamento do uso do solo. Separar a propriedade em glebas. Para cada um dos locais de coleta anotados no croqui haverá uma ficha de caracterização do solo (Tabela 05). Em cada gleba anotar no croqui (quando couber):

- Diferentes sistemas de exploração (floresta, pastagem, lavoura, etc.);
- Distribuição espacial destas explorações;
- Classes de solos predominantes;
- Declividade do terreno (porcentagem e sentido); posição na paisagem;
- Espessura do horizonte A e profundidade efetiva do perfil;
- Pedregosidade, drenagem, textura, e fertilidade do solo;
- Aplicação de calcário (quantidade, uniformidade, distribuição e incorporação);
- Áreas uniformes de adubação;
- Anotar se alguma gleba ou porção da gleba recebeu fosfato natural, adubação orgânica de origem animal, ou se foi deixada em pousio;
- Grau de erosão (se presente);
- Presença de áreas com sintoma de deficiência nutricional (Tabela 04);
- Vegetação: culturas anuais (desenvolvimento); culturas perenes (idade das plantas); observar se ocorre manchas com maior ou menor produtividade;
- Estradas e benfeitorias;
- Local e época da última amostragem de solo;

Para fins de exemplificação, em uma propriedade rural no município de Bocaiúva do Sul (PR), foi produzido o croqui de uma área de cultivo agrícola, na qual havia interesse por parte do produtor rural em melhorar o manejo e fertilidade do solo (Figura 04).

## 7.2 TOPOSSEQUÊNCIA

O objetivo da topossequência é ilustrar características agroecológicas e de ocupação do solo segundo a posição na paisagem (RIBEIRO et al., 1997).

Para fazer a topossequência deve-se caminhar, com o agricultor, de um ponto mais alto até o mais baixo, ou fazer um percurso atravessando a propriedade procurando transitar sobre áreas com maiores diferenças de declividade.

A Figura 04 mostra uma topossequência na área de cultivo apresentada na Figura 05. O profissional pode elaborar tantas topossequências quantas julgue necessário para caracterizar adequadamente a unidade de produção rural.

## 7.3 ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA

A entrevista semi-estruturada não é um questionário. Pelo contrário, as questões não tem uma seqüência muito rígida e as informações podem ser obtidas durante um diálogo mais flexível. Existem perguntas que devem orientar o levantamento de informações, contudo elas não devem ser feitas numa seqüência exaustiva e num único momento.

A entrevista começa ao se chegar à propriedade e só termina com a discussão e análise das informações. Durante a elaboração dos croquis, da topossequência e de discussões paralelas, diversas informações importantes estarão sendo abordadas. Caberá ao profissional ficar permanentemente atento para registrar as informações pertinentes e questionar quando necessário. Após a elaboração dos croquis e da topossequência, deve haver um tempo para que o profissional converse com o agricultor e complemente as informações que julgar importante.

A entrevista pode começar com a coleta de alguns dados básicos relativos a identificação e caracterização da propriedade (Tabela 01).

FIGURA 04 - CROQUI DA ÁREA DE CULTIVO DESTACADA EM PROPRIEDADE RURAL LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE BOCAIUVA DO SUL (PR) (FONTE: UNIVERSIDADE, 2000)

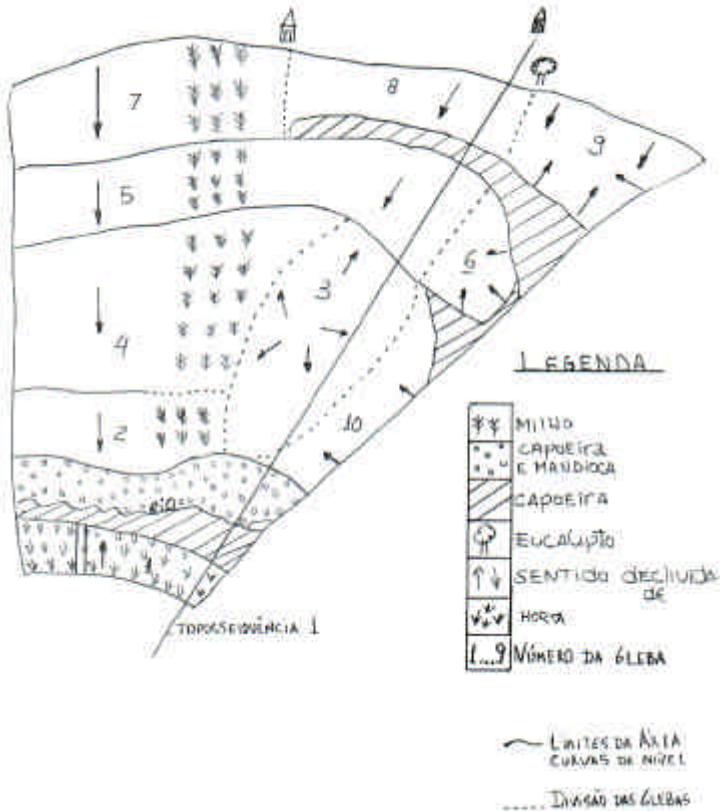
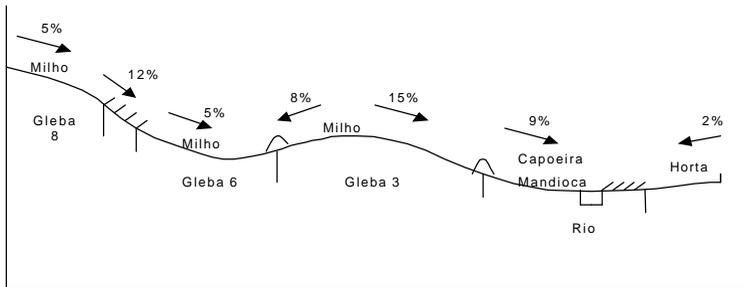


FIGURA 05 - TOPOSSEQUÊNCIA DA ÁREA DESTACADA NA FIGURA 04, LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE BOCAIUVA DO SUL (PR) (FONTE: UNIVERSIDADE, 2000)



Em seguida é importante descrever o conjunto das atividades desenvolvidas na unidade (culturas, criações, produção florestal), bem como as áreas ocupadas e destino de produtos e subprodutos. (Tabela 02). Paralelamente pode-se elaborar de um calendário destas atividades para que se observem as exigências e períodos de relativa ociosidade de maquinários e mão de obra (caso eles existam), e para que se apreenda a dinâmica de funcionamento durante o ano (Tabela 03).

Para complementar os dados deve-se elaborar fichas que descrevam o sistema de cultivo das principais culturas (Tabela 04). Caso sejam adotados itinerários técnicos diferentes nas glebas da unidade de produção, deve-se preencher um quadro para cada gleba diferente.

**TABELA 01 - IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE PRODUÇÃO RURAL**Dados de Identificação:

Nome do Agricultor:.....

Município:.....

Localidade.....

Distância da sede do município.....

Vias de acesso.....

Posse da Terra:.....Proprietário, .....Arrendatário, .....Parceiro, .....Outro

Dados da Unidade de Produção:

Área Total:.....

Área Agrícola.....

Área de Pastagem.....

Área de Florestamento.....

Área de Reserva Natural.....

Área cedida para plantio Parceria.....

Criações.....

Atividades Não Agrícolas Desenvolvidas:.....

Mão de Obra Familiar Disponível .....adultos.....adolescentes;

Mão de Obra Contratada.....permanente.....temporária.



TABELA 3 - CALENDÁRIO DAS ATIVIDADES NO ESTABELECIMENTO (EXEMPLO DE ATIVIDADES A SEREM CONSIDERADAS)

ATIVIDADES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Milho - Adubação - Gradagem - Semeadura - Tratos Culturais - Colheita												
Suínos - Alimentação - Limpeza - Tratamentos - Abate - Outras Atividades												
Outras Culturas, Criações, Atividades de Processamento, Comércio, etc.												

TABELA 4 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE CULTIVO (LIMA et al., 1995)

Cultura:		Gleba:					
Resumo das operações em cada fase	Tipo e quantidade de insumos utilizados						
A. Preparo do solo e plantio	Corretivos	Adubos pré emergência	Herbicida	Semente	Outros	Outros	
B. Tratos culturais	Herbicidas	Inseticidas	Formicidas	Fungicidas	Outros	Outros	
C. Colheita / Transporte	Dessecantes	Outros					

### 7.3.1 Questões para orientar a entrevista

#### 7.3.1.1 Problematização

Na problematização deve-se ter em vista que é comum que as práticas dos agricultores sejam identificadas como as causas dos problemas, sem que se explore o que está por trás de determinada prática (RIBEIRO et al., 1997). Assim, por exemplo, muitas vezes se atribui as perdas por erosão ao manejo inadequado do solo. Porém é freqüente este manejo ser usado em função da falta de equipamentos, ou recursos financeiros, ou ser realizado em época propícia à ocorrência de chuvas intensas. A baixa produtividade de uma cultura pode ser atribuída à ausência da calagem. No entanto, muitas vezes o produtor rural tem consciência deste fato, mas não realiza a calagem por ausência de condições como a disponibilidade de equipamentos ou mão de obra, ou falta de recursos próprios ou linhas de financiamento de médio prazo.

Questões para orientar a problematização:

- a) O Sr(a). tem problemas / dificuldades com o seu solo em alguma área?
- b) Onde estão localizados os melhores e piores solos da sua propriedade? (Justificativa)
- c) Quais são esses problemas? Por que esses problemas preocupam?
- d) Por que eles acontecem? O que é causa e o que é consequência?
- e) O que o Sr(a). já fez para tentar resolver esses problemas?
- f) O que aconteceu?
- g) O que o Sr(a). pretende fazer? Como e por quê?

#### 7.3.1.2 Sobre o manejo do solo e culturas

Além das perguntas a seguir, preencher as Tabelas 05 e 06.

- a) O(A) Sr(a). já fez análise do solo? Quando? O que foi feito? Como foram os resultados?

- b) Qual a utilização das diferentes áreas da propriedade? Por que essa escolha?
- c) O que é feito com os resíduos culturais? Por que tal manejo?
- d) Qual o sistema de preparo do solo e equipamentos usados para tal?
- e) Utiliza fertilizantes orgânicos ou químicos, fosfato natural? Como é a incorporação de calcário? Como realiza a distribuição de adubo?
- f) Inventário dos equipamentos e instalações (para a cultura);
- g) Quais estratégias conservacionistas adotadas (adubação verde, preparo do solo, terraceamento, cultivo em nível, etc.);
- h) Qual a vegetação original da área?
- i) Qual é a idade das culturas perenes?
- j) As culturas anuais estão com o mesmo desenvolvimento?

**TABELA 05 - INFORMAÇÕES DE ADUBAÇÃO, CALAGEM E PRESENÇA DE SINTOMAS NAS PLANTAS**

Gleba:					
Localização:					
<b>Calagem</b>					
Sim:	Não:	Quando:	Quanto:	Como:	
<b>Adubação</b>					
Sim:	Não:	Quando:	Quanto:	Como:	
Qual adubo:			Mineral:	Orgânico	
<b>Sintomas nas Plantas</b>					
Sim:			Não:		
Distribuição na gleba	Geral:	Algumas plantas:	Focos pequenos:	Grandes manchas:	
Simetria na planta (média)	Sim:		Não:		
Gradiente na planta	Sim:	Não:	Murcha apical:	Intenso nas folhas mais novas:	Nas folhas mais velhas:
Distribuição na folha	Generalizada:		Pontas/margens:	Pecíolo/talos:	Manchas:
Outros aspectos:					

TABELA 06 - FORMULÁRIO PARA COLETA DE DADOS DO SOLO

<b>Gleba:</b>										
<b>Uso</b>										
<b>Classificação do solo:</b>										
<b>Situação</b>										
Topo:		Terço superior:			Terço médio		Terço inferior:		Várzea:	
<b>Declividade (%):</b>					<b>Risco de inundação:</b>					
<b>Relevo</b>										
Plano: (0-3%)		Suave ondulado (3-8%)		Ondulado (8-12%)		Forte ondulado ((8-20%)		Montanhoso (20-45%)		Escarpado: (> 45%)
<b>Erosão laminar</b>										
NA:		LL:		LM:		LS:		LMS:		LES:
<p><b>Erosão laminar:</b> NA: não aparente; LL:laminar ligeira (25% do horizonte A removido); LM: laminar moderada (25 a 75% do horizonte A removido); LS: laminar severa (mais de 75% do horizonte A removido e possivelmente com horizonte B aflorando); LMS: laminar muito severa (sem horizonte A e com 25% a 75% do horizonte B erodido); LES: Laminar extremamente severa (com horizonte B praticamente removido, atingindo horizonte C)</p>										
<b>Erosão em sulcos</b>										
Frequência	SO:	SF:	SMF:	Profundidade		SS:	SR:	SP:	SMP:	
<p><b>Frequência da erosão em sulcos:</b> SO: sulcos ocasionais (sulcos distanciados de mais de 30 m); SF: sulcos freqüentes (sulcos distanciados a menos de 30 m, mas ocupando área inferior a 75%); SMF: sulcos muito freqüentes (sulcos distanciados a menos de 30 m, mas ocupando área superior a 75%)</p>										
<p><b>Profundidade da erosão em sulcos:</b> SS: sulcos superficiais (podem ser cruzados por máquinas agrícolas e se desfazem com o preparo do solo); SR: sulcos rasos (podem ser cruzados por máquinas agrícolas, mas não se desfazem com o preparo do solo); SP: sulcos profundos (não podem ser cruzados por máquinas agrícolas, e não atingiram o horizonte C); SMP: sulcos muito profundos (não podem ser cruzados por máquinas agrícolas e já atingiram o horizonte C).</p>										
<b>Drenagem</b>										
<b>Horiz. A</b>	Rápida:	Moderada:	Lenta:	<b>Horiz. B</b>	Rápida:	Moderada:	Lenta:			
<p><b>Drenagem:</b> Rápida (textura arenosa ou estrutura forte pequena granular e friável (B-latossólico), com percolação superior a 150 mm/h em testes de laboratório); Moderada (combinação de textura e estrutura que favorece a percolação moderada que varia de 5 a 150 mm/h em testes de laboratório); Lenta (quando a combinação de textura e estrutura dificultam a percolação, normalmente com velocidade de infiltração inferiores a 5 mm/h, normalmente ocorrendo em camadas argilosas ou muito argilosas (exceto LATOSSOLOS) ou em textura média com argila de atividade alta e/ou saturação com sódio)</p>										
<b>Pedregosidade</b>										
Ligeiramente:		Moderadamente:		Pedregosa:		Muito:		Extremamente:		
<p><b>Pedregosidade:</b> Ligeiramente (0,01 a 0,1% de calhaus e matacões distribuídos na superfície do terreno, distanciando-se entre 10 a 30 m, podendo interferir na aração, mas sendo perfeitamente viável o cultivo entre as pedras); Moderadamente (0,1 a 3% da superfície do terreno, distanciando-se entre 1,5 e 10 m, sendo impraticável o cultivo entre as pedras, mas adequado para cultivo de forrageiras e pastagens); Pedregosa (3 a 15% da superfície do terreno, distanciando-se entre 0,75 e 1,5 m, sendo impraticável o uso de maquinaria com exceção de máquinas leves e implementos agrícolas manuais, sendo mais adequado para preservação da fauna e flora); Muito (15 a 50% da superfície do terreno, distanciando-se por menos de 0,75 m, sendo inviável a qualquer tipo de agricultura, sendo área ideal para preservação de florestas nativas); Extremamente (50 a 90% da superfície do terreno).</p>										
Possibilidade de remoção da pedregosidade:						Sim:		Não:		

TABELA 06 - FORMULÁRIO PARA COLETA DE DADOS GERAIS SOBRE O SOLO (CONTINUAÇÃO)

Rochosidade				
Ligeiramente:	Moderadamente:	Pedregosa:	Muito:	Extremamente:
<b>Rochosidade:</b> Ligeiramente (afioramentos e/ou matacões distanciam-se por 30 a 100 m, ocupando 2 a 10% da superfície do Terreno, interferindo no preparo do solo, mas sendo viável o cultivo entre as rochas); Moderadamente (distanciam-se entre 10 e 30 m, ocupando 10 a 25% da superfície do terreno, sendo impraticável o cultivo entre as rochas, mas sendo possível o cultivo de forrageiras e pastagens); Rochosa (distanciam-se entre 3 e 10 m, ocupando 25 a 50% da superfície do terreno, podendo ser utilizadas para preservação da flora e fauna); Muito (Distanciam-se menos de 3 m e ocupam entre 50 a 90% da superfície, podendo ser utilizadas por florestas nativas); Extremamente (ocupam mais de 90% da superfície do terreno).				

### 7.3.1.3 Sobre a gestão e projetos futuros

A compreensão da lógica de gestão do estabelecimento depende do conhecimento das atividades praticadas e, sobretudo, dos fluxos de produtos e subprodutos. A Tabela 7 mostra o exemplo de um quadro síntese da gestão de uma propriedade rural.

O profissional pode elaborar um quadro síntese de gestão do estabelecimento em estudo conforme o exemplo da Tabela 06.

Além do quadro de gestão da área, devem-se obter respostas para as seguintes questões:

- Histórico: Há quanto tempo a família tem a propriedade? O que faziam antes disso (origem)?
- Tem outras atividades e/ou fontes de renda fora da propriedade?
- Quais as razões que o levaram a desenvolver as atividades atuais (culturas, criações, processamentos, atividades extrativistas, serviços, etc.)? Quais os projetos para a propriedade?
- Quais atividades o Sr(a). pretende continuar ou aumentar?
- Pretende investir em alguma coisa? Em que pretende investir? Na fertilidade, manejo e conservação do solo? Por que? Como?

TABELA 7 - QUADRO SÍNTESE DE GESTÃO DE UM ESTABELECIMENTO AGRÍCOLA LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE BOCAIÚVA DO SUL (PR)

Área	Produção	Produção Vegetal	Produção Animal	Fluxo de Produção	Processamento e Consumo	Venda
39,75 ha	3000 kg	→ Milho	→ Suíno	→ Carne	→ Embutidos	→ 100%
				→ Ossos	→ Farinha de Ossos	
				→ Esterco	→ Biofertilizante	
0,5 ha		→ Feijão			→ Consumo	

7.3.2 Orientações gerais para o profissional na condução da entrevista, quando da elaboração dos croquis, da topossequência e da entrevista:

- O ato de obter informações e entrevistar consiste, sobretudo em criar uma situação, uma atmosfera amigável, onde as respostas do informante sejam fidedignas e válidas. Os informantes devem ser encorajados a emitirem opiniões francas sem temor quanto ao uso destas informações. Procure deixar o(a) informante a vontade;
- A realização do diagnóstico pode gerar diferentes reações: receptividade, hostilidade, desconfiança, necessidade de incentivo ou persuasão. Esteja preparado para compreendê-las e superá-las;
- Procure adquirir a confiança do produtor(a) rural, seja amigável, cortês e sociável. Use o bom senso: não seja muito austero, nem muito efusivo, nem muito falante, nem muito tímido. Tenha calma e não seja muito persistente;
- Seu papel é de repórter, e não de um pregador ou de um curioso. Colete as informações sem hesitação e nunca demonstre surpresa ou reprovação a uma resposta;

- e) Manifeste interesse nas opiniões dos informantes e tenha cautela em manifestar a sua opinião. Se for solicitado contorne a questão. Fale pouco, não discuta e concentre-se nas opiniões e reações de seu entrevistado;
- f) Tenha calma. Não apresse a agricultor(a) em suas respostas;
- g) Deixe suas anotações à vista do produtor(a) rural. Se ele demonstrar curiosidade em vê-las, antecipe-se e mostre-lhe prontamente;
- h) Não seja inoportuno interrompendo atividades importantes. Se a entrevista se estender por muito tempo tenha bom senso diante da demonstração do produtor(a) rural de que tem outras coisas a fazer;
- i) Procure registrar literalmente o que o agricultor(a) disser;
- j) Não esqueça de levar prancheta, lápis e papel para as anotações.

## REFERÊNCIAS

- CAPORAL, F. R.; COSTA BEBER, J. A. Por uma nova extensão rural: fugindo da obsolescência. **Reforma Agrária**, v.24, n.3, p.70-90, set./dez. 1994.
- CHAMBERS, R. DRP: despeués de cinco años, en qué estamos ahora? **Revista Bosques, Árboles y Comunidades Rurales**, n.26.p.4-15, 1995.
- DUFUMIER, M. **Les projets de développement agricole**. Paris: Éditions Karthala–CTA, 1996.
- GUIVANT, Júlia Sílvia. A agricultura sustentável na perspectiva das ciências sociais. In: VÁRIOS AUTORES. **Meio-Ambiente, desenvolvimento e cidadania: desafios para as ciências sociais**. São Paulo: Cortez; Florianópolis; Universidade Federal de Santa Catarina, 1995.
- LIMA, A .P.; BASSO, N.; NEUMANN, P.S.; SANTOS, A.C.; MÜLLER, A.G. **Administração da unidade de produção familiar**: modalidades de trabalho com agricultores. Ijuí: UNIJUI, 1995.
- LIMA, M.R. de; PREVEDELLO, B.M.S.; ALMEIDA, L. de. Projeto solo planta: sistema de análise de solo e planta – ferramenta tecnológica ao alcance do produtor rural. **Em Extensão**, Uberlândia, v. 2, n. 2, p. 45-52, 2000.
- RIBEIRO, M.F.S.; LUGÃO, S.M.B.; MIRANDA, M.; MERTEN, G.H. Métodos e técnicas de diagnóstico de sistemas de produção. In: IAPAR. **Enfoque sistêmico em P & D**: A experiência metodológica do IAPAR. Londrina: IAPAR, 1997. p. 55-79. (IAPAR. Circular, 97).
- SARAIVA, A. **Un enfoque de sistemas para el desarrollo agrícola**. San José: IICA, 1983. 265 p.
- SILVEIRA, P. R. Sustentabilidade e transição agroambiental: desafio aos enfoques convencionais da administração e extensão. **Extensão Rural**, Santa Maria,v.1, n.1, p.80-107 , jan/dez. 1993.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Departamento de Solos. Projeto Solo Planta. **Diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos da Fazenda Pedra Branca – Bocaiúva do Sul**. Curitiba, 1999. 29 p.



## CAPÍTULO IV

### AMOSTRAGEM DE SOLO PARA FINS DE MANEJO DA FERTILIDADE

Beatriz Monte Serrat<sup>1</sup>, Aparecido Carlos de Oliveira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eng. Agr., Doutora, Professora Sênior do DSEA/UFPR. Rua dos Funcionários, 1540. CEP

80035-050, Curitiba (PR). E-mail: bmserrat@ufpr.br; <sup>2</sup>Eng. Agr.

1 INTRODUÇÃO.....	66
2 AMOSTRAGEM DO SOLO.....	67
2.1 FREQUÊNCIA E ÉPOCA DE AMOSTRAGEM.....	68
2.2 SEPARAÇÃO DAS GLEBAS A SEREM AMOSTRADAS.....	69
2.3 LOCAIS DE AMOSTRAGEM.....	69
2.4 FERRAMENTAS DE AMOSTRAGEM.....	78
2.5 PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM.....	79
2.6 OBSERVAÇÕES GERAIS PARA COLETA DE AMOSTRAS DE SOLOS.....	79
2.7 DETALHAMENTO ESPECÍFICO DE AMOSTRAGEM.....	81
2.7.1 Pastagem.....	81
2.7.2 Culturas perenes.....	81
2.7.3 Solos de várzea.....	82
2.7.4 Cana de açúcar.....	82
2.7.5 Reflorestamento.....	82
2.7.6 Cultivo em estufas.....	82
2.7.7 Sistema de plantio direto (SPD).....	83
REFERÊNCIAS.....	85

## 1 INTRODUÇÃO

A boa produtividade obtida no cultivo agrosilvopastoril em condições favoráveis de clima é conseqüência de um programa de trabalho baseado na análise criteriosa de todos os fatores que afetam o desempenho de uma cultura, tais como: escolha de sementes e de espécies mais adaptadas ao cultivo em uma determinada área; tratos culturais; preparo adequado do solo; adubação; calagem; etc.

A adubação e a calagem visam manter o equilíbrio nutricional das plantas ao longo de seu desenvolvimento. Dessa forma, a recomendação para a correção ou manutenção da fertilidade do solo exige conhecimento tanto das exigências nutricionais da planta quanto do potencial produtivo do solo, sempre considerando suas características químicas, físicas e biológicas. Esses aspectos concorrem para uma maior eficiência do fertilizante aplicado e conseqüentemente para um melhor rendimento das culturas e das espécies florestais.

A aplicação de fertilizantes quando desequilibrada, com excesso ou deficiência de determinados elementos, poderá acarretar um comprometimento irreversível no desempenho das plantas, resultando em desperdício de valores investidos em insumos e/ou tratos culturais, bem como possibilidades de indesejáveis interferências ambientais (PREVEDELLO et al., 2002).

Em síntese, uma recomendação adequada de adubação e calagem é, portanto, um assunto complexo que exige experiência e conhecimentos nas áreas da agronomia, engenharia florestal e/ou zootecnia, devendo considerar-se vários aspectos além da simples complementação de nutrientes. Existem diversas metodologias para uma boa recomendação técnica de insumos, dentre as quais se destaca a análise de solo, que complementa tanto os dados obtidos junto do produtor rural quanto os

coletados diretamente nas áreas de cultivo. Segundo WATANABE et al, (2002), somente os dados obtidos a campo através da observação visual não são suficientes para determinar possíveis problemas nutricionais das plantas.

A análise do solo apenas indica parâmetros da sua fertilidade, devendo sua interpretação ser acompanhada do histórico de utilização do solo, das análises de tecido vegetal (quando viável), do tipo de solo, clima, cultura a ser implantada, e do grau de experiência, padrão tecnológico e aspectos sócio-culturais do produtor rural, para que essa possa ser utilizada como instrumento na orientação da tomada de decisões.

A importância de uma análise de solo depende do rigor na execução de cada uma das seguintes etapas: a) Amostragem do solo; b) Determinações químicas e físicas; c) Interpretação dos resultados das análises; d) Recomendação de corretivos e fertilizantes; e) Implantação das recomendações.

Em cada uma dessas fases podem ocorrer erros, afetando o resultado da análise e conseqüentemente a recomendação de corretivos e fertilizantes. O erro devido a uma amostragem mal conduzida é geralmente o mais significativo, pois não pode ser corrigido nas fases subseqüentes.

## **2 AMOSTRAGEM DO SOLO**

Para que a análise de solo tenha resultados confiáveis, é necessário que se faça uma amostragem correta, pois a amostragem feita de maneira técnica serve como representação do terreno que se quer analisar (SQUIBA, 2002). Embora seja a mais simples, a amostragem é a operação mais importante, pois uma pequena quantidade de solo recolhida deve representar as características de uma grande área.

Vejamos o exemplo: é encaminhada ao laboratório uma amostra de 500g de terra, representando 5 ha, da qual são tomados 10 g para análise. Considerando que a camada de 0 – 20 cm de 1 ha pesa 2000 toneladas (com densidade aproximada de  $1,0 \text{ g/dm}^3$ ), conclui-se que a amostra final efetivamente analisada corresponde a 1 bilionésimo da área amostrada.

Portanto, os procedimentos da amostragem devem ser rigorosos, pois as análises laboratoriais não corrigem falhas cometidas na coleta de campo (IAPAR, 1996). Diante do exposto, a amostragem é a fase mais crítica do programa de recomendações de adubação e calagem com base na análise do solo, devendo-se observar os seguintes pontos:

## 2.1 FREQUÊNCIA E ÉPOCA DE AMOSTRAGEM

A análise de solo deve ser repetida em intervalos que podem variar de um a quatro anos, dependendo da intensidade de adubação e do número de culturas anuais consecutivas, amostrando-se com maior frequência as glebas intensamente exploradas.

As amostras devem ser retiradas 3 a 8 meses antes do plantio, já que diversas providências (como a calagem, por exemplo) dependem do resultado da análise do solo. Deve-se evitar amostragens logo após adubações, com um intervalo mínimo de 8 semanas quando a gleba tiver recebido adubação orgânica e de 4 a 6 semanas no caso de adubação mineral. Evitar coletas com intervalo inferior a 8 semanas no caso de áreas que tenham recebido calagem.

Em pastagens já estabelecidas, proceder a amostragem 2 a 3 meses antes do máximo crescimento vegetativo. A amostragem deve ser anual em áreas cultivadas com espécies exigentes (capim colômbio, napier, alfafa). Para pastagens pouco exigentes (braquiária) a coleta poderá ser feita com intervalos de 2 a 3 anos. Em áreas irrigadas

recomenda-se amostrar o solo anualmente. Em culturas perenes amostrar após a colheita (ou extração da madeira).

## 2.2 SEPARAÇÃO DAS GLEBAS A SEREM AMOSTRADAS

É importante fazer um croqui ou mapa da propriedade, indicando a posição das glebas que serão amostradas e identificando-as. Esse croqui deve ser guardado, juntamente com os resultados da análise, para acompanhamento da evolução da fertilidade do solo com o passar dos anos.

Para proceder-se à amostragem é necessário subdividir a área em unidades de solos homogêneos. Nesta subdivisão considerar:

- tipo de solo (profundidade do horizonte A, drenagem do solo, etc.)
- topografia (declividade, sentido do escoamento, regiões de acúmulo de água ou de sedimentos);
- vegetação (coberturas florestais nativas ou cultivadas, culturas anuais com características diferenciadas, culturas perenes com idades diferenciadas) e
- histórico de utilização da área (diferenças na adubação e/ou na calagem, locais de aplicação de fosfatos naturais ou de resíduos urbanos, agrícolas ou industriais).

## 2.3 LOCAIS DE AMOSTRAGEM

Considerando o tipo de solo numa área de lavoura e ou de cobertura florestal, poderá existir, mesmo dentro de uma gleba homogênea, uma parte com fertilização diferenciada, devendo então ser amostrada em separado se a sua dimensão for significativa.

No caso de pequenas áreas inclusas, deve-se evitar a coleta de amostras em locais erodidos; modificados por formigas ou cupins; utilizados como depósito de corretivos, adubos, esterco e materiais

orgânicos em decomposição; compactados pela passagem de máquinas e animais; mal drenados; de extremidades de curvas de nível; etc.

Para áreas com problemas de desenvolvimento de plantas, coletar separadamente amostras compostas de solo e/ou tecido vegetal dentro e fora dessa área, para facilitar a identificação do problema.

Para um levantamento detalhado da área de produção, o ideal seria coletar uma amostra de solo composta a cada hectare, o que nem sempre é possível. Se a propriedade for muito grande e não for possível amostrá-la completamente, é preferível amostrar apenas algumas glebas, não muito extensas, representando situações diferentes. Em geral não é conveniente amostrar áreas muito superiores a dez hectares. Em áreas aparentemente uniformes, deve ser retirada uma amostra composta para cada 2 a 10 hectares.

Os solos são muito heterogêneos e a variabilidade espacial de resultados de análise pode manifestar-se mesmo em pequenas áreas. Segundo RAIJ (1991) a relação entre o número de pontos coletados para formar a amostra composta e o erro diminui rapidamente e estabiliza gradativamente a medida que aumenta o número de amostras simples. Comenta o autor que esse número depende do coeficiente de variação da média e do erro permitido, sempre visando a adequação do teórico ao exeqüível a campo. Simplificações feitas na prática, com a amostragem de poucos pontos, são tecnicamente incorretas. Tais amostras podem distorcer seriamente a situação real da fertilidade da área e levar a recomendações inadequadas.

Para fins práticos, a quantidade de amostras simples (sub-amostras) que deverá formar uma amostra composta é indicada na Tabela 1, conforme sugestão de alguns autores.

Para retirar as amostras simples, deve-se limpar a superfície do local, retirando os restos de plantas, folhas e galhos, mas cuidando para

não remover a camada superficial do solo. Em condições de cobertura florestal verificar o interesse na amostragem dos horizontes orgânicos.

TABELA 1 - QUANTIDADE DE SUB-AMOSTRAS POR GLEBA.

Tamanho da área homogênea	Número de amostras simples para formar uma amostra composta	Bibliografia
Menor ou igual a 3 ha	10 a 15	EMBRAPA (1982)
3 a 5 ha	Aproximadamente 20	
5 a 10 ha	25 a 30	
10m <sup>2</sup> a vários ha	20	COMISSÃO (1994)
Nunca superior a 20 ha	20	IAC (1997)
Menor ou igual a 10 ha	10 a 20	IAPAR (1996)
Menor ou igual a 4 ha (uniformes)	15	EMBRAPA (1999)

As sub-amostras, ou seja, as amostras simples (Figura 1), são colocadas em balde (Figura 2) (de preferência de plástico, pois os de ferro podem contaminar a amostra com ferrugem) ou caixote bem limpo, e devem ser bem misturadas. Para o caso da Figura 3, haveria uma amostra composta para a gleba **1** e outra para a gleba **2**.

De cada amostra composta (Figura 4), separar uma quantidade de 300 a 500 g de terra, secá-la ao ar em local sombreado. Acondicioná-la em saco plástico, sem uso, identificando o número da gleba e demais informações complementares (Figura 5 e 6) e, em seguida, enviá-la ao laboratório.

Deve ficar claro que as informações complementares deverão fazer parte dos esclarecimento ao profissional para o embasamento de uma futura recomendação.

Caso o solo apresente grande quantidade de pedras ou cascalhos há a necessidade de 1 a 2 kg de material.

FIGURA 1 - RETIRADA DE AMOSTRA SIMPLES (FOTO: ARQUIVO DO PROJETO SOLO PLANTA)



FIGURA 2 - FORMAÇÃO DA AMOSTRA COMPOSTA (FOTO: ARQUIVO DO PROJETO SOLO PLANTA)

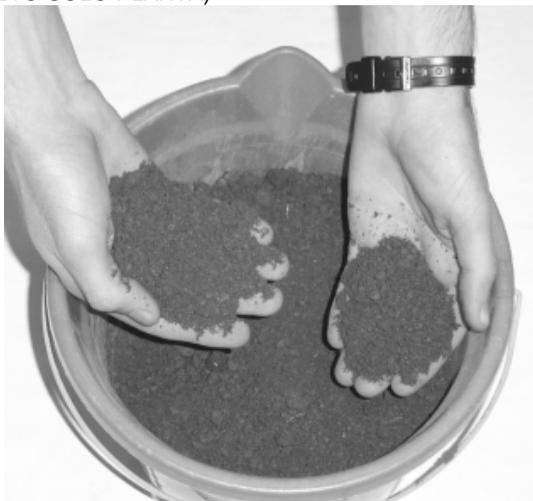


FIGURA 3 - ESQUEMA SIMPLIFICADO DE SEPARAÇÃO EM GLEBAS E COLETA DAS SUB-AMOSTRAS.

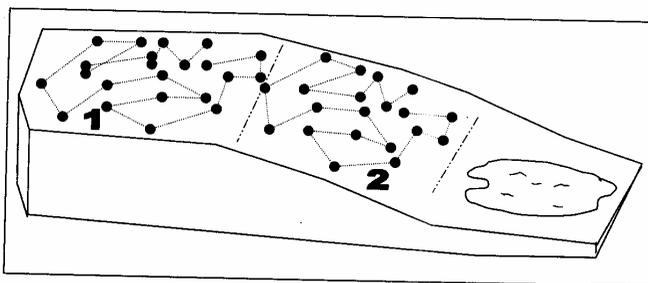


FIGURA 4 – HOMOGENEIZAÇÃO DA AMOSTRA COMPOSTA (FOTO: ARQUIVO DO PROJETO SOLO PLANTA)



Para solos de várzea, principalmente no Organossolo e Gleissolo Melânico, devido às variações existentes entre os pesos específicos (densidade), é importante garantir o envio de amostra de 500 g de solo, mesmo que os volumes encaminhados para a análise sejam diferentes (EMBRAPA, 1999). É importante que o material orgânico não decomposto, que faça parte da matriz do solo, não seja descartado.

FIGURA 5 - INFORMAÇÕES MÍNIMAS PARA IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS.

AO DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA SCA/UFPR – ANÁLISE DE SOLOS	
Nome do solicitante: _____ _____	Data: ___/___/___
Município: _____	Estado: _____
Nome da propriedade: _____	
Tamanho da gleba amostrada: _____ n.º da gleba: _____	
Profundidade de coleta: _____ cm    n.º de amostras simples: _____	
Observações.: _____ _____	

FIGURA 6 - AMOSTRA ETIQUETADA PARA ENVIO AO LABORATÓRIO (APROXIMADAMENTE 500g). (FOTO: ARQUIVO DO PROJETO SOLO PLANTA)



Uma adequada interpretação da análise de solo está intimamente relacionada com as informações complementares que essencialmente serão expostas pelo produtor no ato de uma entrevista. As Figuras 7 e 8 apresentam um modelo de formulário completo a ser utilizado pelo técnico, engenheiro agrônomo, engenheiro florestal, ou zootecnista, para o diagnóstico da fertilidade e manejo de solos de propriedades rurais sob a sua responsabilidade.

**FIGURA 7 - FORMULÁRIO DE COLETA DE INFORMAÇÕES DA PROPRIEDADE RURAL PARA FINS DE AMOSTRAGEM DOS SOLOS AGRÍCOLAS.**

Data \_\_\_\_\_  
 Informações fornecidas por: \_\_\_\_\_  
 Parente ( ) ; Técnico ( ) ; Outra função ( ) \_\_\_\_\_  
 Nome da Propriedade: \_\_\_\_\_  
 Nome do Proprietário: \_\_\_\_\_  
 Localização da propriedade: \_\_\_\_\_  
 CEP: \_\_\_\_\_ Município: \_\_\_\_\_ ESTADO: \_\_\_\_\_  
 Correio eletrônico: \_\_\_\_\_  
 Telefone (\_\_\_\_\_) \_\_\_\_\_  
 nº de glebas amostradas \_\_\_\_\_  
 Data da amostragem \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**INFORMAÇÕES GLEBA Nº \_\_\_\_\_**

Tamanho da gleba amostrada: \_\_\_\_\_  
 Relevo: Plano ( ) ; Suave ondulado ( ) ; Ondulado ( ) ; Montanhoso ( ) ; Escarpado ( ) .  
 Declividade \_\_\_\_\_% Risco de inundação \_\_\_\_\_  
 Erosão: não aparente( ) ; Laminar ( ) ; Sulcos ( ) ; Voçorocas( ) .  
 Drenagem: Rápida( ) ; Moderada( ) ; Lenta ( ) .  
 Pedregosidade: Ligeira( ) ; Moderada( ) ; Pedregosa( )  
 Rochosidade: Ligeira( ) ; Moderada( ) ; Rochosa ( )

**INFORMAÇÕES DA AMOSTRA:**

Identificação da amostra a campo: \_\_\_\_\_  
 Número de laboratório: \_\_\_\_\_  
 Nº de pontos amostrados na gleba (nº de sub-amostras): \_\_\_\_\_  
 Profundidades de coleta: \_\_\_\_\_ cm  
 Situação: Topo ( ) ; Várzea ou baixada ( ) ; 1/3 superior da encosta ( ) ; 1/3 médio da encosta ( ) ; 1/3 inferior da encosta ( ) ; plano ( ) ;  
 Outra situação: \_\_\_\_\_  
 Secagem das amostras: sim( ) não( )  
 Secagem: Ao sol ( ) ; À sombra ( ) . Tempo: \_\_\_\_\_  
 Ferramentas de amostragem: trado holandês( ) ; trado de rosca ( ) ; trado de tubo( ) ; pá reta( ) ; enxadão( ) ; outros: \_\_\_\_\_

FIGURA 8 - ROTEIRO PARA CONDUÇÃO DA ENTREVISTA COM O PRODUTOR RURAL, VISANDO A COMPLEMENTAÇÃO DE DADOS PARA O DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DA PROPRIÉDADE RURAL E PARA AS RECOMENDAÇÕES DE MANEJO DOS SOLOS.

**Questões sobre os interesses e os problemas:**

1. Motivo de se fazer da análise dos solos?
2. Quais problemas existentes nas áreas e possíveis causas (diferenciar por gleba)?
  - 2.1. Quais as soluções encontradas e seus resultados?

**Questões gerais sobre o manejo do solo (baseado nas áreas amostradas)**

1. O Sr. já fez análise do solo? Quando? Como foram os resultados? O que foi feito depois dos resultados?
2. As áreas são utilizadas para o quê? Motivo da escolha?
3. Destino dos resíduos culturais? O porquê do manejo? Preparo do solo? Equipamentos usados?
4. Como é feita a incorporação de calcário? Distribuição de adubo? (A aplicação acompanha o declive?) Quais máquinas e/ou implementos usado?
6. Uso de adubação verde? Qual e como faz?
7. Uso de terraceamento e/ou curvas de nível?

**Questões sobre a gestão da propriedade / projetos futuros:**

1. Qual(is) atividade(s) o Sr. pretende continuar ou aumentar? Por que?
2. Pretende investir na fertilidade, manejo e conservação do solo? Por que? Como?
3. Outras anotações que julgar importantes:

(Roteiro elaborado pelo Prof. Luciano de Almeida - DERE/UFPR)

## 2.4 FERRAMENTAS DE AMOSTRAGEM

Além dos já citados (balde plástico ou caixote e o saco plástico), os materiais utilizados para a coleta são: trado (holandês, de rosca, de tubo vazado ou calador), ou pá reta ou enxadão (Figura 9). Usando a pá, recomenda-se utilizar a parte central de uma fatia com espessura uniforme variando de 3 a 5 cm, até a profundidade desejada. Não utilizar utensílios de coleta que estejam enferrujados ou contaminados com fertilizantes ou corretivos. Cada ferramenta tem o seu uso mais indicado para condições específicas, quais sejam:

FIGURA 9 - FERRAMENTAS DE AMOSTRAGEM DE SOLO (FOTO: ARQUIVO DO PROJETO SOLO PLANTA)



1- Trado calador; 2- Trado de Rosca; 3 e 4- Trado Holandês;  
5- Cortadeira; 6- Pá Reta; 7- Enxada; 8- Balde.

- a) o **trado holandês** pode ser usado em qualquer tipo de solo;
- b) o **trado de rosca** é recomendado para solos arenosos e úmidos;
- c) o **trado de tubo**, vazado ou calador, é indicado para coleta de solo com umidade próxima à capacidade de campo, quando não houver presença de compactação;
- d) a **pá reta** pode ser utilizada para coleta de solo com umidade próxima à capacidade de campo, quando não houver presença de compactação;
- e) o **enxadão** pode ser utilizado em solo seco e/ou compactado.

## 2.5 PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM.

A importância de se ficar atento para a profundidade de coleta está relacionada à diversidade de cultivos, manejos, tipos de solo, do objetivo da amostragem (determinação da acidez, nutrientes, etc.)

A profundidade de amostragem é discutida por vários pesquisadores e instituições de pesquisa, sendo apresentado um resumo das recomendações na Tabela 2.

## 2.6 OBSERVAÇÕES GERAIS PARA COLETA DE AMOSTRAS DE SOLOS

- a) **Importante:** Identifique bem a amostra.
- b) **Importante:** Usar ferramentas limpas e não usar embalagens contaminadas (nem sacos de adubo, nem de agrotóxico).
- c) **Importante:** Nunca reutilizar sacos de adubos ou outras embalagens já usadas.
- d) Não enviar para análise terra molhada acondicionada em sacos plásticos;
- e) Evitar ferramentas muito pesadas;

TABELA 2 – PROFUNDIDADES DE AMOSTRAGEM RECOMENDADAS

CULTURA / MANEJO	PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM (cm)	OBSERVAÇÕES
Culturas anuais (milho, soja) <sup>(1)</sup>	0-20	Coletar o solo em todo terreno da camada arável
	20 – 40	Primeira vez, para caracterização da área
Anuais a instalar <sup>(5)</sup>	0-20	Em todo o terreno. As já instaladas, Coletar na linha de adubação
Culturas estabelecidas <sup>(1)</sup>	0-10	Adubação superficial
Plantas perenes <sup>(2)</sup>	0-10, 10-20, 20-40, e 40-60	2 locais – periferia da projeção da copa; e entre as linhas de plantio
Espécies perenes (florestais e frutíferas) <sup>(1)</sup>	0-20, 20-40	Antes da implantação da cultura Após o plantio coletar de 0-20
Cana-de-açúcar <sup>(3)</sup>	0-25, 25-50	Com aplicação de vinhaça coletar na profundidade de 0-10 cm
Perenes a instalar <sup>(5)</sup>	0-20	Em todo o terreno. As já instaladas, Coletar na linha de adubação
Reflorestamento <sup>(3)</sup>	0-20, 20-40	Geral
Florestamentos homogêneos com Eucalyptus e Pinus <sup>(5)</sup>	0-20	Opcionalmente, retirar, também, amostras nas profundidades de 20-40 ou 40-60
Plantio convencional (1 aração e 2 gradagens) <sup>(2)</sup>	0 – 20	Em situações normais (Sem toxidez de Al)
Plantio direto <sup>(5)</sup>	0-20	Até melhor indicação da pesquisa
Plantio direto <sup>(2)</sup>	0-5, 5-20	Condições do Paraná Para culturas já implantadas
Plantio direto <sup>(4)</sup>	Até 40 ou 60	Início do sistema de plantio direto Sempre em camadas de 20 cm
Cultivo em estufas <sup>(1)</sup>	0-20, 20-40, 40-60 cm	Para implantação da estufa
Pastagens e capineiras <sup>(2)</sup>	0-10	Estabelecidas e sem invasoras As degradadas coletar de 0-20
Pastagem <sup>(1)</sup>	0-20	Coletar o solo da camada arável
Várzea (Gleissolo Háptico) <sup>(2)</sup>	0-20, 20-40	Em Organossolo profundo amostrar também o substrato mineral
Avaliação da acidez do subsolo <sup>(5)</sup>	20-40	Após a coleta de 0-20

FORNTE: <sup>(1)</sup>COMISSÃO, 1994; <sup>(2)</sup>IAPAR, 1996; <sup>(3)</sup>EMBRAPA 1999;

<sup>(4)</sup>TOMÉ JÚNIOR, 1997; <sup>(5)</sup>IAC, 1997.

- f) Não esquecer de coletar informações detalhadas do histórico da área, visando à correta interpretação dos resultados das análises de solo, incluir nas anotações: a profundidade de incorporação do calcário; a época da adubação anterior; se houve aplicação de fosfato natural ou de outros resíduos; e se ocorreram chuvas intensas nos 4 dias que antecederam à coleta.

## 2.7 DETALHAMENTO ESPECÍFICO DE AMOSTRAGEM

A seguir é mostrado um maior detalhamento, alguns cuidados, complementos e esclarecimentos a serem observados na hora da amostragem, exemplificados na Tabela 2 deste capítulo.

### 2.7.1 Pastagem

Para se conhecer antecipadamente as necessidades de corretivos e fertilizantes, a época de amostragem deverá ser entre março e maio, no caso de forrageiras de verão, e entre outubro e dezembro, para pastagem de inverno. É preciso verificar a homogeneidade da área ao se considerar um determinado piquete como uma delimitação de terreno para amostragem. Amostrar em pelo menos 10 a 15 pontos, evitando locais próximos a cercas (por ser comum trilho do gado), reunião de animais (cochos de sal, bebedouros, pontos que contenham fezes), árvores (IAPAR, 1996).

### 2.7.2 Culturas perenes

Para frutíferas, como regra geral, a amostragem deve ser feita cerca de três meses antes do pleno florescimento. Em áreas cultivadas com cafeeiros, a amostragem será efetuada após a colheita e/ou esparramação. Para amoreira, a amostragem do solo deve ser feita cerca de 30 dias antes do último corte de outono/inverno (IAPAR, 1996).

### 2.7.3 Solos de várzea

De acordo com IAPAR (1996) os locais para amostragem são aleatórios, podendo adotar-se o critério indicado na Figura 3, de modo que o número de amostras simples para formar uma composta nunca deve ser inferior a 20 pontos. O substrato mineral dos solos orgânicos poderá ser encontrado a partir dos 80 cm de profundidade, onde a amostragem limite deve ser de 80-100 cm, principalmente no início de exploração da várzea. a variação da frequência de amostragem poderá ser de 3-5 anos. Os prazos menores deverão ser adotados para os sistemas mais intensivos de cultivo e prazos mais longos para sistemas menos intensivos.

### 2.7.4 Cana de açúcar

Na renovação de canaviais, as amostra deverão ser retiradas preferencialmente após o preparo do solo, quando este estará homogeneizado e haverá pouca influência dos fertilizantes aplicados anteriormente. Se isso não for possível retirar amostras somente no espaço entre as linhas de plantio da cana (TOMÉ JÚNIOR, 1997).

### 2.7.5 Reflorestamento

A camada de solo que tem mostrado teores de nutrientes mais relacionados com o crescimento das árvores é a de 0-20 cm de profundidade. Todavia, a amostragem das camadas de 20-40 ou 40-60 cm de profundidade fornece informação sobre restrições químicas à atividade radicular (IAC, 1997).

### 2.7.6 Cultivo em estufas

Depois que a estufa está instalada e sendo cultivada, a análise de solo de rotina tem pouca importância. Sendo assim, devido à dosagens elevadas de fertilizantes e à fertirrigação, a principal preocupação com a

estufa em produção é o monitoramento da salinização do solo (TOMÉ JÚNIOR,1997).

#### 2.7.7 Sistema de plantio direto (SPD)

Em muitos aspectos, a amostragem do solo em áreas cultivadas em plantio direto é semelhante a de áreas cultivadas em sistemas de preparo onde o solo é revolvido. No entanto, devido ao não revolvimento do solo, existem algumas diferenças importantes, as quais serão aqui discutidas.

A) Local e época de amostragem: Para se escolher o ponto de amostragem em áreas de plantio direto, é necessário se tomar alguns cuidados, pois os fertilizantes concentram-se na zona dos sulcos de semeadura. A amostragem no sulco recentemente fertilizado pode induzir erros de interpretação e, conseqüentemente, de recomendação. Para não se correr esse risco, em áreas com concentrações de adubos na zona dos sulcos, a melhor época para fazer a amostragem é no final do ciclo ou após a colheita da cultura de verão, quando ainda se pode distinguir claramente as linhas da cultura presente ou antecessora. Este aspecto é particularmente importante em áreas de baixa ou média fertilidade, onde a zona dos sulcos pode ser muito mais fértil que nas zonas entre os sulcos (IAPAR, 1996).

B) Profundidade de amostragem: WIETHÖLTER (2000), em sua revisão, afirma que para lavouras já implantadas e sendo a adubação feita em linha, a amostra pode ser coletada na camada de 0 a 10 cm de profundidade, particularmente em lavouras com teores de P e de K no solo abaixo do nível de suficiência. Para solos acima desse nível, a amostragem até 20 cm pode ser usada, sem interferência na recomendação de adubação. Em qualquer circunstância, a interpretação dos resultados analíticos também pode ser realizada ponderando os teores das diversas camadas com a freqüência de raízes nessas camadas. No

caso do milho, 65% das raízes se concentram nos primeiros 10 cm de solo.

C) Calagem: Alguns resultados têm mostrado que a aplicação de calcário na superfície altera o pH, em geral, apenas dos primeiros 5 a 10 cm em três anos. Porém, pode-se inferir que, com o passar do tempo, reduza os efeitos negativos do Al e da acidez nas camadas de 15 a 20 cm. CAIRES et al. (1998); CAIRES et al. (1999) afirmam que valores de pH em torno de 5,0 na camada de 0 a 10 cm podem ser adequados para obtenção de rendimentos satisfatórios de milho e de soja, mas isso depende muito do teor de P e de outros nutrientes no solo. Segundo WIETHÖLTER (2000), tem sido verificado que o efeito prejudicial do Al é menor sob sistema plantio direto consolidado do que no sistema convencional de preparo, devido à formação de complexos orgânicos com o Al. Dessa forma, a tendência é usar menores quantidades de calcário por área e em intervalos maiores do que aqueles adotados no sistema convencional de preparo de solo.

### **AGRADECIMENTO**

Os autores agradecem aos acadêmicos de Agronomia Lineu Erlei D'Agostin, Ana Lúcia Alves de Assis, e Humberto Bicca Neto, pela colaboração na obtenção das fotos utilizadas neste capítulo.

## REFERÊNCIAS

- CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicado na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 27-34, 1998.
- CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 315-327, 1999.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendação de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul, 1994.
- EMBRAPA. **Coleta de amostras de solos para análise** (visando recomendação de adubos e corretivos). Autor: MACHADO, P.L.O.A. 1999. Disponível em <http://www.cnps.embrapa.br>.
- EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado. **Amostragem de solo para análise química**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1982. (Circular Técnica, 11)
- IAC – INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, por B. van Raij, H. Cantarella, J.A. Quaggio, A. M. C. Furlani. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, Fundação IAC, 1997.
- IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Amostragem de solo para análise química**: plantio direto e convencional, culturas perenes, várzeas, pastagens e capineiras. Londrina, 1996. (IAPAR. Circular, 90)
- PREVEDELLO, B.M.S.; LIMA, M.R.; OLIVEIRA, A.C.; TONUS, F. A.; COSTA, M.A.D. **Amostragem de Solo**: perguntas e respostas. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Projeto de Extensão Solo Planta, 2002.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, POTAFOS, 1991.
- SQUIBA, L.M., PREVEDELLO, B.M.S., LIMA, M.R. **Como coletar amostras de solo para análise química e física (culturas temporárias)**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Projeto Solo Planta, 2002. (Folder).
- TOMÉ JÚNIOR, J.B. **Manual de interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997.
- WATANABE, A.M., BESSA, L.P.D., MARTINS, T.G.M., et al. **Por que fazer análise de solo?** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Projeto Solo Planta, 2002. (Folder).
- WIETHÖLTER, S. **Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto**: experiência nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. (CD-Rom).



## CAPÍTULO V

### AMOSTRAGEM PARA ANÁLISE DE PLANTAS DE IMPORTÂNCIA AGRÍCOLA E FLORESTAL

Carlos Bruno Reissmann<sup>1</sup>, Lausanne S. de Almeida<sup>2</sup>, Beatriz Monte Serrat<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Eng. Florestal, Dr, Prof. DSEA/UFPR. Rua dos Funcionários, 1540. CEP 80035-050, Curitiba (PR). E-mail: reissman@ufpr.br; <sup>2</sup>Eng. Florestal, Mestre; <sup>3</sup>Eng. Agr., Dra., Profa Sênior DSEA/UFPR. Rua dos Funcionários, 1540. CEP 80035-050. E-mail: bmserrat@ufpr.br

1 A ANÁLISE FOLIAR E SUA IMPORTÂNCIA .....	88
2 COMO PROCEDER A COLETA DA AMOSTRA.....	88
2.1 CUIDADOS ESPECIAIS NA COLETA DE FOLHAS .....	89
3 COMO ENCAMINHAR A AMOSTRA PARA O LABORATÓRIO .....	90
4 A IMPORTÂNCIA DE COLETAR AS AMOSTRAS CORRETAMENTE..	90
5 CUSTOS E LOCAIS PARA ANÁLISE DE PLANTAS .....	91
6 RECOMENDAÇÃO PARA COLETA DE AMOSTRAS FOLIARES DE DIFERENTES CULTURAS .....	92
6.1 FLORESTAIS.....	94
REFERÊNCIAS .....	97

## **1 A ANÁLISE FOLIAR E SUA IMPORTÂNCIA**

A diagnose foliar é um método de avaliação do estado nutricional das plantas, através da análise de suas folhas. As folhas são os órgãos das plantas que melhor refletem o estado nutricional, isto é, respondem mais às variações no suprimento dos nutrientes, seja pelo solo, seja pelo adubo (MALAVOLTA et al., 1997). Contudo, a análise pode ser feita de qualquer tecido da planta, como frutos, hastes, e em alguns casos apenas o pecíolo ou até mesmo a seiva. Os principais objetivos da análise de plantas são (MALAVOLTA et al., 1997; MIYAZAWA et al., 1992; FONTES, 2000):

- g) Diagnosticar um problema nutricional não identificado visualmente;
- h) Identificar sintomas visuais observados no campo;
- i) Localizar áreas que apresentam suprimento marginal de nutrientes;
- j) Identificar se um determinado nutriente aplicado foi absorvido pela planta;
- k) Complementar a análise de solo na orientação ao produtor e na recomendação de fertilizantes e corretivos.

Assim, a análise foliar deve ser realizada em conjunto com a análise de solo para permitir um diagnóstico seguro. Caso as culturas que já possuam valores de concentração foliar de nutrientes calibrados, os resultados da análise foliar poderão ser adequadamente utilizados pelo técnico responsável para a identificação de distúrbios nutricionais e, em alguns casos, para a orientação no uso de fertilizantes.

## **2 COMO PROCEDER A COLETA DA AMOSTRA**

Em geral, as folhas recém maduras são as mais adequadas para a análise foliar (TRANI et al., 1983; MALAVOLTA et al., 1997), assim como

aquelas que pertençam a ramos que se encontram em exposição Norte (folhas que recebem luz constante). Além disso, vários fatores devem ser levados em consideração, pois o teor de nutrientes nos tecidos das plantas varia em função do solo, clima, fatores genéticos da própria planta, práticas culturais, doenças, posição de coleta e idade (MALAVOLTA et al., 1989; BATAGLIA e SANTOS, 2001). Assim, para caracterizar o seu estado nutricional, pode-se tomar as amostras de árvores agrupadas de acordo com a idade, tipo de solo e manejo. A posição da folha na árvore e no ramo, o número de folhas por planta e por m<sup>2</sup> também variam conforme a espécie e serão melhor detalhados no item 6 deste capítulo.

## 2.1 CUIDADOS ESPECIAIS NA COLETA DE FOLHAS

O número de plantas e material foliar a ser coletado depende da espécie. Há aspectos bastante contrastantes, como por exemplo, a planta de café de um lado (3º par de folhas a partir do ápice dos ramos), e o brócolis (folha recém desenvolvida na formação da cabeça) de outro. No caso do brócolis, há inclusive, indicações na literatura que recomendam apenas o uso da nervura principal (MALAVOLTA et al., 1997). São situações muito distintas, mas o destino final é o mesmo. No caso de árvores, quanto mais ramos forem coletados por gleba/sítio homogêneo, melhor. No entanto, a limitação do número é imposta em função da variabilidade e tempo gasto na coleta. Como no período do inverno a atividade fisiológica decai sensivelmente, recomenda-se que a coleta seja efetuada de julho a agosto, antes do início da brotação da primavera. Há também casos em que a coleta é justificada no verão, como por exemplo, eucalipto, pópulus e erva-mate.

Não se devem coletar amostras foliares de plantas (FONTES, 2000; BATAGLIA e SANTOS, 2001), nas seguintes situações: após chuva intensa; após adubação foliar; com danos mecânicos; com danos por

insetos; com infecção de doenças; com tecidos mortos; contaminadas com agrotóxicos.

### **3 COMO ENCAMINHAR A AMOSTRA PARA O LABORATÓRIO**

Após a coleta das folhas, estas devem estar sem excesso de umidade para serem acondicionadas em sacos de papel ou de plástico. Preferencialmente em sacos de papel, que são porosos, pois sacos plásticos favorecem a deterioração rápida das folhas e devem ser evitados (BATAGLIA e SANTOS, 2001). Caso seja utilizada embalagem plástica, esta deve ser provida de orifícios para ventilação.

As embalagens devem estar devidamente identificadas com o número da amostra, nome da espécie, localidade e data da coleta do material, para serem enviadas ao laboratório.

O material coletado deve ser lavado somente no laboratório onde será feita a análise. Quando o material vegetal for coletado em condições de elevada umidade do ar, deve ser removido o excesso de água antes de ser feito o empacotamento.

Enviar o material o mais rápido possível para o laboratório. Preferencialmente, o material não deve ficar exposto por mais de 48 horas (TRANI, et al., 1983; BATAGLIA e SANTOS, 2001). No laboratório o mesmo será higienizado, seco, moído e armazenado apropriadamente.

### **4 A IMPORTÂNCIA DE COLETAR AS AMOSTRAS CORRETAMENTE**

Para que o resultado emitido pelo laboratório represente todas as plantas da área, a amostragem deverá ser cuidadosa e correta. Portanto, coletadas de plantas homogêneas, isto é, em mesmas condições de clima, tratamento, solo e de mesmas idades. As amostras simples deverão ser bem misturadas para a obtenção das amostras compostas.

Observe os exemplos: para erva-mate recomenda-se a coleta das

folhas de 10 árvores, a amostra de cada árvore é uma amostra simples. Então, a mistura de todas as amostras das 10 árvores forma a amostra composta, a qual será enviada ao laboratório. O mesmo procedimento será feito com as folhas coletadas das plantas de brócolis. A folha de cada planta é uma amostra simples. O conjunto recomendado de 15 plantas por gleba homogênea representa uma amostra composta, a qual será analisada como o todo, e será a base para o diagnóstico nutricional e para a recomendação de adubação.

## **5 CUSTOS E LOCAIS PARA ANÁLISE DE PLANTAS**

Esta é uma análise relativamente mais cara que a análise do solo, dependendo também do laboratório e do número de elementos a serem analisados. No entanto, o valor do aumento da informação compensa o aumento do custo tendo em vista que facilita o diagnóstico e dá muito mais segurança na recomendação do manejo. Os laboratórios aptos a realizar as análises estão geralmente ligados às instituições federais e estaduais de ensino, pesquisa e extensão, como as universidades do Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, bem como, os institutos federais e estaduais de pesquisa, nos seus respectivos centros de atuação. Há também os laboratórios particulares, credenciados para tal fim.

Qualquer que seja a cultura a ser submetida à análise foliar, sempre é recomendável recorrer ao técnico responsável regionalmente pela natureza da exploração. Ele poderá, após contato prévio com o laboratório, efetuar o encaminhamento junto aos órgãos de pesquisa e extensão. O contato prévio pode ser extremamente útil para o perfeito encaminhamento da amostra e sua manipulação segura. Estes procedimentos são recomendados tendo em vista as diferenças impostas pelo processo da análise de plantas de cada laboratório.

## 6 RECOMENDAÇÃO PARA COLETA DE AMOSTRAS FOLIARES DE DIFERENTES CULTURAS

Para cada cultura há uma recomendação geral de coleta de amostra de folhas para análise da sua composição química. Nas Tabelas 01 a 04 serão abordadas diferentes culturas agrícolas de maior importância no Estado do Paraná, com base nas pesquisas realizadas na área.

TABELA 01 – DESCRIÇÃO DE AMOSTRAGEM DE TUBÉRCULOS, LEGUMINOSAS E GRÃOS. FONTE: RAIJ et al. (1997)

Cultura	Descrição da amostragem
Arroz	Folha bandeira, coletada no início do florescimento (50% das flores visíveis). Mínimo 50 folhas.
Batata	Retirar a 3º folha a partir do tufo apical, aos 30 dias e de 30 plantas.
Feijão	Todas as folhas de 10 plantas durante o florescimento.
Milho	Terço central da folha da base da espiga, na fase de pendocamento (50% das plantas pendocadas).
Soja	Retirar a 3ª folha com pecíolo, de 30 plantas, durante o florescimento.
Trigo	Folha bandeira, coletada no início do florescimento. Mínimo de 50 folhas.

TABELA 02 – DESCRIÇÃO DE AMOSTRAGEM DE ESTIMULANTES

Cultura	Descrição da amostragem
Café <sup>(1)</sup>	O 3º par de folhas a partir do ápice dos ramos, da altura média da planta, entre dezembro e janeiro (ramos frutíferos).
Chá <sup>(1)</sup>	As 2ªs folhas, a partir dos ramos não lignificados, de 25 plantas, no período de maio a junho.
Erva-mate <sup>(2,3)</sup> (Figura 1)	Folhas do último lançamento, de galhos do terço superior, médio e inferior da copa. Coletar folhas de 10 árvores por gleba homogênea em julho/agosto ou janeiro.
Fumo <sup>(1)</sup>	Folha superior totalmente desenvolvida de 30 plantas, durante o florescimento.

FONTE: <sup>(1)</sup>RAIJ et al.(1997); <sup>(2)</sup>REISSMANN (2003); <sup>(3)</sup>REISSMANN et al. (2004).

TABELA 03 – DESCRIÇÃO DE AMOSTRAGEM DE HORTALIÇAS.  
 FONTE: RAIJ et al. (1997)

<b>Cultura</b>	<b>Descrição da amostragem</b>
Alface	Folhas recém-desenvolvidas de 15 plantas, na metade a 2/3 do ciclo.
Alho	Folha recém-desenvolvida de 15 plantas, da porção não branca, no início da bulbificação.
Brócolis	Folha recém-desenvolvida de 15 plantas, na formação da cabeça.
Cebola	Folha mais jovem de 20 plantas, na metade do ciclo de crescimento.
Chicória	Folha mais velha de 15 plantas, durante a formação da 8ª folha.
Couve	Folha recém-desenvolvida de 15 plantas.
Couve-flor	Folha recém-desenvolvida de 15 plantas, durante a formação da cabeça.
Repolho	Folha envoltória de 15 plantas, entre 2 a 3 meses.
Tomate	Folha com pecíolo, de 25 plantas, por ocasião do 1º fruto maduro.

TABELA 04 – DESCRIÇÃO DE AMOSTRAGEM DE FRUTÍFERAS

<b>Cultura</b>	<b>Descrição da amostragem</b>
Banana	Retirar de 30 plantas os 5-10 cm centrais da 3ª folha a partir da inflorescência, eliminando a nervura central e metades periféricas.
Citrus	Coletar a 3ª folha a partir do fruto, gerada na primavera, com 6 meses de idade, em galhos com frutos de 2 a 4 cm de diâmetro. Amostrar 4 folhas por planta, num total de 25 árvores por talhão.
Maçã	Coletar 4 a 8 folhas recém-maduras e totalmente expandidas. Amostrar 25 plantas por talhão, num total de 100 folhas.
Maracujá	Coletar no outono a 3ª ou 4ª folha, a partir do ápice de ramos não sombreados ou coletar a folha com botão floral na axila, prestes a abrir. Amostrar 20 plantas.
Pêssego	Coletar 26 folhas recém-maduras e totalmente expandidas, da porção mediana dos ramos. Amostrar 25 plantas por talhão, num total de 100 folhas. *Selecionar as folhas do ramo do ano.

FONTE: RAIJ et al., 1997; \* COMISSÃO (1994)

## 6.1 FLORESTAIS

A seguir serão especificadas as recomendações obtidas em pesquisas sobre importantes espécies florestais (Tabela 05): araucária, palmito, eucalipto, pinus e pópulus. Para estas espécies, bem como, para a erva-mate, devido às informações serem mais limitadas, foram incluídas ilustrações (Figuras 01 a 06) para facilidade de entendimento e procedimentos de coleta.

**TABELA 05 – DESCRIÇÃO DE AMOSTRAGEM DE ESPÉCIES FLORESTAIS**

<b>Cultura</b>	<b>Descrição da amostragem</b>
Araucária <sup>(1)</sup> (Figura 2)	3º ou 4º verticilo superior, entre o 1º e 2º terço do galho com folhas verdes. Amostrar de 4 a 15 árvores por gleba, em abril ou maio para macronutrientes e somente em maio para micronutrientes.
Eucalipto <sup>(2)</sup> (Figura 3)	Coletar as folhas 3, 4 e 6 do meio da copa, de 10 a 20 amostras compostas de pelo menos 3 árvores, totalizando 30 a 60 árvores, no verão. Proceder a coleta das árvores com altura dominante, isto é, entre as 100 árvores mais grossas por hectare.
Palmito <sup>(3)</sup> (Figura 4)	1ª palma a partir da flexa, com todos os folíolos abertos, sendo a porção média dos folíolos. Amostrar 5 árvores/600 m <sup>2</sup>
Pinus <sup>(4)</sup> (Figura 5)	Acículas do 1º lançamento do 2º galho no terço superior da copa, de 3 grupos de 4 árvores, totalizando 12 árvores, entre outono e inverno. Proceder a coleta das árvores com altura dominante, isto é, entre as 100 árvores mais grossas por hectare.
Pópulus <sup>(5)</sup> (Figura 6)	Coletar folhas da região mediana de galhos da parte superior da copa, de 10 árvores dominantes (entre as 100 árvores mais grossas por hectare). Proceder a coleta entre 15 de fevereiro e 1º de março.

FONTE: <sup>(1)</sup>REISSMANN et al. (1976); <sup>(2)</sup>BELLOTE e SILVA (2000); <sup>(3)</sup>ROCHA et al. (1987); <sup>(4)</sup>REISSMANN e WISNEWSKI (2000); <sup>(5)</sup>RANGER e BARNEAUD (1986).

FIGURA 01 - ESQUEMA PARA COLETA DE FOLHAS DE ERVA MATE

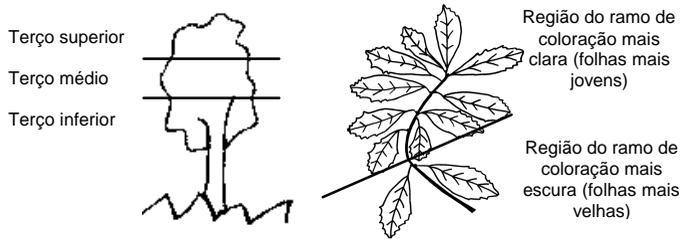


FIGURA 02 - ESQUEMA PARA COLETA DE FOLHAS DE ARAUCÁRIA

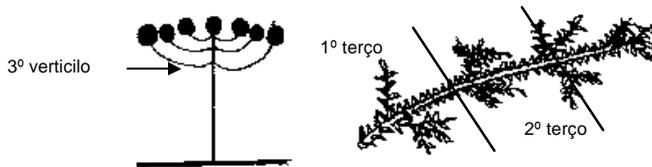
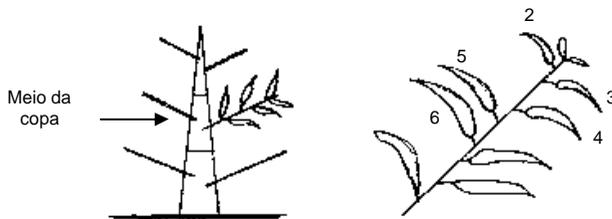


FIGURA 03 - ESQUEMA PARA COLETA DE FOLHAS DE EUCALIPTO



**FONTE:** adaptado de BELLOTE e SILVA (2000)

FIGURA 04 - ESQUEMA PARA COLETA DE FOLHAS DE PALMITO

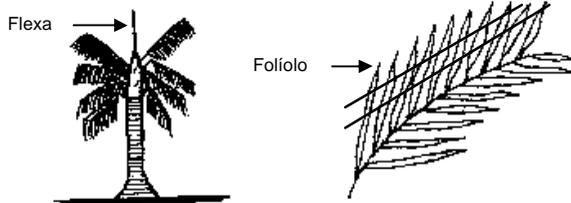


FIGURA 05 - ESQUEMA PARA COLETA DE FOLHAS DE PINUS

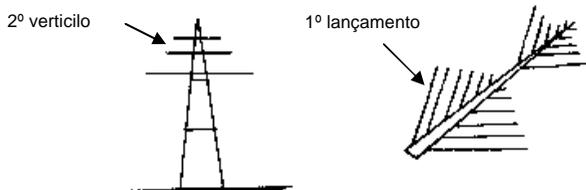
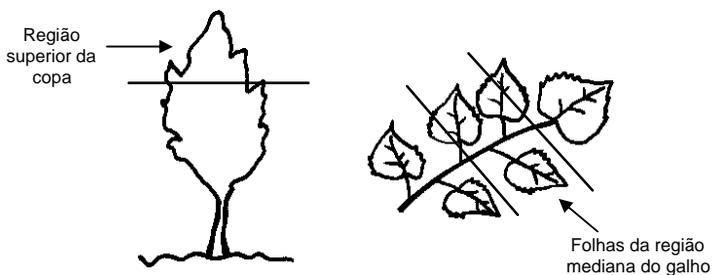


FIGURA 06 - ESQUEMA PARA COLETA DE FOLHAS DE PÓPULUS



## REFERÊNCIAS

- BATAGLIA, O.C.; SANTOS, W.R. Estado nutricional de plantas perenes: avaliação e monitoramento. **Informações agrônomicas**, n. 96, p. 3-8, 2001.
- BELLOTE, J.F.A.; SILVA, H.D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus* spp. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000, p. 105-133.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendação de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBSC - Núcleo Regional Sul, 1994.
- FONTES, P.C.R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: UFV, 2000. 122 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1989. 210 p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para São Paulo** (Boletim 100). Campinas: IAC/FUNDAG, 1997. 285p.
- RANGER, J.; NYS, C.; BARNEAUD, C. Production et exportation d' éléments nutritifs de taillis de peuplier a courte rotation. **Annales de Recherches Sylvicoles**, v. 1, p. 183-225, 1986.
- REISSMANN, C.B.; WISNEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de pinus. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000, p. 135-165.
- REISSMANN, C.B.; HILDEBRAND, E.E.; BLUM, W.E.H.; BURGER, L.M. Metodologia da amostragem das acículas da *Araucaria angustifolia* Bert. O. ktze. **Revista Floresta**, v. 7, n. 1, p. 5-12, 1976.
- REISSMANN, C.B.; DÜNISCH, O.; BOEGER, M.R.T. Beziehungen Zwischen Ernährungsbiologischen (Fe, Mn und Ca) und Strukturellen Merkmalen Ausgewählter Morphotypen der Mate-Pflanze (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: HÜTTEL, R. (Ed.) **Boden, Wald und Wasser**. Aachen: Shaker Verlag. 2003. 249 p.
- REISSMANN, C.B. **Composição química interespecífica da erva-mate em plantios comerciais do Paraná**. Curitiba: CNPq/DSEA/UFPR. Relatório Técnico Final-Fase I. 2004. 68 p.
- ROCHA, H.O.; SANTOS FILHO, A.; REISSMANN, C.B. Sistematização da palma do palmito (*Euterpe edulis* Mart.). In: 1º ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISADORES DE PALMITO. Curitiba, 1987. **Anais**: EMBRAPA, 1987. p. 91-104.
- TRANI, P.E.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C. **Análise foliar**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 18 p.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.M. **Análise química de tecido vegetal**. Londrina: IAPAR, 1992. 17 p. (Circular, 74).



## CAPÍTULO VI

### CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA FERTILIDADE DO SOLO

Renato Marques

Eng. Florestal, Doutor, Professor do DSEA/UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050, Curitiba (PR), e-mail: rmarques@ufpr.br

1 INTRODUÇÃO.....	100
2 ACIDEZ DOS SOLOS.....	101
2.1 DETERMINAÇÃO DA ACIDEZ ATIVA (pH CaCl <sub>2</sub> ).....	104
2.2 DETERMINAÇÃO DA ACIDEZ POTENCIAL (pH SMP).....	104
3 CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS.....	106
3.1 DETERMINAÇÃO DOS CÁTIONS TROCÁVEIS.....	107
4 FÓSFORO E POTÁSSIO “DISPONÍVEIS”.....	109
5 MATÉRIA ORGÂNICA E CARBONO.....	113
6 NITROGÊNIO TOTAL, NITRATO E AMÔNIO.....	115
7 ENXOFRE NO SOLO.....	116
8 DETERMINAÇÃO DE MICRONUTRIENTES.....	118
REFERÊNCIAS.....	123

## 1 INTRODUÇÃO

A análise química é um dos métodos existentes para a caracterização da fertilidade dos solos e depende, como já foi enfatizado em outro capítulo deste manual, de uma correta amostragem das áreas agrícolas.

A análise de solos tem basicamente duas funções:

a) Indicar os níveis de nutrientes **e outras propriedades químicas** do solo e, em conseqüência, fornecer dados que permitam o desenvolvimento de um programa de calagem e adubação. Um programa adequado nesse aspecto deve ser estabelecido combinando essa informação com a história da cultura ou do sistema de produção, com a produtividade potencial do solo e com a capacidade de manejo do agricultor.

b) Pode ser usada regularmente para monitorar o sistema de produção e avaliar as mudanças dos nutrientes no solo e, assim, manter o programa geral de fertilidade, passo a passo com outros insumos de produção, para produções altas e sustentáveis, maior potencial de lucro e respeito ao meio ambiente.

O **objetivo principal** da análise de solo é a determinação do grau de suficiência ou deficiência de nutrientes no solo, ou condições adversas (acidez, salinidade) que possam prejudicar as plantas. A dificuldade encontra-se na adoção de método que permita esta determinação de forma precisa e reproduzível. Isto ocorre devido à existência de vários fatores que podem interferir na disponibilidade dos nutrientes no solo. Esta disponibilidade irá depender de interações entre o solo e a planta e irá variar, certamente, sob diferentes condições de solo e em função das diferentes exigências nutricionais por parte das plantas. A solução encontrada para este problema tem sido a seleção de métodos que

apresentem correlação com o desenvolvimento das plantas e/ou com os teores de nutrientes nos tecidos foliares.

No Brasil, várias metodologias são utilizadas para caracterizar os solos para fins de fertilidade. Na região sul, as seguintes têm sido adotadas: a) EMBRAPA (1997), usada mais especificamente para fins de levantamento e classificação de solos; b) RAIJ e QUAGGIO (1983), usada no estado de São Paulo e também por alguns laboratórios do Paraná; c) TEDESCO et al. (1995), usada mais no Rio Grande do Sul e Santa Catarina mas também no Paraná e d) PAVAN et al. (1992), no Estado do Paraná. Os métodos apresentam, entre si, determinações semelhantes e/ou distintas, dependendo do elemento químico que esteja sendo caracterizado. Desta forma, as interpretações devem ser de acordo com a metodologia empregada.

Neste capítulo serão abordadas as diferentes metodologias usadas para caracterizar a fertilidade química dos solos, pois fertilidade pode ser entendida num sentido mais amplo quando são integrados aos parâmetros químicos outros parâmetros físicos, biológicos e ecológicos.

Os diferentes parâmetros químicos são descritos sucintamente assim como suas caracterizações analíticas. São também discutidas as limitações e potencialidades de diferentes métodos analíticos e a interrelação entre eles.

## **2 ACIDEZ DOS SOLOS**

Os solos tropicais são normalmente ácidos, pois foram desenvolvidos sob condições de elevadas precipitações que promoveram a intemperização dos minerais primários e secundários e a remoção de grande parte das bases nos solos.

Os solos têm comportamento semelhante a ácidos fracos, contendo quantidade muito pequena de hidrogênio ionizado na solução do solo, mas

uma grande quantidade de  $H^+$  adsorvido na fase sólida. Assim, quando se adiciona  $OH^-$ , neutralizando o hidrogênio da solução do solo, a fase sólida libera  $H^+$  para manter certo equilíbrio em solução. Isto caracteriza o poder tampão do solo, ou seja, a resistência do mesmo às mudanças de pH.

Os parâmetros que envolvem acidez e alcalinidade são de grande utilidade no estabelecimento das características dos solos, visto que as propriedades físicas, químicas e biológicas estão direta ou indiretamente associadas com acidez ou alcalinidade.

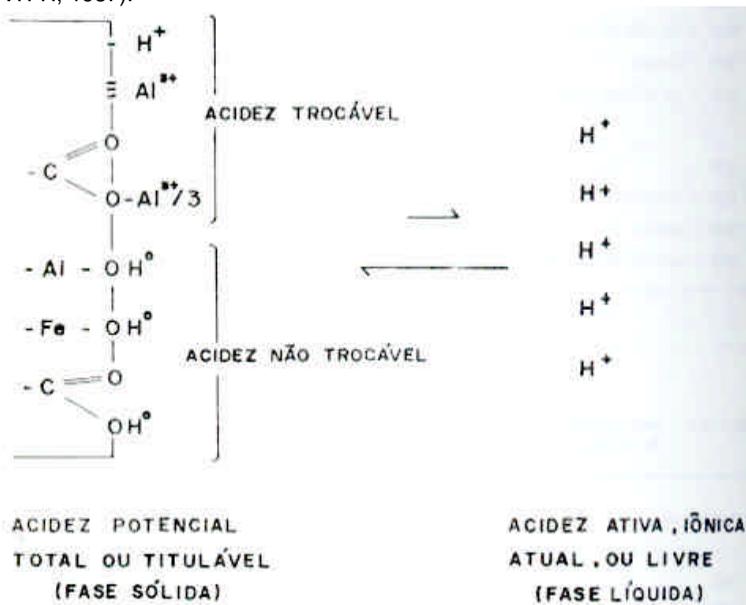
Explorando dois casos extremos: a) solo com pH maior que 8 geralmente têm problemas com salinidade, dispersão do solo, deficiência de Fe e outros; b) no extremo oposto, valores de pH abaixo de 3 podem indicar a presença de solo tiomórfico recém drenado, onde poucas plantas podem sobreviver. Solos sob florestas, no entanto, apresentam naturalmente valores de pH bem baixos, em torno de 3,5 a 4,0. Problemas associados com alcalinidade e pH extremamente baixo estão restritos a uma pequena área do território brasileiro: às regiões semi-áridas e pequenas manchas de solo do litoral, respectivamente. Contudo, o mais importante em regiões tropicais são problemas relativos à acidez do solo representada por valores abaixo da faixa de pH entre 5,0 e 6,5, a qual é requerida para a maioria das culturas melhoradas. Assim, necessitamos medir a acidez do solo e o poder tampão do mesmo, com a finalidade de fazer as correções necessárias.

A acidez dos solos pode ser dividida em acidez ativa (representada pelos íons de  $H^+$  dissociados na fase líquida do solo e em equilíbrio com a fase sólida. Como a concentração de protons dissociados é muito baixa ela tem sido representada pelo potencial hidrogeniônico (pH), que pode ser medido em água (pH  $H_2O$ ) ou em soluções salinas (pH  $CaCl_2$  e pH  $KCl$ ). Outra parte da acidez do solo, denominada acidez potencial é

representada pelos hidrogênios covalente (acidez não trocável) e eletrovalente e pelo alumínio trocável (expressa como  $\text{cmol}_c$  de  $\text{H}^0 + \text{Al}^{3+}/\text{dm}^3$  solo). Parte do hidrogênio e do alumínio estão ligados por forças eletrostáticas e podem ser deslocados por outros cátions, recebendo a denominação de acidez trocável. Como a quantidade de alumínio é muito superior à de hidrogênio, os valores são geralmente expressos em  $\text{cmol}_c$  de  $\text{Al}^{3+}/\text{dm}^3$  solo (VITTI, 1987).

Na Figura 1 pode ser observada a representação esquemática dos diversos componentes da acidez dos solos.

FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS COMPONENTES DA ACIDEZ DOS SOLOS (CONFORME KINJO, 1983, CITADO POR VITTI, 1987).



## 2.1 DETERMINAÇÃO DA ACIDEZ ATIVA (pH $\text{CaCl}_2$ )

O pH em solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol/L (1:2,5) foi introduzido por SCHOFIELD e TAYLOR (1955) e por ser determinado em solução salina apresenta valores menores do que o pH em água.

Em estudo feito em solos do estado de São Paulo, esta diferença foi da ordem de 0,6 unidades (QUAGGIO, 1983). Este estudo mostrou também que existe estreita correlação entre estas duas medidas de pH; e que o pH  $\text{CaCl}_2$  correlaciona-se mais estreitamente com a saturação por bases dos solos que o pH  $\text{H}_2\text{O}$ .

Algumas vantagens são enumeradas por PEECH (1965) para a dosagem do pH em cloreto de cálcio:

- a) o pH em  $\text{CaCl}_2$  é pouco afetado pela relação entre solo e solução;
- b) a concentração salina de 0,01 mol/L é suficiente para padronizar as variações de sais entre amostras, evitando-se assim as variações estacionais de pH;
- c) a suspensão de solo em  $\text{CaCl}_2$  é floculada, o que minimiza os erros provenientes do potencial de junção líquida, uma vez que o eletrodo de referência permanece num sobrenadante isento de partículas de solo;
- d) a concentração salina utilizada é semelhante à concentração de sais observada em soluções de solo de boa fertilidade. E o  $\text{Ca}^{2+}$  é normalmente o íon mais abundante em solos. Por essas razões, o pH em  $\text{CaCl}_2$  representa a atividade do íon  $\text{H}^+$ , mais próxima daquela que existe no ambiente radicular das plantas.

Outra vantagem: precisão e estabilidade do aparelho de leitura.

## 2.2 DETERMINAÇÃO DA ACIDEZ POTENCIAL (pH SMP)

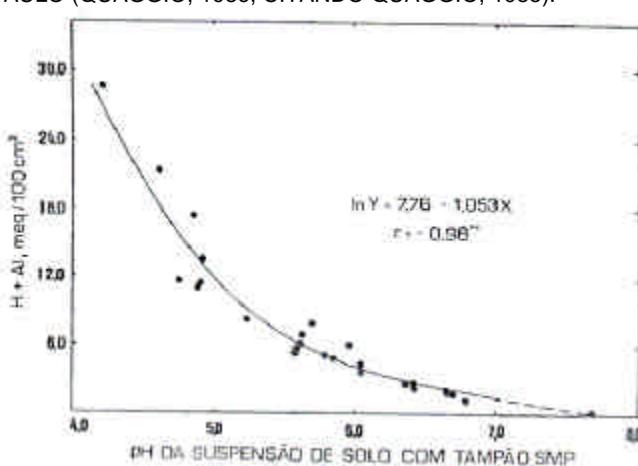
Conforme descrito anteriormente, o valor de  $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ , também chamado de acidez potencial é constituído de duas partes distintas da acidez dos solos: acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) e acidez não trocável ( $\text{H}^+$ ). O

método de referência para extração da acidez potencial dos solos é o da solução de acetato de cálcio 1N a pH 7,0. Este método apresenta contudo alguns problemas relacionados com a qualidade dos reagentes, com o ponto de viragem e suscetibilidade à formação de fungos na solução estocada (RAIJ e QUAGGIO, 1983).

O método da solução tamponada SMP tem sido utilizado em substituição ao do acetato, pois apresenta grande vantagem analítica, ou seja, usa-se a mesma solução de  $\text{CaCl}_2$  da determinação da acidez ativa. Além disso, também mostra estreita correlação com o método do acetato (PAVAN et al., 1992).

A correlação entre a acidez potencial e o pH SMP pode ser observada na Figura 2.

FIGURA 2 - CURVA DE REGRESSÃO ENTRE ACIDEZ POTENCIAL E pH SMP DETERMINADA PARA AMOSTRAS DE SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO (QUAGGIO, 1986, CITANDO QUAGGIO, 1985).



Observação: No estado de Minas Gerais, a acidez trocável, associada ao cálcio trocável, tem sido usada como fator de cálculo para a recomendação de calcário. Em São Paulo é mais usada a correção da acidez com base na elevação da saturação por bases (V%) do solo e na região Sul do Brasil tem sido mais usado o pH SMP como referência da acidez dos solos e a sua correção é feita com base na elevação do pH SMP.

### 3 CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS

Os solos, de uma maneira geral, apresentam uma predominância de cargas negativas, funcionando assim como trocadores de cátions. Esta propriedade dos solos é denominada capacidade de troca de cátions (CTC), a qual é expressa quantitativamente em  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  ou  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ .

As cargas negativas originam-se na formação dos argilominerais (cargas permanentes) ou na dissociação de grupamentos funcionais de minerais (por exemplo  $\text{AlOH}$ ) ou da matéria orgânica (por exemplo  $\text{R-COOH}$ ) e, neste caso, são dependentes das variações de pH no solo.

Cargas positivas podem ocorrer nos solos ricos em óxidos de Fe e Al, em situações de pH baixo, pela protonação dos radicais hidroxila presentes nos óxidos.

A elevação do pH nos solos ricos em óxidos de Fe e Al e/ou em matéria orgânica favorece o surgimento de cargas negativas e, portanto eleva a CTC dos mesmos.

A CTC pode variar também em função da área superficial específica (ASE) das partículas do solo (Tabela 1). Outro fator é a matéria orgânica. A adsorção da matéria orgânica à caulinita e aos óxidos do solo resulta em neutralização das cargas positivas, aumentando desta forma a CTC dos solos.

TABELA 1 - ÁREA SUPERFICIAL ESPECÍFICA (ASE) E CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS DA MATÉRIA ORGÂNICA, DE ALGUNS ARGILOMINERAIS E DE ÓXIDOS ENCONTRADOS EM SOLOS. (FONTE: MEURER et al., 2004)

PARTÍCULA	ASE	CTC
	(m <sup>2</sup> /g)	(cmol <sub>c</sub> /kg)
Caulinita	7-30	0-1
Óxidos	-	2-4
Micas	40-150	10-40
Vermiculita	500-800	100-150
Montmorilonita	600-800	80-150
Matéria Orgânica	800-900	200-300

A CTC pode ser medida no pH original do solo e, neste caso, é denominada CTC efetiva, sendo obtida pela soma dos cátions trocáveis do solo ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $H^+$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$ ). O sódio é considerado principalmente para solos salinos e o amônio normalmente não é considerado por ser muito instável no solo. Os cátions micronutrientes são desconsiderados por apresentarem-se normalmente em pequenas quantidades nos solos.

Quando se quer ter uma estimativa da CTC potencial do solo, ela é determinada em extrato solo/solução de acetato de amônio ( $CH_3COONH_4$ ) 1 mol/L a pH 7. Caso queira-se considerar também o amônio na CTC, este pode ser dosado após extração com KCl 1 mol/L.

### 3.1 DETERMINAÇÃO DOS CÁTIONS TROCÁVEIS

Os cátions trocáveis podem ser extraídos do solo com uma solução de KCl 1mol/L, através do deslocamento destes íons dos sítios de troca do solo pelo  $K^+$  presente na solução de KCl. Com esta solução são extraídos íons como cálcio, magnésio, amônio, alumínio, manganês e sódio, entre outros. (Neste caso, K é determinado na forma “disponível”, extraído com solução Mehlich-1, como será visto adiante; ou ainda pode ser

determinado em solução de acetato de amônio como comentado no item anterior).

Para compor o resultado analítico são determinados, geralmente, os teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ . No caso específico da extração do alumínio, a qualidade do reagente é de fundamental importância, pois reagentes que geram soluções de elevado pH inicial provocam a hidrólise e precipitação do íon  $\text{Al}^{3+}$ , o que resulta em valores menores na determinação deste elemento (CANTARELLA et al., 1981).

A utilização da solução extratora de KCl 1mol/L é mais empregada nos estados do Sul do Brasil (PAVAN et al., 1992 e TEDESCO et al., 1995).

Outras formas existem para extrair estes cátions trocáveis do solo. No IAC, em São Paulo, por exemplo, estes cátions são extraídos por resinas trocadoras de íons que permitem a extração também de P e K trocáveis (RAIJ e QUAGGIO, 1983). Esta metodologia é mais adequada para a determinação de P disponível para as plantas, como será discutido mais adiante. No caso dos elementos Ca, Mg e K, os resultados obtidos com a resina trocadora de íons são similares aos obtidos com soluções de KCl, acetato de amônio ou  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (Tabela 2).

Após a extração, a determinação dos cátions trocáveis pode ser feita por titulometria ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ ), por espectrofotometria de absorção atômica ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ ), por fotometria de emissão de chama ( $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ) ou por emissão ICP (Inducted Coupled Plasma), onde todos os elementos podem ser medidos, mas a um custo bem mais elevado.

A determinação dos cátions trocáveis normalmente é feita para caracterizar a CTC dos solos (além de caracterizar a disponibilidade de alguns nutrientes), mas outros parâmetros químicos de interesse agrícola podem ser obtidos a partir dos resultados analíticos, sobretudo informações que servirão para calcular a necessidade de correção da

acidez dos solos analisados. Na Tabela 3 são mostrados, de maneira sucinta, alguns destes parâmetros químicos.

TABELA 2 - VALORES DE Ca, Mg E K OBTIDOS PELO USO DE DIVERSOS MÉTODOS DE EXTRAÇÃO (MÉDIA DE 4 REPETIÇÕES) (ADAPTADO DE RAIJ et al., 1987).

Amostra	Cálcio			Magnésio			Potássio		
	Resina	NH <sub>4</sub> OA c	KCl	Resina	NH <sub>4</sub> OAc	KCl	Resina	NH <sub>4</sub> OAc	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>								
1	2,18	2,04	2,05	1,03	1,08	0,98	0,12	0,12	0,14
2	2,87	2,69	2,79	1,10	1,19	1,09	0,38	0,45	0,47
3	10,79	10,96	10,03	2,29	2,54	2,30	0,22	0,20	0,21
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
19	4,22	4,49	4,13	0,69	0,68	0,68	0,79	0,75	0,79
20	0,14	0,28	0,32	0,07	0,05	0,06	0,11	0,10	0,08
Média	3,95	3,95	3,65	1,12	1,15	1,09	0,36	0,37	0,37
C.V.%	8,0	5,9	6,6	8,0	7,4	5,7	8,1	9,2	11,9

TABELA 3 - PARÂMETROS QUÍMICOS ASSOCIADOS À ACIDEZ E AOS CÂTIONS TROCÁVEIS DO SOLO.

Parâmetro	Fórmula
Capacidade de troca de cátions	$CTC = K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + H^+ + Al^{3+} + Na^+ + NH_4^+$
Acidez trocável	$H^+ + Al^{3+}$
Acidez potencial	$H^0 + Al^{3+}$
Soma de bases	$S = K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+$
Saturação por bases	$V\% = S/CTC \times 100$
Saturação por alumínio	$m\% = Al^{3+}/CTC \times 100$

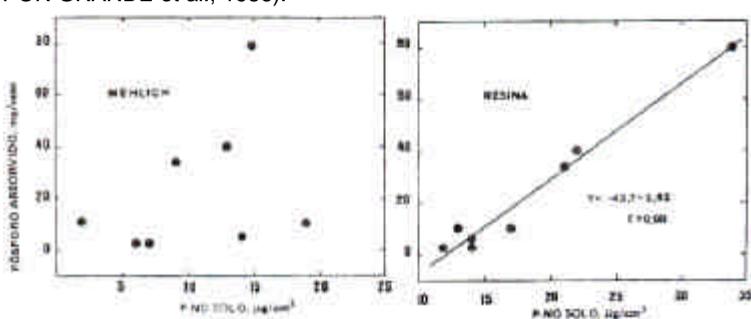
Obs. Nos cálculos, os elementos devem ser usados na mesma unidade (p.e. cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>).

#### 4 FÓSFORO E POTÁSSIO “DISPONÍVEIS”

Conforme comentado no item 2, os elementos P e K podem ser determinados em suas formas trocáveis, que apresentam estreita correlação com a absorção dos elementos do solo pelas plantas. Esta metodologia tem se difundido em vários laboratórios de análise de solos, sobretudo no estado de São Paulo, onde a metodologia foi inicialmente utilizada pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Até meados dos

anos 80, o IAC fazia a extração de fósforo com um extrator ácido ( $H_2SO_4$  0,05 N). Depois passou a usar a resina para extrair não somente P, mas também K, Ca e Mg trocáveis. As implicações da utilização desta metodologia sobre K, Ca e Mg foram abordadas no item anterior. Com relação ao fósforo, RAIJ et al. (1987) alegam que os resultados obtidos com os extratores ácidos ( $H_2SO_4$  0,05 N e Mehlich-1) às vezes não apresentam correlação com o P absorvido pelas plantas. Um exemplo deste comportamento pode ser observado na Figura 3, comparativamente com o resultado obtido para a resina.

FIGURA 3 - CORRELAÇÃO ENTRE FÓSFORO EXTRAÍDO DO SOLO POR DOIS EXTRATORES E OS VALORES ABSORVIDOS PELO ARROZ INUNDADO EM SOLOS DE VÁRZEA (FONTE: RAIJ et al., 1987, CITADO POR GRANDE et al., 1986).



Estes autores alegam também que os resultados obtidos com a resina apresentam uma correlação mais estreita com a produção das culturas do que aquela observada para extratores ácidos. Os valores para P obtidos com a resina às vezes são próximos aos obtidos com soluções ácidas mas geralmente são superiores. Nos casos onde a fosfatagem foi feita com fosfatos naturais, os valores da resina são inferiores. Uma comparação de valores com duas metodologias pode ser observada na Tabela 4.

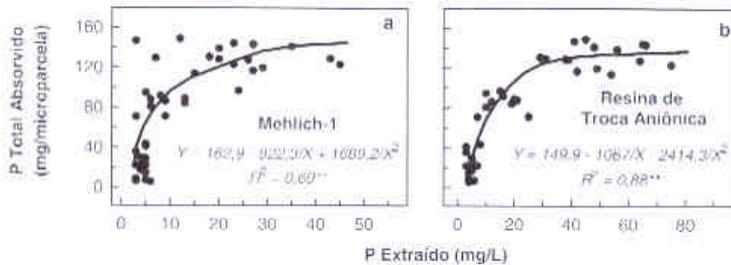
TABELA 4 - VALORES DE P OBTIDOS PELO USO DE DOIS MÉTODOS DE EXTRAÇÃO (MÉDIA DE 4 REPETIÇÕES) (ADAPTADO DE RAIJ et al., 1987).

Amostra	Fósforo	
	Resina	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	µg/cm <sup>3</sup>	
1	30,7	27,4
2	31,9	17,5
3	7,9	3,2
4	47,4	10,2
5	15,5	2,8
...	...	...
11	11,8	4,5
12	32,5	64,9
13	18,6	29,4
...	...	...
19	53,0	20,0
20	5,3	2,4
Média	25,8	13,7
C.V.%	11,8	11,0

Apesar desta superioridade do método da resina, no Brasil, nas regiões com predominância de solos ácidos, tem-se utilizado também a extração de P e K do solo com soluções de ácidos fortes diluídos, os quais também apresentam estreita correlação com a absorção de P e K pelas plantas e com a produção das lavouras. Entre os extratores ácidos, o extrator duplo ácido (Mehlich-1) tem a vantagem de fornecer extratos límpidos por sedimentação, dispensando a filtração (TEDESCO et al., 1995).

O P extraível com extrator Mehlich-1 corresponde à fração do fósforo na solução do solo e adsorvido à superfície das argilas e compostos de Fe e Al do solo. O P extraído com resina, por sua vez, corresponde ao P trocável e seria mais recomendado para solos recentemente adubados com fosfatos naturais. Em solos não adubados com fosfatos naturais, as quantidades de fósforo extraídas pelas plantas podem se correlacionar bem tanto com o P extraído com Mehlich-1 como com o P extraído com resina aniônica, apesar dos resultados da resina serem mais estreitamente correlacionados (Figura 4).

FIGURA 4 - CURVAS DE REGRESSÃO ENTRE P EXTRAÍDO PELO EXTRATOR MEHLICH-1 (A) E PELA RESINA DE TROCA ANIÔNICA (B) E A QUANTIDADE DE FÓSFORO ABSORVIDO POR PLANTAS DE TRIGO EM 20 SOLOS NO RIO GRANDE DO SUL (FONTE: TEDESCO E GIANELLO, 2004).



Após extração, o fósforo pode ser determinado em solução por métodos colorimétricos, visto que este forma compostos com cor azul ou amarela, quando reage com molibdato e vanadato em ambiente ácido e reduzido, respectivamente. Logo, moléculas de ácido fosfomolibdico ou fosfovanadato têm a capacidade de refletir as cores azul ou amarela e, ao mesmo tempo, absorver outras cores, que não sejam azul ou amarelo, quando incidida uma luz policromática. A intensidade da cor, azul ou amarelo, da solução formada é dada pela quantidade de luz refletida pelas moléculas formadas, e está diretamente relacionada com concentração em P. Ao mesmo tempo em que refletem mais as cores azul ou amarelo com o aumento da concentração de P em solução, os demais comprimentos de onda, de uma luz policromática, passam a ser absorvidos em maior intensidade. Assim, é possível determinar a concentração de P em solução, através da intensidade da cor azul ou amarelo, estabelecendo-se uma relação entre concentração de P em solução e absorvância em certo comprimento de onda, com equipamento chamado colorímetro ou espectrocolorímetro.

A dosagem do K, como já comentado, é feita diretamente por espectroscopia de emissão de chama ou fotometria de chama. A fotometria de chama é destinada para análise de potássio, sódio, cálcio e lítio. Estes elementos podem ser excitados com um baixo nível de energia na forma de calor, permitindo então a emissão de radiações características. As radiações podem ser observadas pela mudança na coloração da chama. Uma mistura de ar e solução é aquecida, quando pulverizada na chama, fazendo com que os átomos sejam excitados e emitam radiações específicas. A radiação vinda dos átomos que se encontram na chama passa através de um filtro óptico que permite somente a radiação característica do elemento em investigação e chega a uma fotocélula. O sinal de saída da fotocélula é medido por um galvanômetro adequado. Logo, é possível estabelecer uma calibração entre diferentes concentrações de solução padrão e emissão de radiação para um determinado elemento.

## **5 MATÉRIA ORGÂNICA E CARBONO**

A matéria orgânica presente no solo é constituída por organismos vivos, por seus resíduos e, principalmente, pelos produtos da decomposição destes organismos. Restos de culturas, raízes e animais mortos são as principais fontes de matéria orgânica dos solos agrícolas. O teor de matéria orgânica decorre do equilíbrio entre ganhos e perdas destes constituintes.

Entre as propriedades da matéria orgânica, podem ser destacadas a geração de cargas negativas; a agregação das partículas minerais, que favorece a porosidade e friabilidade; a capacidade de retenção de água e nutrientes e também a liberação de nutrientes minerais e outros compostos orgânicos durante sua decomposição.

Por todas estas propriedades, a caracterização da matéria orgânica dos solos é de extrema importância para o manejo adequado da fertilidade dos solos.

O método mais correntemente usado nos laboratórios de rotina para fertilidade é o método colorimétrico. Este método foi desenvolvido por QUAGGIO e RAIJ (1979), introduzindo modificações em um método usado nos Estados Unidos. O método difere do anterior em três aspectos: a) a digestão é a frio; b)  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  é usado no lugar do  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , por ser sal de maior solubilidade e c) ao invés de determinar-se o excesso de dicromato por titulação, determina-se por colorimetria o íon  $\text{Cr}^{3+}$  formado na reação de oxi-redução (oxidação da matéria orgânica e redução do dicromato). A determinação via colorimetria é possível visto que ocorre uma mudança de cor quando o  $\text{Cr}^{6+}$  ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) passa para  $\text{Cr}^{3+}$ , durante o processo de oxi-redução indicado acima.

O resultado final da análise permite obter o valor de carbono na amostra analisada. Para a determinação da matéria orgânica, usa-se curva padrão preparada a partir de solos com diferentes teores de matéria orgânica, que englobam as diferentes situações a campo.

Outro método de determinação do carbono do solo é através da combustão das amostras em equipamento apropriado para este tipo de análise. Neste caso, o  $\text{CO}_2$  produzido na combustão é detectado por infravermelho e, desta forma, é possível quantificar o teor de carbono no solo. Este tipo de equipamento (analisador CNHS) permite também a determinação de N, H e S totais na amostra.

O teor de matéria orgânica nos solos tem sido usado como referência para a recomendação de adubação nitrogenada, como acontece no sistema de recomendação usado no sul do Brasil (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC, 1994).

## 6 NITROGÊNIO TOTAL, NITRATO E AMÔNIO

Do total de nitrogênio presente no solo, cerca de 95% encontra-se na forma orgânica. A parte inorgânica, representada, sobretudo pelos íons nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), origina-se em grande parte da decomposição da matéria orgânica do solo e, assim, é bastante variável nos solos, estando intimamente ligada às mudanças climáticas, às variações de pH e à atividade biológica, seja de plantas ou da biota do solo. As perdas por volatilização e por lixiviação podem ser bastante significativas também.

A fixação biológica do N atmosférico é outro fator complicador para se determinar a disponibilidade de nitrogênio para as plantas. Para algumas culturas, como a soja, por exemplo, a simbiose com o *Rhizobium* é capaz de suprir toda a exigência em nitrogênio pela cultura, tornando desnecessária a determinação do teor de N disponível no solo.

Para aquelas culturas onde a fixação biológica não é eficiente ou suficiente para suprir a demanda pelas plantas, a recomendação do fornecimento de N é feita com base no teor de matéria orgânica, como já comentado anteriormente, ou com base no teor de N total no solo. Estas duas formas de recomendação necessitam, entretanto, estarem associadas a resultados de pesquisa para mostrarem-se eficientes.

O N total dos solos pode ser determinado por diferentes métodos mas o mais usado internacionalmente é o método desenvolvido por Kjeldhal em 1883 e que dá o nome à metodologia atualmente utilizada pela maior parte dos laboratórios. A extração do N é feita em meio ácido ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado) com adição de sais (por exemplo,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  ou  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) para elevar a temperatura de digestão e também catalizadores (Se, Hg ou Cu) que facilitam a oxidação da matéria orgânica. A determinação é posteriormente realizada em duas etapas: 1- O extrato é destilado em meio alcalino (pela adição de NaOH) que faz o N volatilizar como amônia; 2- O

destilado é recebido em meio ácido com corante ( $H_2SO_4$  + mistura de vermelho de metila e verde de bromocresol) e posteriormente titulado com NaOH, existindo uma relação estequiométrica entre o volume gasto na titulação e o teor de N no extrato. O N total pode ser determinado também por combustão em analisador CNHS, como citado anteriormente.

As formas inorgânicas de N podem ser facilmente determinadas por destilação ou por espectrofotometria, após extração de nitrato e amônio com uma solução de KCl 1,0 mol/L ou  $CaCl_2$  0,01 mol/L (TEDESCO et al., 1995 e MYAZAWA et al., 1985). Mas como comentado, não costumam apresentar estreita correlação com teor de N absorvido pelas plantas ou com a produção.

Segundo RAIJ et al. (1987), citando Gianello e Bremner (1986), a extração de compostos orgânicos lábeis tem mostrado alta correlação com o potencial de mineralização de N nos solos.

Ensaio de laboratório, avaliando o potencial de mineralização dos diferentes solos pode ser uma ferramenta importante para a compreensão da dinâmica do elemento, associada à biota presente no solo. Monitoramento da solução do solo, com tem sido feito em ecossistemas florestais (MARQUES et al., 1996) pode se configurar como ferramenta importante para monitorar o N no solo. Mas esta técnica estaria restrita às áreas experimentais que serviriam de modelo às áreas de cultivo comercial.

## **7 ENXOFRE NO SOLO**

O enxofre no solo, à semelhança do que ocorre para o nitrogênio, encontra-se em sua maior parte na forma orgânica, a qual não é prontamente disponível para as plantas. Em solos aerados e bem drenados a fração inorgânica encontra-se, sobretudo, na forma de sulfatos,

forma esta de interesse em termos nutricionais, pois é a forma absorvida pelas plantas.

Parte do sulfato presente na solução do solo pode ser adsorvido aos hidróxidos de Fe e Al, nos solos tropicais, mas com força de adsorção bem inferior àquela da adsorção de fosfatos. Outra parte do sulfato em solução pode combinar-se com alguns cátions, formando pares iônicos de carga zero que são facilmente lixiviados no perfil do solo. Este comportamento está relacionado com a utilização de gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), com o objetivo de carrear cátions básicos em profundidade no perfil dos solos.

Devido a estes fatores que afetam a disponibilidade do enxofre para as plantas, os métodos de extração/determinação deste elemento no solo, seja na forma total ou na forma inorgânica, não costumam apresentar estreita correlação com a absorção deste elemento pelas plantas ou com a produção das culturas.

Os métodos descritos na literatura incluem a extração com água, extração com sais ou ácidos, extração com resina de troca iônica, diluição isotópica com uso de  $^{35}\text{S}$  e a composição das plantas.

Os diferentes extratores retiram formas diferentes de S nos solos. BISSANI e TEDESCO (1988) agruparam os extratores, conforme as formas de enxofre extraídas da seguinte maneira: a) S em solução (água,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{LiCl}$  e  $\text{NaCl}$ ); b) S em solução + S adsorvido ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{NaOAc}$  +  $\text{HOAc}$  pH 4,8,  $\text{NH}_4\text{Oac}$  e resina de troca aniônica); c) S em solução + S adsorvido + parte do S orgânico ( $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  em ácido acético e água quente; d) S total (digestão nitro-perclórica).

O sulfato extraído pode ser determinado por gravimetria, turbidimetria, colorimetria, titulometria, nefelometria e indiretamente por absorção atômica. O método turbidimétrico, onde o sulfato é determinado como  $\text{BaSO}_4$ , é o mais utilizado (RAIJ et al., 1987).

Conforme BISSANI (1985), estudando solos do Rio Grande do Sul, a solução de  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  com 500 mgP/L e a mesma solução em ácido acético 2 mol/L, foram os extratores que melhor se relacionaram com parâmetros das plantas. Em Minas Gerais, em casa de vegetação (Hoeft et al., 1973, citados por ALVAREZ, 1988), a regressão linear entre sulfato extraído com  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  com 500 mgP/L e a resposta ao enxofre aplicado mostrou coeficientes de determinação que variaram entre 0,65 e 0,98.

Segundo ALVAREZ (1988), apesar de serem observadas correlações significativas entre o S disponível e dados de respostas das culturas, a capacidade de previsão dos métodos é relativamente baixa devido à definição de um único nível crítico para um conjunto amplo de solos. As diferenças climáticas, de propriedades físicas, químicas e mesmo biológicas podem interferir nos resultados obtidos. Neste sentido, segundo o último autor, a capacidade de previsão pode ser melhorada quando os solos são agrupados por região, por textura ou ainda pela capacidade de adsorção de sulfatos.

## **8 DETERMINAÇÃO DE MICRONUTRIENTES**

Os micronutrientes são elementos exigidos pelas plantas em quantidades muito pequenas. Apesar disto, existem evidências de que deficiências de micronutrientes podem afetar a produção das culturas, sobretudo nos solos tropicais mais intemperizados, onde a disponibilidade dos mesmos é muito baixa (LOPES e GUEDES, 1988). A preocupação com este fato levou os pesquisadores brasileiros a realizarem encontros e simpósios a partir dos anos 80 e que resultaram em importantes publicações que tratam sobre os micronutrientes na agricultura. Desses encontros resultaram as seguintes publicações: BORKERT e LANTMANN, 1988; FERREIRA e CRUZ, 1991 e FERREIRA et al., 2001.

Apesar da crescente preocupação do meio acadêmico-científico e mesmo dos agricultores e pecuaristas; e do grande número de trabalhos de pesquisa, ainda hoje são poucas as publicações com recomendações de micronutrientes para as diferentes culturas, devido à pequena quantidade de estudos de correlação e calibração em nível de campo.

Os micronutrientes podem ser agrupados em aniônicos (B, Mo, Cl) e catiônicos (Co, Cu, Fe, Mn, Zn) e a sua extração do solo estará relacionada com a sua forma iônica mas também com diversos outros fatores, como por exemplo: material de origem, pH, estado de oxidação, matéria orgânica e quelados presentes ou constituintes do solo. Além disso, interações podem ocorrer entre os micronutrientes (por exemplo, Fe-Mn) ou entre macro e micronutrientes (por exemplo, P-Zn).

O conhecimento dos fatores que afetam a disponibilidade de nutrientes no solo pode ajudar na seleção de metodologias que melhor representem a extração destes elementos pelas plantas, assim como orientar técnicas de manejo de forma a favorecer a disponibilidade destes, quando desejado, ou mesmo controlá-la, em caso de excesso no solo.

A discussão dos fatores que afetam a disponibilidade dos micronutrientes está bem detalhada nas publicações anteriormente citadas. Neste texto, serão abordados de forma sucinta os métodos analíticos mais usados para os principais micronutrientes.

Convém ressaltar que a concentração de micronutrientes na solução do solo e mesmo nos sítios de troca do solo é muito baixa e, em geral, abaixo dos limites de detecção. Por este motivo, a maioria das soluções extratoras contém ácidos, bases, complexantes ou quelados que também dissolvem parte dos sólidos na forma lábil, sendo assim mais eficientes para estimar a capacidade do solo em fornecer micronutrientes do que os métodos que consideram apenas a troca de íons (LOPES e CARVALHO, 1988).

Na Tabela 5 é mostrado um resumo das metodologias de extração de micronutrientes mais em uso nas regiões tropicais.

TABELA 5 - RESUMO DE SOLUÇÕES EXTRATORAS, RELAÇÃO SOLO/EXTRATOR, TEMPO DE AGITAÇÃO E AMPLITUDE DE NÍVEIS CRÍTICOS EM USO EM VÁRIOS PAÍSES NA REGIÃO TROPICAL. FONTE: LOPES E CARVALHO (1988) ADAPTADO DE LINDSAY E FOX (1985)

Elemento	Extratores em várias concentrações e combinações	Relação solo/extrator	Tempo agitação (minutos)	Amplitude de níveis críticos (mg/kg)
Ferro	DTPA, NH <sub>4</sub> OAc, HCl, NaHCO <sub>3</sub> , EDTA, Superfloc 127, NH <sub>4</sub> F, Citrato Na, Ditionato Na	1:2 a 1:40	10-120	0,3 10,0
Manganês	DTPA, NH <sub>4</sub> OAc, HCl, NaHCO <sub>3</sub> , EDTA, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Superfloc 127, H <sub>2</sub> O e NH <sub>4</sub> F	1:2 a 1:20	5-120	1,0-28,0
Zinco	DTPA, EDTA, HCl, NH <sub>4</sub> OAc, NaHCO <sub>3</sub> , KCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Superfloc 127, NH <sub>4</sub> F e dítizona	1:1 a 1:20	5-180	0,5-10,0
Cobre	DTPA, EDTA, HCl, NH <sub>4</sub> OAc, NaHCO <sub>3</sub> , Superfloc 127, NH <sub>4</sub> F	1:1 a 1:20	5-120	0,2-10,0
Boro	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O, água quente, água fervente, extrato de saturação, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HF e HCl	1:1 a 1:2	5-960	0,2-2,0
Molibdênio	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ou água quente	1:1 a 1:10	60-720	0,1-0,3

As informações contidas na Tabela 5 servem apenas para mostrar a grande diversidade de metodologias estudadas para se avaliar a disponibilidade de micronutrientes para as plantas. Não existe consenso sobre a melhor metodologia, pois os fatores interferentes sobre a disponibilidade, conforme comentado anteriormente, são muitos. Uma solução seria a seleção de metodologias adaptadas às condições da região onde se pretende implantar um sistema de recomendação. Mas, se por um lado isto favorece a seleção de metodologias mais adequadas, por

outro lado dificulta a comparação de resultados analíticos obtidos com outras técnicas laboratoriais.

No Brasil, alguns extratores têm sido usados com mais frequência e uma síntese é apresentada nas próximas linhas.

Para boro, a extração com água quente e determinação colorimétrica (TEDESCO et al., 1995) tem sido o método mais utilizado, por apresentar melhores resultados, sendo inclusive um método considerado padrão para comparação com outras metodologias desenvolvidas.

A avaliação da disponibilidade de molibdênio é a que apresenta maiores dificuldades, por ser elemento presente nos solos em quantidade muito baixa, sendo que a concentração em solução é da ordem de parte por bilhão (RAIJ et al., 1987). Estes autores comentam ainda que o maior problema para se avaliar a disponibilidade de Mo em solos está ligado aos erros enormes que estão associados à determinação de concentrações extremamente baixas deste elemento. Um trabalho específico para as condições de Minas Gerais foi desenvolvido por DALLPAI (1996), onde foram testados os extratores Mehlich-1, resina de troca aniônica, HCl 0,125 mol/L, HCl 0,2 mol/L e Bray-2. As correlações significativas entre os teores extraídos pela resina de troca aniônica e Mo absorvido pelas plantas foi explicada pelo autor como resultante da seletividade do extrator e do fato do mesmo apresentar menor sensibilidade à capacidade tampão do solo.

Os micronutrientes catiônicos Fe, Mn, Cu e Zn têm sido aqueles para os quais existe uma maior quantidade de informações (ver as publicações citadas no início deste ítem 7). Os extratores estudados, conforme mostra a Tabela 5, são bastante diversos e agem quimicamente de forma diversa também; alguns por complexação ou quelação outros por solubilização, em maior ou menor grau.

Nos estados do sul do Brasil tem-se caracterizado a disponibilidade destes elementos após extração com HCl 0,01 mol/L (TEDESCO et al., 1995). Os resultados obtidos com este extrator (segundo o último autor, citando Lantmann e Meurer, 1980 e 1982 e Bataglia e Raij, 1984) apresentam boa correlação com a absorção destes elementos pelas plantas, com a vantagem de extrair quantidades maiores, facilitando a determinação do cobre por espectrofotometria de absorção atômica.

No estado de São Paulo, o método oficial é o DTPA pH 7,3 (ABREU et al., 1997). Em estudo comparativo entre o extrator Mehlich-1 e o DTPA (CAMARGO et al., 1982), ambos os extratores mostraram-se eficientes, mas os teores de Fe extraídos com DTPA correlacionaram-se melhor com o pH das amostras. No caso específico do Fe, BATAGLIA e RAIJ (1989) não encontraram correlação entre teores extraídos por diferentes extratores e a absorção pelas plantas. Considerando, entretanto, a extração conjunta de todos os micronutrientes catiônicos, estes autores concluíram que as soluções de HCl 0,1 mol/L, pela simplicidade, e a de DTPA pH 7,3, pela maior discriminação em relação à acidez dos solos, seriam mais indicadas do que a solução Mehlich-1.

Para a região dos cerrados, conforme ABREU et al. (2001), tem-se adotado a solução de Mehlich-1, sobretudo para Cu e Zn.

Após extração, os micronutrientes catiônicos são determinados geralmente por espectroscopia de absorção atômica em chama. Nos casos de concentrações muito baixas, a absorção atômica em forno de grafite ou a espectroscopia de emissão de plasma (ICP) seriam as técnicas mais indicadas.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, C.A.; ABREU, M.F.; SOARES, L.H.; ANDRADE, J.C. The effects of DTPA extraction conditions on the determination of micronutrients in Brazilian soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 28, p. 1-11, 1997.
- ABREU, C.A.; FERREIRA, M.E.; BORKERT, C.M. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da; RAIJ, B. van; ABREU, C.A. (Eds.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq / FAPESP / POTAFOS, 2001. p. 125-150.
- ALVAREZ, V.H. Enxofre: critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiências e excessos. In: BORKERT, C.M.; LANTMANN, A.F. (Eds.). **Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO / IAPAR / SBCS, 1988. p. 31-59.
- BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B. van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 205-212, 1989.
- BISSANI, C.A.; TEDESCO, M.J. O enxofre no solo. In: BORKERT, C.M.; LANTMANN, A.F. eds. **Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO / IAPAR / SBCS, 1988. p. 11-29.
- BORKERT, C.M.; LANTMANN, A.F. (Eds.). **Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO / IAPAR / SBCS, 1988. 317 p.
- CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S.; DECHEN, A.R. Efeitos do pH e da incubação na extração de manganês, zinco, cobre e ferro do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 6, p. 83-88, 1982.
- CANTARELLA, H.; DECHEN, A.R.; RAIJ, B. van. Influência da origem do cloreto de potássio utilizado em extrações de amostras de solos nos resultados de alumínio trocável. **Bragantia**, Campinas, v. 40, p. 189-192, 1981.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendação de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBCS-Núcleo Regional Sul, 1994.
- DALLPAI, D.L. **Determinação espectrofotométrica de molibdênio em solo e tecido vegetal e adsorção de molibdato em alguns solos de Minas Gerais**. Viçosa: 1996. 56 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.
- FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da. (Eds.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafos/CNPq, 1991. 734 p.
- FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da; RAIJ, B. van; ABREU, C.A. eds. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq / FAPESP / POTAFOS, 2001. 600 p.
- LOPES, A.S.; CARVALHO, J.G. de. Micronutrientes: critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiências e excessos. In: BORKERT, C.M.; LANTMANN, A.F. (Eds.). **Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO/IAPAR/SBCS, 1988. p. 133-178.
- MARQUES, R.; RANGER, J.; GELHAYE, D.; POLLIER, B.; PONETTE, Q.; GOEDERT, O. Comparison of chemical composition of soil solutions collected by zero-tension plate

- lysimeters with those from ceramic-cup lysimeters in a forest soil. **European Journal of Soil Science**, v. 47, p. 407-417, 1996.
- MEURER, E.J.; RHEINHEIMER, D.; BISSANI, C.A. Fenômenos de sorção em solos. In: MEURER, E.J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. 2 ed. rev. ampl. Porto Alegre: Genesis, 2004. p. 131-179.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; BLOCK, M.F.M. Determinação espectrofotométrica de nitrato em extratos de solo sem redução química. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n.1, p. 129-133, 1985.
- PAVAN, M.A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992. (IAPAR. Circular, 76).
- PEECH, M. Hydrogen-ion activity. In: BLACK, C.A. ed. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 914-926.
- QUAGGIO, J.A. Reação do solo e seu controle. In: DECHEN, A. R.; CARMELLO, Q.A. de. **Simpósio avançado de química e fertilidade do solo**. Campinas: Fundação Cargill, 1986. p. 53-89.
- QUAGGIO, J.A. **Crítérios para calagem em solos do Estado de São Paulo**. Piracicaba, 1983. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van. Comparação de métodos rápidos para a determinação da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 3, p. 184-187, 1979.
- RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 31p. (IAC. Boletim Técnico, 81).
- RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987.
- SCHOFIELD, R.K.; TAYLOR, A.N. The measurement of soil pH. **Soil Society of America Proceedings**, Madison, v. 19, p. 164-167, 1955.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos/UFRGS, 1995. (Boletim Técnico, 5).
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C. Metodologia de análises de solo, plantas, adubos orgânicos e resíduos. In: BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; CAMARGO, F.A. de O. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Genesis, 2004. p. 61-66.
- VITTI, G.C. Acidez do solo, calagem e gessagem. In: FERNANDES, F.M.; NASCIMENTO, V.M.do. **Curso de atualização em fertilidade do solo**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 303-348.

# CAPÍTULO VII

## CONSIDERAÇÕES SOBRE INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE DE SOLOS (COM EXEMPLOS)

Beatriz Monte Serrat<sup>1</sup>, Karina I. Krieger<sup>2</sup>, Antônio Carlos Vargas Motta<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Eng. Agr., Doutora, Professora do DSEA/UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050, Curitiba, PR. E-mail: bmserrat@ufpr.br; <sup>2</sup>Eng. Agr.; <sup>3</sup>Eng. Agr., Ph.D., Professor do DSEA/UFPR.

1 UNIDADES DE MEDIDA.....	126
1.1 FORMA DE EXPRESSÃO DOS RESULTADOS .....	128
1.2 EXEMPLO DE CONVERSÃO DE UNIDADES.....	130
2 VALORES ABSOLUTOS DE REFERÊNCIA .....	133
3 VALORES RELATIVOS .....	135
4 RELAÇÃO COM OUTRAS INFORMAÇÕES OBTIDAS .....	138
4.1 RELAÇÃO COM RESULTADOS DE OUTRAS ANÁLISES .....	138
4.2 RELAÇÃO COM DADOS COLHIDOS NO CAMPO. ....	140
5 OBSERVAÇÕES FINAIS .....	140
REFERÊNCIAS .....	142

## 1 UNIDADES DE MEDIDA

A interpretação de análises de rotina para a avaliação da fertilidade do solo deverá ser realizada por profissionais da área observando diversos aspectos, entre eles: 1<sup>o</sup> - atualização das unidades de medida; 2<sup>o</sup> - valores absolutos de referência, em avaliação prévia; 3<sup>o</sup> - valores relativos entre os elementos da própria análise; e 4<sup>o</sup> - relações com resultados de outras análises e/ou com os dados obtidos no campo.

O conhecimento, dos diversos prefixos usados na área agrônômica, auxilia no entendimento das unidades atualmente utilizadas (Tabela 1). Algumas dessas requerem especial atenção no contexto, por exemplo: Mg pode significar, mega grama, que é preferencialmente recomendada em relação t ou tonelada, podendo utilizar-se Mg para expressar o elemento químico magnésio.

Para melhor compreensão das unidades de medida utilizadas, serão apresentadas três tabelas exemplificando formas de apresentação de laudos de resultados das análises de solo, visando comparação entre as unidades atualmente fornecidas por diferentes laboratórios (Tabelas 2 a 4).

TABELA 1 – PREFIXOS E VALORES DE UNIDADES DE MEDIDA

SÍMBOLO	PREFIXO	VALOR
G	Giga	10 <sup>9</sup>
M	Mega	10 <sup>6</sup>
k	Quilo	10 <sup>3</sup>
h	Hecto	10 <sup>2</sup>
da	Deca	10

SÍMBOLO	PREFIXO	VALOR
d	Deci	10 <sup>-1</sup>
c	Centi	10 <sup>-2</sup>
m	Mili	10 <sup>-3</sup>
μ	Micro	10 <sup>-6</sup>
n	Nano	10 <sup>-9</sup>

TABELA 2 – MODELO DA ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO DA UFPR, CURITIBA (PR)

pH CaCl <sub>2</sub>	Al <sup>+3</sup>	H + Al	Ca <sup>+2</sup> + Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	T	P Mehlich	C	pH SMP	V
-	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>						mg/dm <sup>3</sup>	g/dm <sup>3</sup>	-	%

TABELA 3 – MODELO DA ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO DA FUNDAÇÃO ABC, PONTA GROSSA (PR)

P resina	M.O.	pH CaCl <sub>2</sub>	H+Al	Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	Al
mg/dm <sup>3</sup>	g/dm <sup>3</sup>	-	mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>						%		

TABELA 4 – MODELO DA ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO DA CIDASC, FLORIANÓPOLIS (SC)

pH	Índice SMP	Fósforo Mehlich	Potássio	Matéria orgânica	Alumínio	Cálcio	Magnésio
-	-	ppm	ppm	%	cmol <sub>c</sub> /L		

## Legenda das Tabelas 2, 3 e 4

VALORES ANALISADOS		VALORES CALCULADOS	
(K <sup>+</sup> )	Potássio	(V%)	Saturação por Bases
(Mg <sup>+2</sup> )	Magnésio	(m%) = (Al%)	Saturação por Alumínio
(Ca <sup>+2</sup> )	Cálcio	(MO)	Matéria orgânica
(Al <sup>+3</sup> )	Alumínio	(T) ou (CTC)	Capacidade de trocas de cátions
(P)	Fósforo	(SB)	Soma de bases
(C)	Carbono	(H + Al)	Acidez potencial

Tendo em vista unificar a apresentação desta publicação, todas as unidades de medida seguirão o padrão utilizado pelas tabelas de calibração das seguintes bibliografias: COMISSÃO-RS/SC, 1994; PAVAN e MIYAZAWA, 1996; IAC, 1997; EMATER-PR, 1998. Será utilizado kg/ha, cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, mg/dm<sup>3</sup>, mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> e mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, o que tem o mesmo significado que kg ha<sup>-1</sup>, cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, mg dm<sup>-3</sup>, mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

### 1.1 FORMA DE EXPRESSÃO DOS RESULTADOS

As unidades citadas nas Tabelas 2, 3, 4 serão comentadas a seguir:

- A) **cmol<sub>c</sub>/L ou cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> e mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>** - Mol é a unidade química de contagem de átomos expressa pela massa molar em gramas. Para que se possam somar os cátions trocáveis entre si mantendo as relações estequiométricas (TOMÉ JÚNIOR, 1997), utiliza-se de forma simplificada a massa molar do elemento dividida pela sua carga iônica, podendo ser indicado como mol de cargas (mol<sub>c</sub>) ou equivalente químico (eq), como era freqüentemente usado no passado recente. Observe que as unidades de volume, L e dm<sup>3</sup>, são unidades equivalentes e aceitas dentro do sistema internacional. Observe ainda que o prefixo centi (c) é 10 vezes superior que mili (m).
- B) **mg/L ou mg/dm<sup>3</sup>** – Unidade geralmente utilizada para expressar a quantidade de massa de fósforo solúvel por volume de solo. Lembrar que L e dm<sup>3</sup> são unidades equivalentes.
- C) **g/dm<sup>3</sup>** – Unidade que relaciona a massa de carbono orgânico por volume de solo. É importante lembrar que um dm<sup>3</sup> é equivalente a 1 kg de solo, confederando a densidade do solo igual 1 g/cm<sup>3</sup>.
- D) **g/kg** – A análise granulométrica fornece os teores de argila, silte e areia por unidade de massa de solo. A classificação textural é obtida através do triângulo textural, utilizando os dados granulométricos. Algumas bibliografias apresentam em percentagem, o que equivale a um grama em cem gramas de solo.
- E) **ppm** – Alguns laboratórios ainda utilizam o ppm (parte por milhão) para fósforo e potássio disponíveis. Para o fósforo numericamente esta unidade é equivalente ao mg/dm<sup>3</sup>. Considerando a densidade do solo de 1 g/cm<sup>3</sup>, não são necessárias transformações. O mesmo é verdadeiro para mg/kg, µg/g, g/Mg ou g/t. Já para o potássio, como as

unidades utilizadas não se equivalem, sendo necessárias conversões que considerem a massa molar e a carga, conforme a Tabela 6.

**TABELA 5 – PARÂMETROS QUÍMICOS PARA OBTENÇÃO DO MOL DE CARGAS**

ELEMENTO QUÍMICO	MASSA MOLAR	CARGA	1 mol <sub>c</sub>	1 cmol <sub>c</sub>	1 mmol <sub>c</sub>
Alumínio (Al <sup>+3</sup> )	27 g	3	9 g	0,09 g	0,009 g
Cálcio (Ca <sup>+2</sup> )	40 g	2	20 g	0,20 g	0,020 g
Magnésio (Mg <sup>+2</sup> )	24 g	2	12 g	0,12 g	0,012 g
Potássio (K <sup>+</sup> )	39 g	1	39 g	0,39 g	0,039 g
Fostato (PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	95 g	3	31,6 g	0,32 g	0,032 g
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	96 g	2	48 g	0,48 g	0,048 g
Cloreto (Cl <sup>-</sup> )	35,4 g	1	35,4 g	0,35 g	0,035 g

Obs.: as formas expressas como Al(Cl)<sub>3</sub>, Ca(Cl)<sub>2</sub>, ou KCl, indicam que um mol<sub>c</sub> de Cl reagiu com um mol<sub>c</sub> de outro elemento, mantendo a neutralidade do composto.

A Tabela 6 indica também outras conversões de unidades necessárias para o acompanhamento de tabelas de interpretação que utilizam unidades anteriores a meados de 1995; e ou para a interpretação de resultados analíticos entre os laboratórios do país que adotam diferentes unidades.

**TABELA 6 - CONVERSÃO DE UNIDADES\*.**

ELEMENTO(S)	UNIDADE ANTERIOR	UNIDADE ATUAL	FATOR DE CONVERSÃO
Al, Ca, Mg, K	meq/100g	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> (UFPR)	1
Al, Ca, Mg		cmol <sub>c</sub> /L (CIDASC)	
Al, Ca, Mg, K		mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> (Fundação ABC)	
K	ppm	mg/L (Comissão RS/SC)	1
K	ppm	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	1/391
P	ppm ou µg/cm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup> , mg/L ou mg/kg	1
C e M.O.**	%	g/dm <sup>3</sup>	10
Argila, silte e areia ***		g/kg	

\* As unidades são referentes a um determinado volume (dm<sup>3</sup> ou L) ou massa (kg) de solo.

\*\*M.O. - Matéria Orgânica. \*\*\* Análise granulométrica

## 1.2 EXEMPLO DE CONVERSÃO DE UNIDADES

A partir dos dados de uma análise de solo da UFPR (Tabela 7), se fará, a seguir, adaptação para as demais (Fundação ABC e CIDASC).

TABELA 7 – EXEMPLO DA UFPR: RESULTADO DE ANÁLISE DE SOLO

pH CaCl <sub>2</sub>	Al <sup>+3</sup>	H + Al	Ca <sup>+2</sup> + Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	T	P	C	pH SMP	V
cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>						mg/dm <sup>3</sup>	g/dm <sup>3</sup>		%	
4,9	0,4	4,6	5,3	2,5	0,07	9,97	16,0	8,1	6,1	53,86

A) O **alumínio**, acidez potencial (H+Al), cálcio, magnésio e capacidade de troca catiônica (T) na análise da UFPR são expressos em cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, equivalente aos resultados expressos no laboratório da CIDASC, cmol<sub>c</sub>/L. Todavia, a Fundação ABC utiliza o mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, o que equivale a uma relação numérica dez vezes maior conforme exemplo a seguir para o alumínio: 0,40 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> x 10 = 4,0 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>

B) A saturação por alumínio (Al%), dada no resultado da análise química da Fundação ABC, é calculada da seguinte maneira:

$$Al\% = (\text{mmol}_c \text{ Al} / \text{dm}^3) / [\text{mmol}_c (\text{K}+\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Al}) / \text{dm}^3] \times 100$$

$$Al(\%) = 4,0 / 57,7 \times 100 = 6,9\%$$

Este resultado também é obtido a partir da análise da UFPR (cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>) e também, após conversão do potássio de ppm para cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, para os resultados obtidos da CIDASC.

C) O **potássio** na Tabela 7 é de 0,07 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, equivalente na análise da fundação ABC a 0,7 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, conforme conversão exemplificada anteriormente. Já no laboratório da CIDASC a unidade utilizada para

expressar a concentração é o ppm, sendo convertido para esta unidade da seguinte maneira para o potássio:

$0,07 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3 \times 10 \times \text{massa molar}^*/ \text{carga}^*$ , logo:

$$0,07 \times 10 \times 39/1 = 27 \text{ ppm}$$

(\*Valores da Tabela 5)

D) Para o **fósforo** em relação às unidades apresentadas nas Tabelas 2, 3 e 4 não há necessidade de conversão. Cabe ressaltar que as metodologias utilizadas não são as mesmas. A UFPR e a CIDASC seguem o método Mehlich I e a Fundação ABC o da Resina.

Segundo TOMÉ JÚNIOR (1997), a análise de fósforo disponível visa mais classificar a possibilidade de resposta à adubação fosfatada do que fornecer um valor numérico exato da quantidade de fósforo existente no solo. Para teores baixos pode-se esperar maior resposta à adubação do que para os classificados como médios ou altos. Sob esse ponto de vista, dificilmente ocorrem diferenças na classificação dos teores entre as metodologias, Resina e Mehlich, mesmo que os resultados de fósforo se mostrem numericamente diferentes. Por mais que as classificações sejam semelhantes, é importante ressaltar que através de ensaios de calibração para vários tipos de solo, cada região adota o método de interpretação que, além de prático e econômico, melhor reflita o fósforo disponível às plantas. Nessa fase (calibração de campo) são relacionados os resultados de fósforo disponível com a produtividade de uma determinada cultura e as doses de fertilizante fosfatado aplicadas, visando encontrar o seu crescimento ótimo e/ou econômico (NOVAIS e SMYTH, 1999).

E) Para a obtenção do valor da **matéria orgânica** do solo considera-se que esta possua em média 58% de carbono orgânico, o qual é

determinado de forma direta nos laboratórios. Para converter valores de carbono em matéria orgânica os seguintes cálculos são necessários:

$$\text{Matéria Orgânica} = 8,1\text{g/dm}^3 \times 1,72 = 13,9\text{g/dm}^3 \text{ (Tabela 8)}$$

$$\text{Matéria Orgânica (\%)} = 13,9\text{g/dm}^3 / 10 = 1,39\% \text{ (Tabela 9)}$$

F) O **pH** (1:1 solo/solução) na análise do laboratório da CIDASC é dado em água, enquanto nas demais em  $\text{CaCl}_2$  (1:2,5, solo/solução). Normalmente, para uma mesma amostra, o pH em água é maior do que o pH em  $\text{CaCl}_2$ , mas esta diferença não tem um valor fixo em alguns casos pode oscilar em torno de 0,3 a 1,0, com maior frequência em torno de 0,6 (TOMÉ JÚNIOR, 1997).

G) O **pH SMP**, segundo TOMÉ JÚNIOR (1997), baseia-se na correlação existente entre o índice SMP e a acidez potencial do solo (H+Al). Quanto mais baixo o índice SMP, maior a quantidade de H+Al do solo e, portanto, maior a quantidade de calcário a ser aplicada para atingir um pH adequado neste solo.

TABELA 8 – TRANSFORMAÇÃO DOS RESULTADOS DA TABELA 7 (UFPR) PARA AS UNIDADES DA TABELA 3 (FUNDAÇÃO ABC)

P resina	M.O.	pH $\text{CaCl}_2$	H+Al	Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	Al
$\text{mg/dm}^3$	$\text{g/dm}^3$	-	$\text{mmol}_c/\text{dm}^3$							%	
90,0 *	13,9	4,90	46,0	4,0	0,7	25,0	28,0	53,7	99,7	53,86	6,9

\* Único valor diretamente analisado na mesma amostra de solo

TABELA 9 – TRANSFORMAÇÃO DOS RESULTADOS DA TABELA 7 (UFPR) PARA AS UNIDADES DA TABELA 4 (CIDASC)

pH	ÍNDICE SMP	P	K	MATÉRIA ORGÂNICA	Al	Ca	Mg
-	-	ppm	ppm	%	$\text{cmol}_c/\text{L}$		
5,5	6,1	16,0	27,0	1,3	0,4	2,5	2,8

## 2 VALORES ABSOLUTOS DE REFERÊNCIA

Num primeiro momento a interpretação de resultados de análise de solos deverá estar voltada a fornecer subsídios gerais, fornecendo uma visão inicial das condições de fertilidade dos solos, de cada gleba de uma dada propriedade rural. Nessa interpretação preliminar devem-se estabelecer parâmetros médios para a média dos solos e das culturas regionais.

**Portanto tais parâmetros (Tabela 10) servirão apenas de referência para essa pré-avaliação.**

Posteriormente, para a avaliação completa da fertilidade, os resultados das análises de solos deverão ser interpretados a partir de tabelas calibradas para os solos de cada região e para cada grupo de cultura (COMISSÃO-RS/SC, 1994; PAVAN e MIYAZAWA, 1996; IAC, 1997; EMATER-PR, 1998).

Numa interpretação **preliminar** (Tabela 10), após não haver dúvidas quanto às unidades, passa-se para a avaliação dos valores absolutos da análise química de solo da UFPR (Tabela 6), usando a Tabela 10 como referência.

Existe uma grande carência de informações sobre níveis para micronutrientes, principalmente para Fe e Mn. Na Tabela 12 são apresentados valores que podem servir de níveis, em uma primeira aproximação. A disponibilidade de Fe e Mn, pode ser muito variável, pois estes elementos estão sujeitos ao processo de oxi-redução. Logo, os processos de estocagem, secagem e outros podem ter um grande efeito na determinação da disponibilidade desses nutrientes. Outro fato, é que a planta pode, através de liberação de exsudados pelas raízes, proporcionar mudança na rizosfera, influenciando também nessa disponibilidade. Além disso tem-se observado que o pH pode melhor indicar a variação disponibilidade que os vários extratores que vêm sendo estudados.

TABELA 10 - SUGESTÃO DE PARÂMETROS GERAIS MÉDIOS PARA A INTERPRETAÇÃO PRELIMINAR DE RESULTADOS DE ANÁLISE DE SOLOS <sup>(1)</sup>

NÍVEIS NO SOLO	DETERMINAÇÕES							
	pH em CaCl <sub>2</sub>	pH SMP	Cátions trocáveis					C
			Al <sup>+3</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	T	
			cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>					
Muito baixo	< 5,0	< 5,5	< 0,3	< 1	< 0,3	< 0,10	-	< 4
Baixo	5,0-5,4	5,5-6,0	0,3-0,5	1 - 2	0,3-0,4	0,10-0,15	< 5	4 - 8
Médio	5,4-5,8	6,0-6,5	0,5-1,0	2 - 4	0,4-0,8	0,15-0,30	5 - 10	8 - 14
Alto	5,8-6,2	6,5-7,0	> 1,0	4 - 6	0,8-1,0	0,30-0,40	10 - 15	14 - 20
Muito alto	> 6,2	> 7,0	-	> 6	> 1,0	> 0,40	> 15	> 20

NÍVEIS NO SOLO	DETERMINAÇÕES				Al	V
	P Mehlich			P <sup>(2)</sup>		
	Argila >40%	Argila 40 a 25%	Argila < 25%	Resina <sup>(3)</sup>		
	(mg/dm <sup>3</sup> )					
Muito baixo	< 3	< 4	< 6	< 8	< 5	-
Baixo	3 - 6	4 - 8	6 -12	8 - 15	5 - 10	< 40
Médio	6 - 9	8 - 12	12 - 18	15 - 40	10 - 20	40 - 70
Alto	9 - 12	12 - 18	18 -24	40 - 60	> 20	> 70
Muito alto	> 12	> 18	> 24	> 60	-	

<sup>(1)</sup> Adaptado de Emater-Pr (1998), Comissão (1994) e IAC (1997).

<sup>(2)</sup> Culturas Anuais.

<sup>(3)</sup> Fósforo Resina – Processo de extração com resina trocadora de íons.

Observações conforme PAVAN e MIYAZAWA (1996).

- pH CaCl<sub>2</sub> – Determinado em solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01mol/L em potenciômetro.
- Alumínio, cálcio e magnésio trocáveis – extraídos do solo pela solução de KCl 1mol/L. O alumínio é determinado por titulometria (titulação com NaOH 0,025 mol<sub>c</sub>/L), e o cálcio e o magnésio foram determinados por complexometria (titulação com EDTA 0,0125 mol/L).
- Potássio e fósforo Mehlich – Extraídos pela solução de Mehlich 1 (HCl 0,05 mol<sub>c</sub>/L + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol<sub>c</sub>/L) com relação 1:10; usando para determinação de potássio, fotômetro de chama e para fósforo o método do colorímetro e leitura através de espectrofotômetro.
- Carbono orgânico – Obtido mediante o método do colorímetro através da oxidação por dicromato de sódio, e leitura em espectrofotômetro.
- Saturação de Al (Al%) e saturação de bases (V%).

TABELA 11 – INTERPRETAÇÃO **PRELIMINAR** DA ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO DA UFPR (TABELA 7) A PARTIR DAS REFERÊNCIAS SUGERIDAS NA TABELA 10.

pH CaCl <sub>2</sub>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	T	P	C	pH SMP	V
-	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>					mg/dm <sup>3</sup>	g/dm <sup>3</sup>			%
4,9	0,4	4,6	2,8	2,5	0,07	9,97	16,0	8,1	6,1	53,86
Baixo	Baixo	-	Alto	Médio	Baixo	Médio	Alto	Médio	-	Médio

TABELA 12 - PARÂMETROS PARA A INTERPRETAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DOS MICRONUTRIENTES EM ANÁLISES DE SOLO

Elemento	Teor	LINDSAY e NORVELL (1978)	COMISSÃO (1994) HCl 0,1N	INSTITUTO AGRONÔMICO IAC (1997) DTPA
Zn	Baixo Médio Alto		< 0,20 0,20 – 0,50 > 0,50	0 – 0,5 0,6 – 1,2 > 1,2
Cu	Baixo Médio Alto		< 0,15 0,20 – 0,40 > 0,40	0 – 0,2 0,3 – 0,8 > 0,8
Fe	Baixo Médio Alto	< 2,5 2,5-4,5 > 4,5		0 – 4 5 – 12 > 12
Mn	Baixo Médio Alto			0 – 1,2 1,3 – 5,0 > 5,0

### 3 VALORES RELATIVOS

A observação de valores relativos dos diversos componentes da análise de solos para fins de fertilidade permite ao profissional uma visão integrada de algumas reações que se processam entre os diversos componentes das três fases do solo.

Três etapas são sugeridas para interpretação dos resultados:

A) Iniciar verificando o pH do solo, teor de alumínio trocável, e logo em seguida teor de carbono orgânico e sua capacidade de troca de cátions

(CTC a pH 7 = T). Com isso se forma uma primeira visão da acidez do solo e de seu "Poder Tampão".

Os solos apresentam uma propriedade de resistência às alterações no pH (poder tampão) devido ao equilíbrio entre as formas de  $H^+$  adsorvido e solúvel. Cada  $H^+$  solúvel neutralizado deslocará um  $H^+$  adsorvido para a solução mantendo-se assim o equilíbrio eletroquímico (PAVAN e MIYAZAWA, 1996).

A toxidez por alumínio poderá ser mais bem avaliada se for considerada a sua saturação (Al%) em relação a CTC efetiva.

$$Al (\%) = m (\%) = Al / (Al+Ca+Mg+K+Na)$$

Para os dados da Tabela 11, tem-se:

$$Al \% = 0,40 / (0,40+2,50+2,80+0,07) = 6,9 \%$$

O "Poder Tampão" geralmente cresce com a elevação dos teores de carbono orgânico, principalmente em solos onde a matéria orgânica é responsável pela manutenção do equilíbrio entre as formas adsorvidas e solúveis de  $H^+$ .

B) Verificar a saturação de bases (V%), a qual se refere à proporção de cátions considerados básicos (Ca+Mg+K+Na) que ocupa a CTC do solo.

$$CTC \text{ a pH } 7 = T = [(H+Al)+Ca+Mg+K+Na]$$

$$V\% = (Ca+Mg+K+Na) \times 100 / T$$

Para os dados da Tabela 10 tem-se:

$$T = [(4,6) + 2,5 + 2,8 + 0,07] = 9,97 \text{ cmol}_e/\text{dm}^3$$

$$V\% = (2,5 + 2,8 + 0,07) \times 100 / 9,97 = 53,86 \%$$

C) Verificar as relações entre os valores de pH x V e pH x m. Existe relação direta entre acidez ativa (pH) e os demais parâmetros que

representam o poder tampão nos solos, bem como uma inversa relação entre os parâmetros relacionados com a saturação de bases do solo (V%).

Embora estas relações possam variar com composição química do solo, tipo e teor de componentes minerais e orgânicos, tem se obtido sucesso em estimar valores de V ou m com base no pH, para uma região. Tais relações podem ser utilizadas na verificação das amostras de solo. Estudos realizados em São Paulo (QUAGGIO, 1981), constataram que a relação pH em  $\text{CaCl}_2$  0,01M e V % pode ser descrita pela seguinte equação:  $\text{pH}(\text{CaCl}_2\ 0,01\text{M}) = 3,66 + 0,0271\ \text{V}\%$  ( $r=0,97^{**}$ )

TABELA 13 - VALORES DE pH ( $\text{CaCl}_2$  0,01M) CALCULADOS A PARTIR DO V%, OBTIDOS PARA SOLOS DE SÃO PAULO (QUAGGIO, 1981)

pH( $\text{CaCl}_2$ 0,01M)	V %	pH( $\text{CaCl}_2$ 0,01M)	V %
3,93	10	5,02	50
4,20	20	5,29	60
4,5	30	5,56	70
4,74	40	5,83	80

D) Verificar as relações entre os cátions básicos ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ), e entre cada um deles e a capacidade de troca de cátions (T). A seguir essas relações são apresentadas, usando os resultados da Tabela 11 como exemplo:

$$\text{Ca/Mg} = 2,5 / 2,8 = 0,89$$

$$\text{Ca /K} = 2,5 / 0,07 = 35,71$$

$$\text{Mg/K} = 2,8 / 0,07 = 40$$

$$\text{K}(\%) = (\text{K} \times 100) / \text{T} = (0,07 \times 100) / 9,97 = 0,7 \%$$

$$\text{Ca}(\%) = (\text{Ca} \times 100) / \text{T} = (2,5 \times 100) / 9,97 = 25 \%$$

$$\text{Mg}(\%) = (\text{Mg} \times 100) / \text{T} = (2,8 \times 100) / 9,97 = 28 \%$$

Muitos estudos, procurando verificar a influência da relação Ca/Mg no crescimento e produção das culturas, têm encontrado resultados

variados mesmo quando a relação está acima ou abaixo dos valores considerados ideais (3/1 a 6/1). Todavia, é importante estar atento a valores extremos, que, em casos específicos, podem vir a afetar o crescimento de plantas exigentes em Ca ou em Mg.

Considerando um solo fértil, com boas condições nutricionais para as culturas, a saturação de cálcio ideal seria de 50 a 70% e magnésio entre 10 a 15%. Esses valores, entretanto, não são metas a serem alcançadas, mas aqueles normalmente encontrados em solos nutricionalmente equilibrados.

#### **4 RELAÇÃO COM OUTRAS INFORMAÇÕES OBTIDAS**

O significado analítico dos resultados de amostras de solos depende da relação destes com o desenvolvimento das plantas. Essa relação não é perfeita, visto que o desenvolvimento das culturas resulta do efeito associado de diversos fatores de produção, além das variáveis ligadas à fertilidade do solo (COMISSÃO-RS/SC, 1994).

Mesmo com o uso de tabelas devidamente calibradas em condições de campo, as recomendações serão adequadas se os profissionais reunirem o máximo de informações possíveis, seja observando resultados de outras análises, ou seja, integrando com as informações colhidas no levantamento de campo.

##### **4.1 RELAÇÃO COM RESULTADOS DE OUTRAS ANÁLISES**

Existem algumas variações ocasionadas por fatores estranhos à análise química que deverão ser levadas em consideração. Assim, por exemplo, as características físicas do solo são citadas como influenciadoras no teor de P-disponível em vários trabalhos desenvolvidos em alguns estados do Brasil (RS, SC e MG).

Segundo NOVAIS e SMYTH (1999), em uma dada cultura, para recomendação de fósforo se exige informações sobre os teores de P-disponível do solo (extrator Mehlich), e de argila (como medida do fator capacidade de P do solo).

Quanto ao teor de argila, para os estados do RS e SC, os solos estão subdivididos em 6 classes de resposta das culturas aos teores de fósforo no solo (Tabela 14).

Da Tabela 14 pode-se inferir que solos com teores de argila maiores que os de textura média (classes 1 e 2) poderão ser considerados com teores médios de fósforo mesmo com valores próximos a 6,0 mg/L. Já para solos classificados como arenosos (classe 4) os teores de fósforo só serão considerados médios se forem superiores a 12 mg/L (COMISSÃO-RS/SC, 1994).

**TABELA 14 – INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DE FÓSFORO “EXTRAÍVEL” DO SOLO (FONTE: COMISSÃO-RS/SC, 1994)**

Faixas de teor de P no solo	Classe de Solo *					
	1	2	3	4	5	6
Limitante	< 1,1	< 1,6	< 2,1	< 3,1	< 4,1	-
Muito baixo	1,1-2,0	1,6-3,0	2,1-4,0	3,1-6,0	4,1-8,0	-
Baixo	2,1-4,0	3,1-6,0	4,1-9,0	6,1-12,0	8,1-16,0	< 3,1
Médio	4,1-6,0	6,1-9,0	9,1-14,0	12,1-18,0	16,1-24,0	3,1-6,0
Suficiente	>6,0	>9,0	>14,0	>18,0	>24,0	>6,0
Alto	>8,0	>12,0	>18,0	>24,0	>30,0	-

\* Classe 1: > 55 % de argila, classe 2: 41 a 55 % de argila, classe 3: 26 a 40 % argila, classe 4: 11 a 25 % de argila, classe 5: 10 % de argila e classe 6: solos alagados.

Ressalta-se que em solos com elevados teores de matéria orgânica pode ocorrer uma super estimativa dos valores de P extraído por Mehlich I, sendo relevante para regiões com abundância de solos de várzea.

Ainda comparando os resultados com outras análises, é importante observar: a relação entre a massa e o volume do solo, estabelecida pelas determinações das densidades (metodologia no Capítulo IX). Esta característica física influencia a interpretação das análises químicas de solos orgânicos, onde o volume de solo correspondente aos 20 cm de 1 ha é muito inferior a 2000000 kg.

#### 4.2 RELAÇÃO COM DADOS COLHIDOS NO CAMPO.

Fatores estranhos às análises podem promover variações nas determinações. Assim, os valores de pH podem ser mais baixos se a amostra for enviada úmida ao laboratório, se ela contém resíduos de adubos aplicados recentemente ou, ainda, se esta foi coletada na época mais seca do ano.

Os resultados de potássio são mais baixos nos casos em que há vegetação no terreno ou quando a coleta foi realizada logo após altas precipitações em solos de boa drenagem. Todavia, algumas coberturas mortas podem conter K em quantidades maiores que as recomendadas para a maioria das culturas.

E o teor de fósforo, extraídos por Mehlich, poderá ser muito elevado nos solos que receberam aplicações recentes de fosfatos naturais, não indicando disponibilidade imediata às plantas.

### 5 OBSERVAÇÕES FINAIS

Mesmo com pH baixo, com a saturação de bases acima de 50%, a aplicação de calcário poderá ser adiada para o ano seguinte, dependendo da cultura a ser implantada, mantendo-se o devido monitoramento. Para o estado do Paraná, as culturas que não necessitariam de calagem seriam as pastagens de gramíneas e a mandioca. Já as culturas de milho, soja, feijão, café, trigo, olerícolas e citros dependem de uma saturação de bases

maior que 50%, ou seja, aplicação de calcário para a maioria dos solos do estado.

A recomendação, baseadas nas tabelas de calibração, enfocará os níveis no solo para as adubações de potássio e fósforo, e as necessidades das plantas para a adubação de nitrogênio (COMISSÃO-RS/SC, 1994).

Completada a interpretação, finaliza-se o diagnóstico de fertilidade da gleba, e faz-se o laudo de recomendação de adubação e calagem (bibliografia sugerida: RAIJ, 1991; COMISSÃO-RS/SC, 1994; PAVAN e MIYAZAWA, 1996; RAIJ, 1997; EMATER-PR, 1998; incluir ainda KONZEN, 1983; IGUE et al., 1984; EPAGRI, 1995; CHEVERRY et al., 1986; IBD,1997).

Importante observar que no caso de propriedades certificadas para “produtos orgânicos” os adubos com uso permitido devem ser incluídos no cálculo da fertilização.

Qualquer que seja a precisão da análise de solo, ela é, em geral limitada pela qualidade da amostra. Como foi visto no capítulo sobre amostragem do solo, os erros serão elevados se forem coletadas poucas amostras simples por amostra composta. Mesmo para uma amostra retirada dentro da técnica aconselhada, com 20 sub-amostras por amostra composta, o erro esperado em torno da média poderá atingir valores superiores a 20% (RAIJ, 1991). Ou seja, resultados de amostragens diferentes, de um mesmo local, podem apresentar variações de 20%.

## REFERÊNCIAS

- BRAGA, J.M. **Avaliação da fertilidade do solo**: análise química, Parte II. Viçosa: UFV, 1980.
- CHEVERRY, C.; MENETRIER, Y.; BORLOY, J.; HEBUIT, M. **Chorume** (Tradução: ARANHA, O.E.). Curitiba: EMATER-PR, 1986. 42 p.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendação de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBCS-Núcleo Regional Sul, 1994.
- EMATER-PR. **Análise de solo**. 5. ed. Curitiba: EMATER-PR, 1998. (Série Informação Técnica, 21).
- EPAGRI – EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. **Conheça a qualidade do esterco de suínos**. Chapecó, 1995. (EPAGRI. Documento, 168).
- IAC – INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, por B. van Raij, H. Cantarella, J.A. Quaggio, A. M. C. Furlani. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, Fundação IAC, 1997.
- IBD-INSTITUTO BIODINÂMICO DE DESENVOLVIMENTO RURAL. **Diretrizes para os padrões de qualidade Biodinâmicos, Deméter e Orgânico**. 7. ed. Botucatu, 1997.
- IGUE, K.; ALCOVER, M.; DESPSCH, R.; PAVAN, M.A.; MELLA, S.C.; MEDEIROS, G.B. **Adubação orgânica**. Londrina: IAPAR, 1984. (IAPAR. Informe de Pesquisa, 59).
- KONZEN, E.A. **Manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPASA, 1983. (EMBRAPA-CNPASA. Circular Técnica, 6).
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, 1999.
- PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química do solo**. Londrina: IAPAR, 1991.
- PAVAN, M.A.; MIYAZAWA, M. **Análises químicas de solo**: parâmetros para interpretação. Londrina: IAPAR, 1996.
- QUAGGIO, J.A. **Critérios para calagem em solos do Estado de São Paulo**. Piracicaba, 1983. 76 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, POTAFOS, 1991.
- TOMÉ JÚNIOR, J.B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997.

# CAPÍTULO VIII

## PRINCÍPIOS DE ADUBAÇÃO

Antônio Carlos Vargas Motta<sup>1</sup>, Beatriz Monte Serrat<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eng. Agr., Ph.D., Professor do DSEA/UFPR, Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050,

Curitiba, PR. E-mail: mottaacv@ufpr.br. <sup>2</sup>Eng. Agr., Doutora, Professora do DSEA/UFPR.

1 INTRODUÇÃO.....	144
2 FUNÇÕES DO SOLO E SISTEMAS AGRÍCOLAS SUSTENTÁVEIS ..	144
3 NUTRIENTES ESSENCIAIS E ADUBAÇÃO .....	145
4 AS LEIS DA FERTILIDADE DO SOLO .....	145
5 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE SOLOS TROPICAIS .....	149
6 PERDAS, ADSORÇÃO, RETENÇÃO E EFEITO RESIDUAL .....	151
7 TIPOS OU DENOMINAÇÕES MAIS COMUNS SOBRE ADUBAÇÃO ..	153
7.1 ADUBAÇÃO CORRETIVA .....	153
7.2 ADUBAÇÃO DE MANUTENÇÃO.....	154
7.3 ADUBAÇÃO EM COVAS OU SULCO DE PLANTIO .....	156
7.4 ADUBAÇÃO PREVENTIVA OU DE SEGURANÇA.....	157
7.5 ADUBAÇÃO FOLIAR.....	157
7.6 ADUBAÇÃO VIA SEMENTE, PARTE VEGETATIVA OU VIVEIRO ..	159
7.7 FERTIRRIGAÇÃO .....	160
7.8 ADUBAÇÃO DE FORMAÇÃO .....	160
8 RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO MINERAL .....	160
8.1 ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO (N) .....	160
8.2. ADUBAÇÃO COM FÓSFORO (P) .....	163
8.3 ADUBAÇÃO COM POTÁSSIO (K).....	164
8.4 ADUBAÇÃO COM CÁLCIO (Ca) E MAGNÉSIO (Mg).....	166
8.5 ADUBAÇÃO COM ENXOFRE (S).....	168
8.6 MICRONUTRIENTES (Zn, B, Mo, Cu, Mn, Fe, Cl, Ni) .....	169
8.7 RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO .....	172
9 ADUBAÇÃO ORGÂNICA VERSUS MINERAL .....	173
10 RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO.....	180
10.1. RECOMENDAÇÃO COM BASE NO N .....	180
10.2 RECOMENDAÇÃO BASEADA NO TEOR DE P E K.....	181
11 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE MANEJO DOS RESÍDUOS DA PRODUÇÃO ANIMAL.....	185
REFERÊNCIAS .....	188

## 1 INTRODUÇÃO

Existem dois caminhos para a melhoria do suprimento de nutrientes às plantas e aumento da produtividade: 1) melhorar as condições do solo para o crescimento das plantas; e/ou 2) adaptá-las às condições dos solos, envolvendo a melhoria de cultivares. Existe a possibilidade de uma combinação entre esses dois caminhos, mas, em geral, a primeira opção é mais utilizada, e assim, recomenda-se calagem e adubação a fim de garantir condições ótimas de solo para o desenvolvimento das plantas.

## 2 FUNÇÕES DO SOLO E SISTEMAS AGRÍCOLAS SUSTENTÁVEIS

Toda produção agrícola atualmente deverá buscar sustentabilidade, isto é, viabilizar o uso das terras agrícolas sem diminuir a qualidade das mesmas, permitindo o uso para as gerações futuras, sem comprometer o meio ambiente. Dentro deste um contexto ambiental as funções do solo têm sido revistas ou reforçadas. LARSON e PIERCE (1991) e WARKENTIN (1995) indicam que o solo pode efetivamente atuar em seis funções críticas: 1) receber, reter, e liberar nutrientes e outros constituintes químicos; 2) receber, reter, e liberar água para planta, rios e lençol freático (partição de água da chuva na superfície dos solos entre escoamento superficial e infiltração); 3) reciclar materiais orgânicos no solo, liberando nutrientes, para posterior síntese de nova matéria orgânica; 4) promover e sustentar o crescimento de raízes; 5) manter o ambiente sustentável para biologia do solo; 6) distribuir energia superficial, a qual é importante em processos globais (partição da energia).

Aqui será dada ênfase às mudanças nas propriedades químicas do solo devido ao uso do adubo e corretivo da acidez para fins de crescimento nas plantas, mas sem perder de vista que tais práticas também contribuem na manutenção da qualidade e do fluxo de água e ar.

### 3 NUTRIENTES ESSENCIAIS E ADUBAÇÃO

Dos elementos químicos que a planta absorve, 17 são essenciais, isto é, a ausência completa de um ou mais destes elementos interfere no desenvolvimento da planta, que nesta condição não completa o seu ciclo. Entre os constituintes das plantas, três elementos químicos destacam-se pela abundância: carbono (C), oxigênio (O), e hidrogênio (H), sendo esses responsáveis por aproximadamente cerca de 94% do peso seco total das plantas.

Os demais nutrientes constituintes da planta (próximo a 6%) são: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), boro (B), cloro (Cl) e molibdênio (Mo). Mas não há uma equivalência quanto à concentração destes nutrientes na planta. Aqueles mais abundantes N, P, K, Ca, Mg e S, são chamados de macronutrientes, e são geralmente aplicados na forma de adubos e calcários, enquanto os demais são chamados de micronutrientes (Tabela 01).

### 4 AS LEIS DA FERTILIDADE DO SOLO

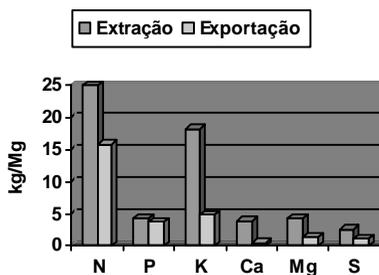
Antes de aplicarmos fertilizantes teremos que pensar em alguns conceitos básicos que envolvem as chamadas leis da fertilidade do solo. Tais conceitos ajudam a esclarecer os cuidados necessários durante o processo de adubação.

TABELA 01 - FAIXA DE CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NORMALMENTE ENCONTRADAS EM PLANTAS.

N	P	K	Ca	Mg	S		
g/kg							
20-30	2-3	15-30	2,5-8	1,-4	1.5-2.5		
Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	B	Mo	Cl
mg/kg							
50-250	25-100	15-30	5-20	0.1-0.3	15-40	0.1-2.5	100-500

A primeira lei é chamada de “lei da restituição”, indica que os nutrientes que saem através da contínua retirada pela planta ou parte dela (grãos, por exemplo), devem ser repostos afim de não empobrecer o solo. Embora seja muito simples e fácil de entender, muitas das pessoas que trabalham na terra, esquecem este ensinamento e aplicam menos ou mais do que foi retirado pelas culturas. Por exemplo: um produtor não poderá utilizar quantidades iguais de adubação utilizada para cultura do milho que visa a produção de grãos, quando esta visar a produção de silagem (Figura 01). Pois, o milho para silagem, no qual a planta toda é aproveitada (equivalente a extração da planta), retira mais nutrientes que o cultivo para exclusivo aproveitamento dos grãos (equivalente à exportação na Figura 01), expondo-se o solo sob silagem a rápido esgotamento se as adubações forem iguais (Tabela 02).

FIGURA 01 - EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO MACRONUTRIENTES PELA CULTURA DO MILHO POR TONELADA DE MATÉRIA SECA PRODUZIDA. FONTE: PAULETTI (2004).



Por um outro lado, em muitos casos o produtor aplica muito mais nutrientes em relação às quantidades retiradas pelas culturas, propiciando acúmulo ou grande perda por lavagem de um ou mais nutrientes, como é caso de hortas ou propriedades pequenas com um grande número de

animais, havendo um excesso de esterco e conseqüentemente de nutrientes (Tabela 03). Outro caso é aplicação elevada de apenas de alguns nutrientes em relação aos outros. Isto é comum para o P, pois o produtor inicia aplicando doses elevadas nos solos da Região Sul, em geral muito carentes nesse elemento. Porém, com o passar dos anos, por ser o P um elemento pouco perdido por lavagem, ocorre a elevação do teor desse nutriente no solo (Tabela 04). Assim, o produtor acostumado com um determinado adubo formulado, prossegue com a sua desnecessária aplicação.

TABELA 02 - EFEITO DO CULTIVO E DA ADUBAÇÃO MINERAL (100 % DOSE RECOMENDADA) E ORGÂNICA (90 m<sup>3</sup> DE ESTERCO DE GADO DE LEITE) NO TEOR DE K E ELETROCONDUTIVIDADE APÓS SEIS ANOS DE USO, CASTRO - PARANÁ. FONTE: BARCELOS E SILVA (2005)

Prof. (cm)	Sem adubação				Com adubação			
	K (cmol <sub>c</sub> /L)		EC (mS/cm)		K (cmol <sub>c</sub> /L)		EC (mS/cm)	
	silagem	grãos	silagem	grãos	silagem	grãos	silagem	grãos
0-5	0,15	0,38	95	122	0,36	0,74	130	203
5-10	0,06	0,24	57	77	0,21	0,67	92	120
10-30	0,05	0,16	55	62	0,15	0,60	75	105
30-50	0,05	0,14	44	70	0,08	0,51	68	87
50-80	0,02	0,14	45	53	0,04	0,27	61	84

A segunda lei é “lei do mínimo”, onde a produtividade é limitada pelo elemento que estiver em menor proporção em relação às suas necessidades. Isto quer dizer que, caso o B esteja em nível muito baixo, em um determinado solo, este limitará a produtividade. Mesmo que sejam aplicadas doses elevadas de outros nutrientes, a planta não apresentará aumento de produção.

TABELA 03 - ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO, NA CAMADA DE 0-20 cm DE PROFUNDIDADE, EM ÁREA DE MATA E PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS NO MUNICÍPIO DE COLOMBO, PR. FONTE: PROJETO SOLO PLANTA (DADOS NÃO PUBLICADOS).

Solo	pH CaCl <sub>2</sub>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	V	P	C
		cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>				%	mg/dm <sup>3</sup>	g/dm <sup>3</sup>
Gleba 1	7,20	0,0	15,75	4.44	1,64	100	237	29,9
Gleba 2	7,10	0,0	12,15	3.95	2,16	100	192	38,9
Gleba 3	6,50	0,0	15,90	4.60	1,54	90	223	37,7
Mata	4,10	4,5	2,45	2.45	0,17	23	1,6	43,8

TABELA 04 - ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO, NA CAMADA DE 0-30 cm DE PROFUNDIDADE, EM ÁREA DE BATATA, NO MUNICÍPIO DE CONTENDA, PR. FONTE: RACHWAL (1992).

Solo	pH CaCl <sub>2</sub>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	V	P	C	Argila
		cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>				%	mg/dm <sup>3</sup>	g/dm <sup>3</sup>	g/kg
Cse*	4,37	0,7	2,17	1,10	0,21	46	42	9,3	380
Cme	4,27	0,8	2,43	1,13	0,29	45	57	11,8	410
Lle	4,33	0,9	1,63	1,03	0,21	21	55	26,9	470
Lne	4,47	0,8	1,70	1,10	0,25	23	39	21,7	410

\*Cse - Cambissolo severamente erodido; Cme - Cambissolo mediamente erodido, Lle - Latossolo levemente erodido, Lne - Latossolo não erodido.

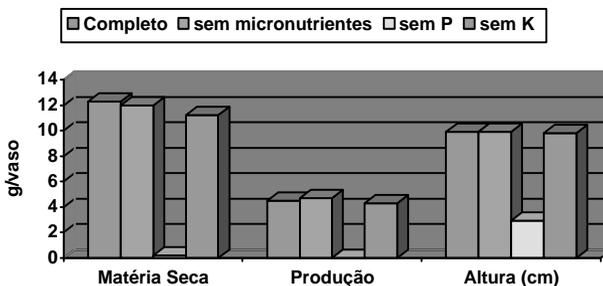
Logo, é importante que seja identificada a existência de carências ou de excessos nutricionais nas culturas antes da adubação, afim de que se aplique a dose adequada dos nutrientes (Figura 02).

A terceira lei, conhecida como "lei dos acréscimos não proporcionais", indica que a aplicação de um determinado nutriente para uma determinada cultura, implicará em acréscimos de produtividade cada vez menores até o ponto de estabilização. A partir da estabilização da produtividade poderá haver perda dos nutrientes aplicados, ou ainda provocar desbalanço nutricional com redução na produtividade e/ou aumento da incidência de pragas e doenças.

Logo, culturas que não recebam fertilizantes com freqüência poderão ter grandes acréscimos na produtividade com uma aplicação de pequena dose, enquanto culturas que recebam doses elevadas de adubo

repetidamente, poderão apresentar, na mesma situação, apenas um pequeno ou nenhum acréscimo de produtividade.

FIGURA 02 - DIAGNOSE POR SUBTRAÇÃO (COMPLETO, COMPLETO SEM MICRONUTRIENTES, SEM P, E SEM K) NO CRESCIMENTO DO TRIGO CULTIVADO EM VASO EM UM CAMBISSOLO ÁLICO, CURITIBA, PR. FONTE: KUDLA et al. (1996).



## 5 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE SOLOS TROPICAIS

Para facilitar a compreensão sobre adubação em solos de regiões tropicais, é importante destacar algumas características dos solos destas regiões. Os solos das regiões tropicais são, em geral, reconhecidamente pobres e ácidos, em consequência do intensivo processo de intemperização que ocorrem nestas regiões. Assim, com exceção dos solos novos, pouco intemperizados, formados de material ricos em nutrientes, na grande maioria dos solos não se pode esperar um alto grau de fertilidade natural (Tabela 05).

Como consequência do elevado intemperismo tem-se a formação de argila com baixa atividade, isto é, baixa capacidade de troca de cátions (CTC), baixa capacidade de expansão e baixa capacidade de contração quando do umedecimento e secagem do solo, respectivamente. Assim, os solos dos trópicos têm, em geral, baixa capacidade de retenção de cátions,

o que pode implicar em grande perda destes elementos quando aplicados em elevada quantidade. Tal fato é especialmente importante para solos arenosos com argila de baixa atividade.

TABELA 05 - EFEITO DO INTEMPERISMO SOBRE A CTC EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA EM SOLO ORIGINADOS DO BASALTO, PR. FONTE: LIMA et al. (1985).

Solo	pH H <sub>2</sub> O	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	t*	CTC**	V	C
		cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>						%	g/dm <sup>3</sup>
Litolico Ap	5,5	0,0	16,8	5,7	0,29	22,79	29,5	77	24
Litolico C	5,0	0,0	15,4	5,7	0,30	21,40	26,4	81	18
Cambissolo A <sub>1</sub>	5,4	0,1	16,4	4,2	0,16	20,86	30,8	68	38
Cambissolo B <sub>i</sub>	6,2	0,0	14,6	6,1	0,13	20,83	26,4	80	17
Brunizem A <sub>1</sub>	7,1	0,0	5,5	5,5	1,00	12,00	29,9	96	31
Brunizem B <sub>1</sub>	7,2	0,0	5,3	5,3	0,86	11,46	24,9	94	9
Latossolo A <sub>1</sub>	4,3	5,3	1,2	0,2	0,03	6,73	23,6	7	44
Latossolo A <sub>3</sub>	4,9	3,8	1,2	0,2	0,20	5,40	13,3	5	21
Latossolo B <sub>1</sub>	4,9	3,2	0,1	0,1	0,02	3,42	11,1	5	13
Latossolo B <sub>21</sub>	5,4	1,1	0,08	0,02	0,03	1,23	5,4	4	6
Latossolo B <sub>22</sub>	5,5	0,7	0,08	0,02	0,02	0,82	5,1	2	5

\*t = CTC efetiva; \*\*CTC = CTC a pH 7,0.

Embora, a maioria dos solos brasileiros seja de elevado grau de intemperismo, comparativamente aos solos de regiões temperadas, existem grandes diferenças regionais, principalmente as áreas da Região Sul e região do Cerrado (Tabela 06).

Também é importante destacar que, embora predomine nestes solos cargas negativas (CTC), na grande maioria dos solos mais intemperizados, ocorre alta capacidade de troca de ânions (CTA), comparativamente com os solos pouco intemperizados. Tal fato é importante para os processos de perda de ânions, tais como nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), cloretos (Cl<sup>-</sup>) e sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>).

Outro fato importante a ser ressaltado é a alta capacidade dos solos intemperizados em adsorver certos ânions muito fortemente (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>-</sup> e MoO<sub>4</sub><sup>-</sup>), o que é conhecido como adsorção específica ou fixação que ocorre nos óxidos e argilas de baixa atividade.

TABELA 06 - FERTILIDADE DO SOLO E CTC EM SOLO ALTAMENTE INTEMPERIZADO DO CERRADO. FONTE: EMBRAPA (1983).

Horiz.	Prof.	pH H <sub>2</sub> O	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2</sup>	K <sup>+</sup>	CTC	C	argila
	cm									
<b>Latossolo Vermelho-Escuro distrófico - Formosa- GO</b>										
A 1	0-20	5.2	0.5	7.6	0.2	0.07	8.4	21.9	720	
A 3	20-35	5.3	0.3	6.5	0.1	0.04	7.0	18.3	780	
B1	35-65	5.4	0.1	5.2	0.1	0.04	5.5	14.0	770	
B21	65-100	5.5	0.0	4.4	0.1	0.01	4.5	10.5	770	
<b>Latossolo Vermelho-Escuro distrófico - Pires do Rio - GO</b>										
A 1	0-40	5.2	0.4	4.7	0.7	0.05	5.9	15.7	600	
B 1	40-75	5.0	0.0	1.9	0.1	0.02	2.0	7.0	640	
B 21	75-155	5.0	0.0	1.2	0.2	0.02	1.4	4.8	630	
B 22	155-220	5.1	0.0	0.9	0.3	0.02	1.2	3.3	650	
<b>Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico - Formosa - GO</b>										
A 1	0-15	4,9	0,4	6,1	0,3	0,05	7,0	18,2	780	
B 1	15-30	4,9	0,3	5,6	0,2	0,04	6,2	17,1	820	
B 21	30-52	5,3	0,2	4,2	0,2	0,02	4,6	12,3	840	
B 22	52-85	5,5	0,0	3,6	0,2	0,03	3,9	0,96	830	

## 6 PERDAS, ADSORÇÃO, RETENÇÃO E EFEITO RESIDUAL

Simplificadamente pode-se dizer que os nutrientes adicionados ao solo podem seguir cinco caminhos, quais sejam: 1) Ficar em grande parte na solução do solo de forma que possa rapidamente ser absorvido pelas plantas ou ser lixiviado, em face de muito fraca adsorção em que é submetido; 2) ser retido fracamente nos pontos de troca e manter o equilíbrio com solução do solo; 3) ser retido fortemente na superfície das argilas ou formas de compostos inorgânicos de baixa solubilidade mantendo valores muito baixos em solução; 4) ser retido fortemente na superfície na matéria orgânica ou formas de compostos orgânicos de baixa solubilidade; 5) formar compostos voláteis e ser perdido por volatilização.

O processo de perda por lixiviação passa a ser importante quando os elementos químicos, na forma de átomo ou molécula, ficam em grande proporção na solução do solo, podendo então mover juntamente com água, para as camadas inferiores do solo chegando, em alguns casos, até uma profundidade fora do alcance das raízes das plantas. O cloreto (Cl<sup>-</sup>),

nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) e boratos ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) podem lixiviar no solo com relativa rapidez, gerando grandes perdas em solos arenosos e submetidos a chuvas intensas.

No sentido oposto, alguns elementos são retidos muito fortemente, ou formam compostos de muito baixa solubilidade, ficando então pouco disponíveis para as plantas, como é o caso do P ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), Mo ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ), Fe, Mn, Cu, Zn e Ni. Ao contrário dos elementos móveis, pode ocorrer apreciável acúmulo destes elementos quando aplicados na superfície, sendo este fato freqüentemente observado em áreas de plantio direto, culturas perenes e pastagens, face ao não revolvimento do solo.

O Cu, Zn e Ni em geral são adsorvidos fortemente nas frações orgânicas e minerais do solo, e P e Mo na fração mineral, ficando de imediato pouco disponíveis para as culturas. Contudo, a queda nos teores destes elementos em solução, devido à extração sucessiva dos nutrientes pela planta, faz com que uma grande parte volte para a solução, podendo esta retenção ser também uma reserva a médio e longo prazo. Tal fato é chamado efeito residual e eficiência imediata e de longo prazo.

Alguns nutrientes como N, S e P, que fazem parte da estrutura matéria orgânica humificada ou de compostos orgânicos, podem passar para frações orgânicas quando aplicado na forma de adubo, transformando-se em compostos com baixa liberação imediata.

Perdas por volatilização são comuns para N na forma de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) que pode, dependendo do pH, se transformar em  $\text{NH}_3$  (volátil). Assim, a volatilização poderá ocorrer na superfície de solos com elevado pH, com baixa umidade e alta temperatura, após a aplicação de adubos nitrogenados minerais ou orgânicos (na forma amoniacal ou amídica-uréia).

## 7 TIPOS OU DENOMINAÇÕES MAIS COMUNS SOBRE ADUBAÇÃO

Diversas denominações são utilizadas para a caracterização dos tipos de adubação a serem utilizadas no manejo de diversas culturas. Observe que a aplicação de um determinado elemento poderá estar classificada em um ou mais tipos de adubação.

### 7.1 ADUBAÇÃO CORRETIVA

A adubação corretiva visa corrigir a carência de nutrientes no solo, através de uma dose elevada de um ou mais elementos, passando-os de carente para o nível médio ou suficiente. Como o objetivo é elevar o nível do nutriente em todo solo, deverá ser aplicado em área total e incorporado na camada arável.

Fosfatagem é termo utilizado para adubação corretiva de P, freqüentemente recomendada antes implantação de frutas perenes de alto valor comercial, uma vez que o solo não poderá mais ser revolvido sem comprometer as raízes, após plantio. O termo utilizado na adubação corretiva, neste caso, é adubação pré-plantio nos estados do RS e SC (Tabela 07).

TABELA 07 - RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO CORRETIVA (FOSFATAGEM OU ADUBAÇÃO PRÉ-PLANTIO) RECOMENDADA PARA FRUTEIRAS NO RS E SC. FONTE: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC (1994).

Cultura	Teor de P no Solo					
	Limitante	Muito baixo	Baixo	Médio	Suficiente	Alto
	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha					
Maça e Pereira	320	260	200	140	80	0
Caquiizeiro	120	90	60	30	0	0
Ameixa e Pessequeiro	120	90	60	30	0	0

A adubação corretiva tem sido ainda recomendada para a região do Cerrado, onde o teor da maioria dos nutrientes é muito baixo, e há a necessidade de rápido aumento da produtividade (Tabela 08).

TABELA 08 - RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO CORRETIVA E CORRETIVA GRADUAL RECOMENDADA PARA O CERRADO. FONTE: SOUSA E LOBATO (2003).

Teor de Argila %	P Mehlich I (mg/dm <sup>3</sup> )	----- Corretiva -----		P Mehlich I (mg/dm <sup>3</sup> )	----- Corretiva -----	
		total	gradual		total	gradual
		----- kg/ha -----			----- kg/ha -----	
61-80	< 1	240	100	1,1-2,0	120	90
41-60	< 3	180	90	3,1-6,0	90	80
21-40	< 5	120	80	5,1-10,0	60	70
< 20	< 6	100	70	6,1-12,0	50	60

Sistema Agrícola	Variável	Disponibilidade de P no solo		
		Muito baixa	Baixa	Médio
Sequeiro	Teor de argila	4x % argila	2 x % argila	1,0 x % argila
Irrigado		6 x % argila	3 x % argila	1,5 x % argila

O princípio básico da adubação corretiva é efeito residual, assim só deve ser aplicado aos elementos que apresentem elevado efeito residual como: P, Zn, Cu e Mo. O efeito residual depende do elemento, mas também da dose utilizada, sendo que maiores doses propiciam maior efeito residual. Embora o Ca e o Mg sejam elementos muito mais móveis que os mostrados anteriormente, estes são muitas vezes aplicados em dose centenas de vezes mais elevadas que a quantidade extraída pelas plantas, permanecendo por vários anos no solo. Logo, a calagem ou a gessagem podem ser consideradas como adubação corretiva.

## 7.2 ADUBAÇÃO DE MANUTENÇÃO

Ao contrário da adubação corretiva, a adubação de manutenção visa manter o nível do elemento no solo, quando o mesmo atinge patamares considerados ideais. Assim, procura-se repor a quantidade extraída pela cultura, através dos grãos, frutos ou da retirada de outras partes da plantas. Logo, diversos manuais de recomendação de adubação apresentam valores de reposição (R) e utilizam a produtividade esperada ou expectativa de produção quando recomendam as doses de adubo a

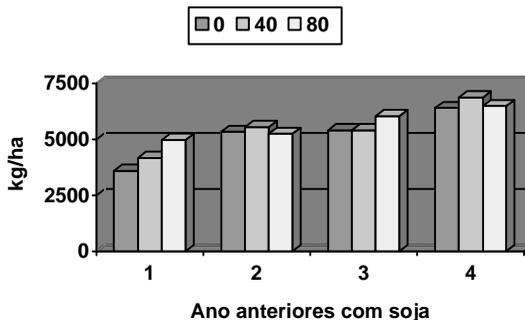
serem utilizadas. A adubação de manutenção em culturas perenes é chamada em alguns casos de adubação de produção.

Particularmente a adubação de culturas perenes, em geral, é parcelada para garantir o suprimento adequado de cada elemento, atendendo as necessidades das plantas nas suas diversas fases, bem como para diminuir eventuais perdas quando os adubos forem aplicados em elevadas doses. A cultura do pêssego, por exemplo, recebe adubo nitrogenado no mínimo em três parcelas, na brotação (aproximadamente 30%), no raleio (aproximadamente 30%) e após a colheita (aproximadamente 40%).

Em certos casos a adubação de manutenção em lavouras anuais vem sendo feita com base não apenas em uma cultura, mas no conjunto de culturas utilizadas. Por exemplo: em uma rotação trigo-soja, aduba-se a cultura do trigo em dose elevada, afim de não se adubar a soja cultivada a seguir, a qual tem a possibilidade de recuperar muito dos nutrientes aplicados para o trigo.

No sentido de repor os nutrientes retirados pela cultura deve-se prever ainda que diversos microorganismos tem capacidade de fixar biologicamente o N do ar, tornando-o disponível às plantas (fixação biológica do nitrogênio - FBN). Logo, culturas como soja, amendoim, alfafa, trevo, tremoço, ervilhaca e outras, não necessitam de fonte externa de N, devido ao alto potencial de aproveitamento do N fixado biologicamente, sendo possível o aproveitamento pela próxima cultura deste N deixado sobre o solo pelos restos da cultura como soja (folhas, ramos, galhos e raízes) (Figura 03).

FIGURA 03 - EFEITO DO CULTIVO DA SOJA SOBRE RESPOSTA A N (0, 40 e 80 kg N/ha COMO SULFATO DE AMÔNIO) EM COBERTURA, NA CULTURA DO MILHO. FONTE: MASCARENHAS et al. (1983).



### 7.3 ADUBAÇÃO EM COVAS OU SULCO DE PLANTIO

Em muitas culturas perenes o uso de adubo na cova vem sendo recomendado, com finalidade de suprir as plantas, no estágio inicial de crescimento, e também criar reservas, visando curto e médio prazos. O uso de P, Zn e B na cova de culturas perenes vem sendo recomendado. O uso de esterco de frango na cova ou sulco de plantio também pode ser considerado como fonte de micronutrientes na cova. Tem-se recomendado também o uso de Mo na cova de plantio de culturas como couve flor.

Adubação em cova deve ser vista com muita restrição, pois esta representa pequeno volume de solo, não garantindo, no longo prazo, as altas produtividades de algumas culturas. Infelizmente, muitos produtores ao aplicarem doses elevadas em sulco ou cova, acreditam que o problema tenha sido resolvido e esquecem do volume maior do solo, que não foi corrigido.

#### 7.4 ADUBAÇÃO PREVENTIVA OU DE SEGURANÇA

A adubação de segurança ou preventiva é caracterizada por sanar eventuais deficiências nutricionais, sem que se tenha a certeza da necessidade da planta, pois em muitos casos não se tem uma análise de solo disponível para todos os elementos.

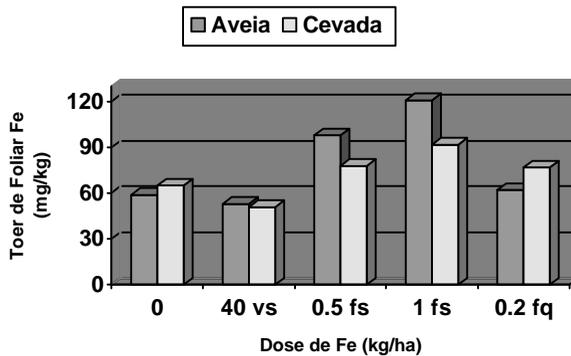
Em geral, a adubação preventiva é baseada em observações de deficiências de alguns nutrientes em uma determinada região, ou em respostas positivas encontradas no crescimento e/ou produção. Como, por exemplo, a recomendação: de Zn para região do Cerrado, onde é comum a sua carência nos solos desta região; de B para plantas sabidamente exigentes nesse nutriente como a alfafa e brássicas; de S para o cultivo de leguminosas em consórcio com gramíneas em pastagem; de Mo e Co (elemento útil) para adubação preventiva ou de segurança em leguminosas, via semente, a fim de beneficiar a fixação biológica de N.

#### 7.5 ADUBAÇÃO FOLIAR

A adubação foliar tem como base a capacidade das folhas, ramos novos, frutos e outras partes da planta em absorver nutrientes. Assim, soluções com nutrientes são aplicadas sobre a maior área possível do tecido vegetal, sendo recomendado, em alguns casos, o uso de espalhantes e adesivos.

O nutriente aplicado diretamente na folha evita reações com os componentes do solo, e apresenta menor tempo de absorção, de distribuição na planta, e de movimentação até raízes. Isto torna adubação foliar mais rápida e eficiente quando comparada com aplicação no solo, sendo recomendada para a correção de sintomas na planta, sendo nesses casos considerada como de caráter emergencial ou curativo (Figura 04).

FIGURA 04 - TEOR DE FE FOLIAR INFLUENCIADO PELA APLICAÇÃO DE Fe VIA SOLO (40 kg/ha) E FOLHA (0,5 e 1 kg/ha NA FORMA DE SULFATO E 0,2 kg/ha NA FORMA DE QUELATO). FONTE: GUPTA (1991).



A adubação foliar é mais útil para micronutrientes do que para macronutrientes, possibilitando em alguns casos o suprimento integral.

Além disso, a adubação foliar pode atingir partes específicas da planta como flor e fruto, e corrigir deficiências nutricionais de elementos pouco móveis. A aplicação de B, recomendada durante florescimento e frutificação, pode aumentar a produção de frutas (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC, 1994). Nas culturas do tomate, maçã, morango e outras, a aplicação de Ca poderá solucionar problemas de carência no fruto, diminuindo podridões fisiológicas e aumentando a resistência ao armazenamento.

Problemas de fitotoxicidade poderão ocorrer em aplicações foliares de soluções com concentração elevada ou quando ocorrer escorrimento, acúmulo e secagem do produto na borda das folhas, provocando queima do tecido (por plasmólise irreversível).

Os adubos foliares podem ser produzidos a partir de fontes minerais (cloretos, sulfatos, ácidos solúveis) ou compostos orgânicos sintéticos ou naturais. Os ácidos orgânicos sintéticos (EDTA, DTPA) de pequeno peso molecular formam quelatos ou produtos quelados com Fe, Mn, Cu, Zn, Ca, Mg e Ni, os quais, embora tenham alto custo, são em geral produtos eficientes.

A agricultura orgânica tem preconizado o uso de adubos minerais maturados com esterco e resíduo vegetal (bio-fertilizantes), irrigando-os sobre as plantas, podendo de certo modo apresentar atuação também como adubo foliar.

#### 7.6 ADUBAÇÃO VIA SEMENTE, PARTE VEGETATIVA OU VIVEIRO

A dificuldade da distribuição homogênea de alguns micronutrientes como Mo (30 g de molibdato de amônio/ha) poderá ser reduzida com a adição do elemento na semente durante a mistura com o inoculante, facilitando a distribuição uniforme no solo. Isso tem reflexos sobre a eficiência de uso dos micronutrientes pelos microorganismos fixadores de N. Contudo, não é possível misturar alguns micronutrientes com a semente, como o B, visto que o mesmo poderá causar toxidez às raízes da plântula.

A imersão das raízes de plântulas de arroz antes do processo de transplante em suspensão com Zn (ZnO 1 a 4%), ou mergulho da semente em suspensão a 2 % de ZnO foram efetivos na correção de deficiência de Zn (DeDATTÀ , 1978). Imersão de batata semente em solução de ZnO a 2% também tem sido indicada para corrigir possíveis deficiência de Zn (TISDALE et al., 1985). Ainda, aplicação de 3 g de  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4/\text{m}^2$  na sementeira de brássicas (brócolis, couve-flor e repolho) tem sido recomendada para evitar carência nutricional (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC, 1994).

## 7.7 FERTIRRIGAÇÃO

A fertirrigação prevê a aplicação de nutrientes em formas hidrossolúveis diluídas com a água usada na irrigação da planta, podendo dividir-se em doses, aplicadas durante o ciclo da cultura. Normalmente, os sistemas de fertirrigação são caros e sofisticados. Contudo, o uso de fertirrigação em pequena escala, como no cultivo do morango irrigado, poderá ser utilizada com sucesso em áreas de 2000 a 4000 m<sup>2</sup>.

## 7.8 ADUBAÇÃO DE FORMAÇÃO

Formação é a fase que envolve desde plantio até o início da produção de culturas perenes. Nessa fase aplica-se pequena dose de nutrientes com finalidade de suprir a necessidade de crescimento para a formação da planta.

O suprimento de nitrogênio na fase de formação é de grande valia para o crescimento dos ramos, sendo o fertilizante geralmente aplicado na projeção da copa.

## 8 RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO MINERAL

### 8.1 ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO (N)

Antes de discutir sobre adubação nitrogenada deve-se recordar os seguintes termos: a) Mineralização – passagem do N orgânico para mineral, disponibilizando-o às culturas; b) Imobilização – passagem do N mineral para orgânico de tecido microbiano ou matéria orgânica, diminuindo sua disponibilidade imediata; c) Relação C/N – relação que predispõe o predomínio de imobilização ou mineralização, relações maiores que 35/1 indicam predomínio da imobilização e vice-versa. Assim, uso de matéria orgânica ou adição de palha com alta relação C/N podem gerar decréscimo de N disponível às plantas na fase inicial de decomposição do produto orgânico; d) Volatilização – o N pode estar no

solo na forma de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e transforma-se em amônia ( $\text{NH}_3$  – forma gasosa), podendo perder-se para atmosfera.

A adubação de N é geralmente realizada sem a análise das quantidades de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) existentes no solo que estarão disponíveis às culturas. Tal fato deve-se às dificuldades de sua calibração, pois esse nutriente apresenta grande variação temporal, devido à lixiviação, imobilização e volatilização das formas inorgânicas adicionadas ao solo. Contudo, a análise de N inorgânico do solo, de amostras coletadas na linha de plantio durante a fase inicial de crescimento do milho, por exemplo, tem auxiliado na recomendação de adubação, sendo necessária rapidez na obtenção dos valores em laboratório de análise química do solo.

Relação inversa entre teor de matéria orgânica e resposta a adubação de N, tem sido observada. Isso porque cerca de 95% do N do solo está na matéria orgânica, a qual em geral tem relação C/N variando entre 10/1 a 12/1. Parte dela poderá ser decomposta, liberando N mineral às plantas.

Todavia, um alto teor de matéria orgânica não indica necessariamente suprimento integral da necessidade da planta, pois há a necessidade de haver condições adequadas para a decomposição, e conseqüente liberação do N. Outro fator importante a ser considerado é a profundidade do horizonte enriquecido pela matéria orgânica, visto que existem, no Sul do Brasil, solos como Latossolo Bruno, com elevado teor matéria orgânica até 45 ou mesmo 60 cm, o que certamente será muito diferente de um Latossolo com apenas 25 a 30 cm de horizonte enriquecido. É provável que sob condições ideais ocorra maior suprimento de N nos solos mais profundos, devido ao maior volume explorado pelas raízes.

O plantio de leguminosa de inverno, com a finalidade de servir como cobertura morta, poderá, em muitos casos, suprir quantidade suficiente de N para cultura subsequente, suprimindo a necessidade do uso de N via adubação. Ao contrário, o uso de gramíneas com relação C/N alta pode resultar em imobilização temporária, havendo a necessidade de aumento da dose de N no plantio, fato este comum em áreas de plantio direto. Todavia, a aplicação de N em gramíneas utilizadas como cobertura de inverno ou pastejo pode gerar certo efeito residual (AMADO et al., 2003; ASSMANN, 2001) (Tabela 09).

TABELA 09 - RENDIMENTO DO MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES DE N APLICADAS NO VERÃO E NO INVERNO, GUARAPUAVA – PR. FONTE: ASSMANN (2001)

N kg/ha aveia no inverno	N (kg/ha) aplicado ao milho				
	0	60	120	180	240
	-----Rendimento do milho (t/ha) -----				
0	6,02	7,08	8,96	9,76	10,62
100	8,39	9,12	9,56	9,83	9,70
200	8,71	9,07	9,49	10,06	9,76
300	10,17	9,65	10,30	10,32	10,24

Embora a fixação biológica de nitrogênio (FBN) seja mais conhecida em leguminosas, essa também poderá ocorrer de maneira significativa, de diferente maneira, nas gramíneas, especialmente em cana-de-açúcar, capim elefante e algumas pastagens. No caso da cana-de-açúcar a primeira adubação após o plantio tem sido suprimida em vários solos, tão alta é quantidade de N suprida pela FBN.

A produtividade esperada ou expectativa de produção tem sido utilizada no estabelecimento da dose a ser aplicada de N às culturas, face à exigência da cultura e à exportação com grãos.

O clima, principalmente temperatura e umidade do solo, também pode influir na dose de ser utilizada na adubação nitrogenada, pois interfere na atividade microbiana e na decomposição e liberação de N para

as plantas. Do mesmo modo que o clima, a calagem também pode interferir, pois solos adequadamente corrigidos podem apresentar elevada atividade microbiana, possibilitando a mineralização do N.

Adubação nitrogenada em geral é parcelada em uma pequena dose aplicada na implantação da cultura, na linha plantio, e o restante em cobertura, em período que antecede o máximo do seu crescimento. Assim, possibilita-se o melhor aproveitamento pela cultura e evita-se a lixiviação do nitrato.

Adubação em agricultura orgânica tem utilizado esterco, adubo orgânico compostado, e leguminosas no suprimento de N. Neste caso deve-se considerar que parte do N contido nesses materiais encontra-se na forma orgânica, e deve, portanto ser decomposta para liberação de N disponível.

## 8.2. ADUBAÇÃO COM FÓSFORO (P)

Adubação fosfatada tem como base os teores determinados na análise química do solo. No caso do extrator ácido de Mehlich-1, muito utilizado no Sul do Brasil, deve-se utilizar a textura como parâmetro auxiliar na interpretação dos teores.

A adubação de P, segundo COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC (1994), considera a existência de efeito residual, recomendando maiores doses de P no primeiro cultivo, com redução gradativa para os cultivos seguintes, sendo indicado em alguns casos apenas valores de reposição das quantidades exportadas pelas culturas.

No caso do plantio de trigo antes da soja, tem sido indicada a antecipação da adubação fosfatada, aplicando-se uma dose elevada de P para a cultura do trigo, uma vez que a soja apresenta alta capacidade de aproveitamento do P residual da cultura anterior (Tabela 10).

TABELA 10 - EFEITO DA ADUBAÇÃO APLICADO AO TRIGO SOBRE A PRODUÇÃO ACUMULADA DO TRIGO (11 ANOS) E SOJA (12 ANOS), CAMPO MOURÃO – PR. FONTE: COSTA E SIMIONATO (2002).

Época e dose de adubação					Culturas	
Plantio			Cobertura		Trigo	Soja
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	N	N total		
kg/ha					t/ha	
0	0	0	0	0	13,9	31,1
0	0	40	0	40	15,6	31,8
0	0	0	40	40	15,8	32,4
41	41	8	0	8	21,7	36,3
41	41	48	0	48	24,5	37,3
41	41	8	40	48	24,1	35,7
62	62	12	0	12	23,2	37,8
83	83	16	0	16	24,4	38,5

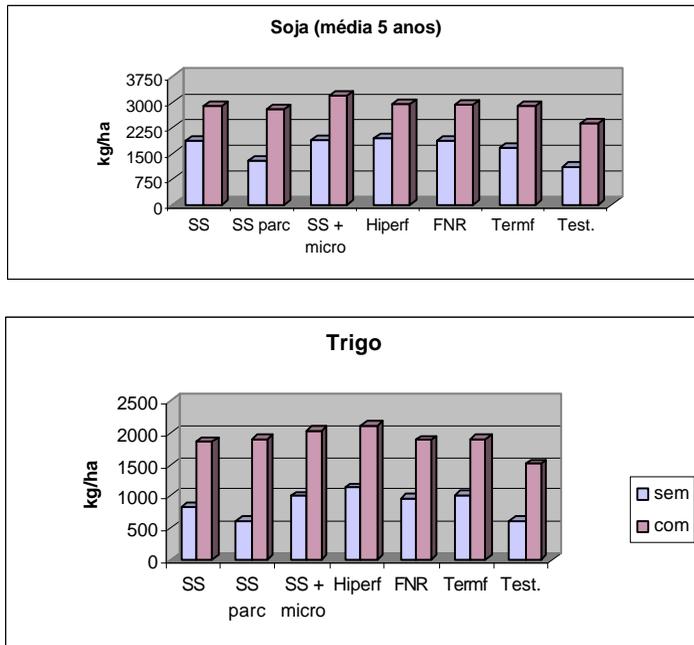
Adubação fosfatada em culturas perenes é feita em doses elevadas antes da implantação, aplicada ou em área total e incorporada (adubação corretiva ou fosfatagem) ou em cova, diminuindo em muito a necessidade de P nos primeiros anos após implantação.

A adubação em agricultura orgânica tem utilizado fosfatos naturais e esterco no suprimento de P às plantas. Existem alguns fosfatos naturais (origem sedimentar) de alta reatividade (fosforitas – provenientes de países do norte da África e Oriente Médio) que, sem nenhum ataque ácido, apresentam desempenho muito próximo ao fosfato utilizado na agricultura convencional (Figura 05).

### 8.3 ADUBAÇÃO COM POTÁSSIO (K)

Assim como a adubação fosfatada, a adubação com K tem sido recomendada a partir dos teores do solo ou percentagem de saturação de K nos pontos de troca. Para culturas muito exigentes, como milho para silagem, as quantidades de K exportadas têm sido também utilizadas como parâmetro de recomendação.

FIGURA 05 - EFEITO DA CALAGEM (SEM E COM) E FONTES DE ADUBO FOSFATADO SOBRE O RENDIMENTO DE SOJA E TRIGO. FONTE: COSTA et al. (2002).



O K é aplicado, em geral, na linha de plantio, mas as doses não deverão ultrapassar 60 kg/ha devido a problemas de queima de sementes e raízes, pela elevação de condutividade elétrica do meio, chegando a interferir na densidade de plantas da área. Nos casos de doses mais elevadas, vem sendo sugerida a aplicação de K em área total antes do plantio ou a aplicação parcelada em cobertura (somente K ou junto com a cobertura de N).

Embora seja um elemento relativamente móvel no solo o K pode apresentar efeito residual de mais de um ano quando este é mantido no

sistema através de contínuo processo de reciclagem, pelo uso de cultura de inverno, principalmente gramíneas. Culturas como a aveia preta no inverno tem capacidade de extrair mais de 100 kg K/ha no inverno retornando ao solo rapidamente após corte ou morte da planta.

Uns dos grandes problemas em relação à adubação nitrogenada e potássica em frutas e outras culturas perenes que tem baixa população de plantas por hectare, é a grande concentração de adubo em uma pequena área, podendo resultar na superação da capacidade de adsorção do volume do solo e conseqüentemente em perdas. Estas perdas são facilmente visíveis pelo acúmulo de nutrientes na porção adubada, aumento nos níveis também na camada inferior do solo, e elevação da condutividade elétrica (CE), que está relacionada aos teores de sais na solução do solo (Tabela 11).

TABELA 11 - ALTERAÇÕES EM PROPRIEDADES DOS SOLOS, PROMOVIDAS PELA OLÉRICULTURA, MUNICÍPIO DE COLOMBO, PR. FONTE: VITT NETO E LIMA (2004)

Profundidade (cm)	pH em CaCl <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	T	EC mS/cm	V %	C g/dm <sup>3</sup>
		cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>						
Crucíferas								
0-20	5,02	13.1	5.1	0.87	28.15	223	68	42,9
20-40	4,25	6.9	0.3	0.48	23.58	162	32	31,7
40-60	4,12	2.2	1.4	0.33	20.26	185	19	25,6
60-100	4,12	1.8	1.2	0.25	16.60	184	19	12,6
Chuchu								
0-20	5,95	19.0	4.2	1.29	27.92	255	88	43,7
20-40	5,37	12.7	4.3	0.86	25.34	169	70	36,4
40-60	4,42	3.1	2.4	0.53	20.10	121	30	27,2
60-100	4,22	1.5	2.6	0.39	19.14	118	22	18,7
Mata								
0-20	4,90	9.9	5.8	0.13	26.95	178	58	50,7
20-40	4,22	3.3	2.8	0.09	22.49	93	27	43,5
40-60	4,15	1.8	1.4	0.06	19.86	68	16	30,5
60-100	4,10	1.1	1.0	0.05	16.43	43	13	18,1

Sugere-se aumentar o raio de aplicação do adubo, chegando em alguns casos a aplicar o nutriente em área total, principalmente quando

observa-se concentrações muito elevadas e perdas em profundidade. Tal sugestão é especialmente importante em solos arenosos com baixa CTC, nos quais o poder de adsorção dos nutrientes e a capacidade de reter água são pequenos, propiciando maior lixiviação.

O uso de gramíneas de inverno pode auxiliar em muito a redução da perda de K por lixiviação, e também reciclar quantidades apreciáveis de K das camadas inferiores, o que deve ser considerado no cálculo da adubação.

#### 8.4 ADUBAÇÃO COM CÁLCIO (Ca) E MAGNÉSIO (Mg)

Embora o  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$  juntos ocupem em média cerca de 65% dos pontos de troca de um solo com saturação de bases de 70 %, e o restante 5 % seja K, as quantidades de Ca e Mg extraídas pelas culturas são muito inferiores ao extraído de K.

Como os teores destes elementos no solo estão muito acima da necessidade das culturas, são muito raras as carências destes elementos nas plantas pela falta dos mesmos no solo. Além disso, a correção da acidez proporciona a adição de altas quantidades destes elementos ao solo.

As raízes são muito sensíveis à carência de Ca, contudo resposta a adição de Ca com adubo só tem sido observada quando os teores do mesmo são menores do que  $0,5 \text{ cmol}_c \text{ Ca/dm}^3$ . Felizmente, poucos solos apresentam teores de Ca inferiores a  $0,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ , sendo mais freqüentemente encontrados em horizontes subsuperficiais do Cerrado.

Todavia, deficiências de Ca em frutos são possíveis de ocorrer, como resultado do efeito climático (baixa temperatura, baixa luminosidade, alta umidade relativa do ar) e do solo (baixa umidade), que levam a uma pequena transpiração e suprimento do elemento ao fruto. A carência nutricional tem sido prevenida com aplicação de fontes mais solúveis de

Ca (nitrato de Ca e sulfato de Ca) no solo. Porém, a mais eficiente forma é aplicação via foliar com fontes minerais solúveis ou quelatos.

No caso particular do amendoim, esta cultura é exigente em Ca para melhor desenvolvimento. O uso de gesso junto ao camalhão tem propiciado, em alguns casos, melhor desenvolvimento dos grãos.

### **8.5 ADUBAÇÃO COM ENXOFRE (S)**

A análise química de enxofre disponível no solo é ainda muito limitada, pois não é rotina na maioria dos laboratórios de análises. Outro fato que deve ser observado é necessidade de análise em profundidade, visto que, em algumas circunstâncias, pode haver acúmulo de sulfato em profundidade e conseqüente absorção em um estágio mais avançado de crescimento da planta.

Assim como N, o S encontra-se em mais de 95% na forma de matéria orgânica, sendo sua disponibilidade dependente da decomposição da matéria orgânica do solo. Sob condições climáticas favoráveis à decomposição microbiana, solos com alto teor de matéria orgânica, e com horizonte A bem espesso, conseguem suprir altas demandas de S.

Além disso, o S entra na composição química de muitos adubos nitrogenados, fosfatados e potássicos.

O mais comum adubo com enxofre é o super fosfato simples  $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$  e, em geral, nas doses utilizadas, consegue suprir totalmente a necessidade de S da cultura. Esta deve ser a fonte mais barata e fácil de encontrar no mercado. Todavia, para formulados NPK é importante procurar saber a fonte utilizada, pois existe a tendência da substituição do uso de super simples por super triplo  $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$ , MAP  $[(\text{NH}_4)(\text{H}_2\text{PO}_4)]$ , e DAP  $[(\text{NH}_4)_2(\text{HPO}_4)]$ , que não possuem S.

As recomendações de S são sugeridas como adubação preventiva nas doses entre 20 a 40 kg/ha, principalmente para culturas como

pastagem com leguminosas e brássicas. O uso de elevadas doses na forma de gesso não tem se mostrado tóxicas, sendo assim possível aplicar elevada quantidade e obter um efeito residual de médio prazo, como 2 ou 3 anos. Neste conteúdo, o que se deseja com uso de doses tão elevadas de S, é a movimentação de Ca em profundidade e a diminuição do Al tóxico adsorvido e em solução.

Áreas industriais, ou que tenham influência de áreas industriais através do ar, podem receber quantidade significativa deste elemento via chuva e sedimentos, sendo o S principal componente da chuva ácida, comum em países industrializados.

#### 8.6 MICRONUTRIENTES (Zn, B, Mo, Cu, Mn, Fe, Cl, Ni)

A análise de Zn vem se tornando comum, estando em uso dois tipos de extratores (ácido diluído e quelato). Atualmente, em algumas regiões, utiliza-se a análise de solo na recomendação de adubação, todavia, existem poucos trabalhos de calibração, relacionando os valores obtidos no solo à resposta das plantas.

O constante aparecimento de sintomas de deficiência e resposta das culturas sob Cerrado, gerou o uso generalizado deste nutriente nesta região, em doses que variam de 0,5 a 1,5 kg/ha, aplicadas junto com demais nutrientes no plantio.

Adubação corretiva com valores superiores a 6 kg/ha pode ser indicada na implantação de culturas perenes e anuais esperando efeito residual superior a 4 anos.

O Zn ainda tem sido recomendado para aplicação via foliar em culturas perenes como café e citrus, na forma de coquetel envolvendo outros micronutrientes.

A análise química de B tem crescido muito nos últimos anos, sendo utilizada a extração em água quente. O B divide posição com o Zn, em

termos de maior carência nutricional, principalmente em leguminosas. Sucesso na implantação e longevidade da cultura da alfafa tem sido obtido com uso de B em caráter preventivo. O mesmo efeito tem sido observado na cultura do trevo, o qual comumente mostra sintomas de carência nutricional de B no período de inverno. O efeito do B parece estar ligado ao maior crescimento em profundidade do sistema radicular, mesmo sob condição de acidez. Alto requerimento de B na formação dos nódulos da raiz, para ocorrência de fixação biológica de nitrogênio (FBN), sugere ainda o seu efeito sobre suprimento de N.

O uso de B como adubação preventiva vem sendo aplicada com frequência em hortaliças, como repolho, couve-flor, brócolis, cebolinha e alho.

O B também tem sido utilizado via foliar durante o florescimento e formação de frutos, havendo recomendação para as culturas da maçã e uva. Resultados variados na produtividade da soja têm sido observados para aplicação no período de florescimento. O efeito do uso do B no período de florescimento e formação de fruto está ligado à melhoria da germinação de grãos de pólen e alongamento do tubo polínico.

As doses de B recomendadas variam de 1 a 4 kg/ha (área total), 0,25 a 1 kg/ha (sulco de plantio), e 0,25 a 0,5 kg/ha (foliar). Entre os micronutrientes o B, exige muita precaução, pois poderá ser muito tóxico quando ultrapassa os valores recomendados.

Praticamente não existente análise de rotina de Mo disponível, face à sua muito baixa concentração e a problemas de definição e padronização de extratores para a sua calibração. Necessário na FBN, em caráter preventivo o Mo é aplicado via sementes de leguminosas, sendo recomendado aplicar de 12 a 24 g Mo/ha. A própria reserva contida na semente é, em muitos casos, suficiente para o crescimento da planta.

A aplicação via foliar também pode ser utilizada na correção da deficiência nutricional com aplicação de 5 a 20 g Mo/ha, sendo também recomendado para sementeiras de brócolis, couve-flor e repolho (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC, 1994).

A necessidade do uso de Cu para correção de deficiência nutricional é rara, e tem se limitado a solos orgânicos, podendo gerar chochamento de grãos no trigo. Tanto a aplicação via foliar (500 g Cu/ha) quanto a corretiva (3 a 6 kg Cu/ha) tem sido suficiente para corrigir eventual carências por vários anos ou elevar a produtividade de plantas exigentes.

O uso sucessivo de produtos a base de cobre no controle de doenças pode suprir as plantas, e também gerar excedentes, aumentando o seu teor no solo e chegando, em alguns casos, a atingir níveis tóxicos.

A carência nutricional de Mn não ocorre em solos ácidos. Todavia o uso de doses excessivas de corretivo da acidez pode induzir a sua deficiência. Sintoma de carência de Mn, em formas de manchas na lavoura, tem sido observado em locais onde o calcário é depositado antes da distribuição ou em áreas que receberam aplicação desuniforme do corretivo.

Quando apenas a camada superficial do solo tem pH muito elevado o sintoma de carência de Mn ocorre na fase inicial de crescimento da planta e diminui à medida que suas raízes aprofundam, encontram camadas do solo mais ácidas e com maior disponibilidade de Mn, e poderão recuperar o seu desenvolvimento. Para correção de sintomas de deficiência de Mn em soja, múltiplas aplicações foliares totalizando 1 kg Mn/ha têm sido consideradas eficientes.

Assim como o Mn, a deficiência de Fe em solos ácidos só ocorre pela indução, em face de elevação do pH em nível superior a 6,0.

## 8.7 RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO

Com base na análise apresentada na Tabela 12 será feita a recomendação de adubação com base no manual de recomendação do estado de São Paulo (RAIJ et al., 1996) e no manual de recomendação dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC, 1994).

TABELA 12 – RESULTADO DA ANÁLISE DE UM SOLO

pH em CaCl <sub>2</sub>	K <sup>+</sup>	C	Zn	B	Argila	P resina	P Mehlich
	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	g/ dm <sup>3</sup>	mg/ dm <sup>3</sup>		g/kg	g/ dm <sup>3</sup>	
4,4	0,12	18,4	0,7	0,25	350	9.6	4,6

O cálculo da necessidade de adubação de N para cultura do milho para o estado de São Paulo (Tabela 13) tem por base a produtividade e resposta esperada a N. Considerando uma produtividade esperada de 9 t/ha a necessidade de N no plantio fica no valor de 30 kg N/ha (valor tabelado). Já, a adubação de cobertura, considerando um solo com resposta média, visto que o solo é ácido e será corrigido, a dose de N em cobertura fica em 90 kg N/ha (valor tabelado).

A adubação com P além de seguir a produtividade esta em função do teor de P disponível, extraído pelo método da resina. Com base nos dois parâmetros, chega-se a dose de 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha no plantio (valor tabelado). A adubação com K, também se baseia na produtividade e teor disponível no solo. Com os valores de K disponível de 0,12 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> ou 1,2 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, é necessário adicionar 50 e 60 K<sub>2</sub>O/ha no plantio e cobertura (valor tabelado), respectivamente.

A recomendação sugere ainda o uso de 40 kg/ha de S (produtividade maior que 6 t/ha) e 2 kg/ha de Zn (Zn no solo > 0,3 mg/dm<sup>3</sup>).

TABELA 13 – RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO PARA O SOLO DESCRITO NA TABELA 12 CONFORME RAIJ et al. (1996).

Adubação	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S	Zn
	kg/ha				
Plantio	30	90	50	40	2
Cobertura	90		60		
Total	120	90	110	40	2

## 9 ADUBAÇÃO ORGÂNICA VERSUS MINERAL

As práticas de adubação química mineral e orgânica apresentam grandes diferenças, as quais devem ser reconhecidas, afim de melhor recomendá-las. Serão discutidas, a seguir, as principais diferenças, entre fertilizantes minerais e os adubos orgânicos de origem animal disponíveis atualmente.

A) As concentrações de nutrientes nos adubos orgânicos são em geral muito mais baixas que dos fertilizantes minerais (Tabela 14). A cama de aves e o esterco sólido de suínos, por exemplo, se equiparam aos formulados 3-3-2 ou 2,1-2,8-2,9 (% de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O), em base seca (65 °C), respectivamente. Já, os estercos líquidos de suínos e bovinos apresentam uma relação de 4,5-4,0-1,6 e 1,4-0,8-1,4 kg/m<sup>3</sup> (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC, 1994). A baixa concentração nos adubos orgânicos, principalmente na forma líquida, é uma grande desvantagem quando se considera o transporte para grandes distâncias, restringindo o uso fora da propriedade.

B) Ocorre uma variação das concentrações de nutrientes nos resíduos, sendo estas variações relacionadas com diversas variáveis, tais como: idade do animal, concentração de nutrientes nas rações, presença ou ausência de cama, assim como tipo, condições e tempo de estocagem e outros. Variações de 21 a 60 (média – 3,9), 14 a 89 (média – 3,7) e 08 a 89 (média – 2,5) g.kg<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, foram obtidas respectivamente,

para 147 amostras de esterco de frango analisadas (PAYNE e DONALD, 1990). Tais variações também são observadas nos micronutrientes (Tabela 15). Existem variações muito grandes na concentração entre animais confinados (que recebem suplementação de sais minerais e farelos ricos em proteínas), e animais criados soltos (que não recebem suplementação). Assim, os adubos orgânicos hoje disponíveis são muito mais ricos, em face de adição mineral, principalmente de P, Zn e Cu.

TABELA 14 - TEOR DE MACRO E MICRONUTRIENTES EM ESTERCOS DE SUÍNOS, AVES E BOVINO DE DIFERENTES ORIGENS.

	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn
	Suínos								
	g/kg					mg/kg			
KORNEGAY et al. (1976)	39	63,2	14,6	33,7	9,4	864	88	2071	
MULLINS et al. (1982)	50	40,9	19,2	34	8,4	186	1396	1142	227
	Aves								
	g/kg					mg/kg			
PAYNE e DONALD (s.d)		36,6	27,7	23	5,2	315	473	2377	348
MOORE et al. (1995)	46	47,7	25	39	5	354	53	320	304
MOORE et al. (1995)	41	32	25	14	3,1	188	56	842	268
WATT et al. (1994)	32	48	30	27	4,7	631	1196	1749	944
HUE (1992)	32	37	25	78	7	367	85	29	380
KUNKLE et al. (1981)		26,1	19	16	3,4	213	399		385
	Bovino								
	g/kg					mg/kg			
MATSI et al. (2003)	3,1	1,6	2,7	3,2	0,85	7,6	21	105	2,3

TABELA 15 - VARIAÇÃO NOS TEORES DE MICRONUTRIENTES EM ESTERCO DE SUÍNOS DE DIFERENTES ORIGENS.

Autores	Zn	Cu	Fe	Mn
	mg/kg			
PAYNE e DONALD (1990)	106 - 669	25 - 1003	529 - 12604	125 - 667
MOORE et al. (1995)	105 - 272	25 - 127	526 - 1000	175 - 321
MOORE et al. (1995)	298 - 388	38 - 68	80 - 560	259 - 600
KUNKLE et al. (1981)	213-347	399-456		385-439
MULLINS et al. (1982)	101 - 353	899 - 1398	817 - 1382	128 - 227

C) Diferente dos adubos minerais onde é possível escolher produtos sem N (0-20-20),  $P_2O_5$  (15-00-25) e  $K_2O$  (25-20-00) ou com relação variada entre os nutrientes (4-30-10, 4-20-20, 4-10-30), com a finalidade de satisfazer as necessidades individuais de cada solo e cada planta, os adubos orgânicos tem proporções fixas entre os nutrientes, estando, em sua maioria, muito próximas de 1/1 (N/ $P_2O_5$ ) (Tabela 16), principalmente quando parte do N é perdida via volatilização durante da estocagem. Esta proporção está muito abaixo das necessidades de adubação das plantas, que ficam entre 2/1 e 6/1 (Tabela 17), ficando evidente que o P encontra-se em maior quantidade comparativamente ao N no adubo orgânico. Desta forma, sempre que a dose de adubo orgânico a ser aplicada for calculada com base no teor de N, como normalmente é utilizada, aplica-se mais P do que o recomendado. Isto pode levar, em longo prazo, ao acúmulo deste nutriente no solo, visto que o mesmo não é perdido por volatilização e lixiviação como ocorre com N, e lixiviação no caso do K.

D) Os adubos orgânicos são formulados completos em termo de nutrientes [macro (N, P, K, C, M e S), micro (Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, B, Mo, Cl) e úteis (Co e Na)] (Tabela 14 e 15). Em muitos casos, os teores de Zn e Cu são expressivamente altos, comparados com as exigências nutricionais das plantas. Assim, como ocorre com o P, o acúmulo de nutrientes pouco móveis (Zn e Cu) tem sido constatados com uso prolongado de resíduos (KORNEGAY et al., 1976; CAST, 1996). Diante destas considerações, destaca-se que, o efeito dos adubos orgânicos pode estar associado a outros nutrientes além do N, P e K, principalmente em áreas reconhecidamente deficientes em S, Zn e Cu.

TABELA 16 - TEORES DE N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> E K<sub>2</sub>O E RELAÇÃO ENTRE OS MESMOS, EM ESTERCO DE SUÍNOS DE DIFERENTES ORIGENS.

	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %	Relação (N/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /K <sub>2</sub> O)	Relação (N/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
MIRANDA et al. (1999) <sup>a</sup>	1,29	0,83	0,88	1,5/ 0,9/ 1	1,7/ 1
MIRANDA et al. (1999) <sup>b</sup>	6,21	5,76	2,88	2,2/ 2,0/ 1	1,1/ 1
DANIEL et al. (1998) <sup>c</sup>	1,68	1,56	---	---	1,1/ 1
SULLIVAN(1999)	0,23	0,27	---	---	0,8/ 1
KORNEGAY et al. (1976)	3,87	6,32	1,46	2,7/ 4,3/ 1	0,6/ 1
OLIVEIRA (2002) (terminação) <sup>d</sup>	0,96	0,40	0,85	1,1/0,5/1	2,4/1
OLIVEIRA (2002) (ciclo completo) <sup>d</sup>	0,22	0,06	0,09	3,7/0,7/1	3,7/1
OLIVEIRA (2002) (terminação) <sup>e</sup>	0,79	1,18	1,45	0,7/0,8/1	0,7/1
REDDY et al. (1980)	3,97	2,29	---	---	1,7/ 1

<sup>a</sup>Valores kg m<sup>-3</sup> em esterco líquido de suíno com densidade 1.006 kg m<sup>-3</sup>; <sup>b</sup>Valores kg m<sup>-3</sup> em esterco líquido de suíno com densidade 1.038 kg m<sup>-3</sup>; <sup>c</sup>Valores kg m<sup>-3</sup>; <sup>d</sup>Esterco líquido; <sup>e</sup>Esterco de cama maravalha.

TABELA 17 - EXTRAÇÃO DE N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> E K<sub>2</sub>O E RELAÇÃO ENTRE OS MESMOS EM CULTURAS DIVERSAS.

	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Relação (N/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /K <sub>2</sub> O)	Relação (N/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
Soja (3,1 t/ha grão) <sup>1</sup>	182	37	70	2,6/0,5/1	4,9/1
Soja (18,7 t/ha grão e PA) <sup>1</sup>	502	112	413	1,2/0,3/1	4,5/1
Soja (1 t/ha grão e palha) <sup>3</sup>	79,4	16,6	38,7	2,1/0,4/1	4,8/1
Soja (1 t/ha grão) <sup>3</sup>	59,2	12,5	22,6	2,6/0,6/1	4,7/1
Soja (1 t/ha grão) <sup>2</sup>	60,1	9,8	21,8	2,8/0,4/1	6,1/1
Milho (1 t/ha grão e palha) <sup>3</sup>	24,9	9,8	21,9	1,1/0,4/1	2,5/1
Milho (1 t/ha grão) <sup>3</sup>	15,8	8,6	5,8	2,7/1,4/1	1,8/1
Milho (1 t/ha grão) <sup>2</sup>	18,2	5,4	5,0	3,6/1,1/1	3,4/1
Feijao (1 t/ha grão e palha) <sup>3</sup>	71	17	72,9	1,0/0,2/1	4,2/1
Feijao (1 t/ha grão) <sup>3</sup>	35,1	9,3	18,8	1,9/0,5/1	3,8/1
Trigo (1 t/ha grão e palha) <sup>3</sup>	28	8,9	24,0	1,2/0,4/1	3,1/1
Trigo (1 t/ha grão) <sup>3</sup>	20,1	7,3	4,2	4,8/1,7/1	2,8/1

Fontes: <sup>1</sup>TANAKA et al. (1993); <sup>2</sup>ALTMANN e PAVINATO (2001); <sup>3</sup>PAULETTI (2004)

E) Muitos dos nutrientes contidos nos adubos orgânicos podem estar na fração sólida do esterco, como compostos orgânicos e serão utilizados pelas plantas, quando da liberação pelo processo de mineralização microbiana. Em compensação, outros nutrientes estão praticamente livres

(K<sup>+</sup>), podendo ser prontamente disponíveis após aplicação dos adubos orgânicos. Aproximadamente 2/3 do N contido no esterco de suínos se encontra na forma mineral de amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) estando o restante como N orgânico (ORUS e MONGE, 2002; McCORNICK, 1984; SCHENER, 2002), quando estocado em condições anaeróbias. Tal proporção pode ser ainda muito maior quando o esterco é coletado na esterqueira sem homogeneização, com a retirada do sobrenadante com pequena quantidade de matéria seca, visto que os compostos orgânicos que contem N orgânico sedimentam, ficando no fundo do reservatório (SULLIVAN, 1999).

A alta proporção de N na forma de amônio pode levar a uma alta perda de N por volatilização. Além disso, o pH dos resíduos de suínos está geralmente acima de 7 (REDDY et al., 1980), aumentando ainda mais a possibilidade de perdas. Se o esterco líquido for injetado ao solo, as perdas poderão ser minimizadas (CAST, 1996).

É importante lembrar que é necessário saber o sincronismo entre liberação dos nutrientes do adubo e marcha de absorção das culturas (REDDY et al., 1980). O estabelecimento do período de liberação dos nutrientes contido no esterco pode ser muito variável, pois depende de diversos parâmetros relacionados às características intrínsecas do esterco, assim como do solo (umidade, temperatura e aeração), forma de aplicação e outros. Entre as características intrínsecas do esterco estão a relação C/N, e a presença de compostos resistentes à decomposição, como a palha e a serragem.

A forma de aplicação está diretamente relacionada com a velocidade de decomposição, pois pode afetar o contato entre solo e o resíduo. Incorporação dos resíduos juntamente com o solo, como ocorre no sistema de plantio convencional, permite certamente uma rápida decomposição. A injeção de esterco também pode atuar de maneira

similar, com uma outra grande vantagem, que é a diminuição do odor. Já, a aplicação de resíduo na superfície sem incorporação pode diminuir o contato com o solo e a conseqüente mineralização.

F) Na maioria dos casos tem sido observado efeito do uso de esterco no aumento do pH, e conseqüentemente sobre o decréscimo de toxidez de elementos encontrados em alta quantidade, em solo ácido, como o Al. Retenção temporária do Al, contido em solução pode proporcionar um maior crescimento radicular, afetando positivamente toda a nutrição das plantas. A liberação de compostos orgânicos solúveis em solução, certamente poderá complexar elementos, ou ter, em sua constituição, certos nutrientes, propiciando uma maior mobilidade dos mesmos.

G) Os adubos orgânicos podem ter um forte impacto sobre os macros e microrganismos do solo. O aumento na atividade biológica do solo deve-se ao suprimento de fonte energética e de nutrientes. O efeito sobre crescimento dos macro e microrganismos pode influir em muito nas propriedades físicas e no ciclo dos nutrientes no solo, tendo maior destaque em áreas degradadas. Por outro lado, se os compostos orgânicos atingirem os cursos de água, esses sofrem ataque pelos microrganismos causando deficiência de  $O_2$  e morte de peixes e outros animais.

H) Certa proporção dos componentes orgânicos pode permanecer no solo melhorando-o, aumentando o teor de C no solo, que certamente pode influir positivamente sobre as demais propriedades físicas (aumenta agregação das partículas do solo e retenção de água, diminui plasticidade e aderência) e químicas (aumenta a CTC) do solo. Estas vantagens do adubo orgânico são mais destacadas em áreas degradadas.

I) Tem sido observado que alguns componentes nos adubos orgânicos podem atuar na germinação de sementes, crescimento de raízes e parte aérea. Logo, é provável que o aumento de produtividade com uso de esterco possa estar, em certo grau, dependente de compostos que atuem no desenvolvimento das plantas.

J) O adubo orgânico pode apresentar características indesejáveis como forte odor e agente patogênicos, que podem ser amenizados com processo de estabilização na forma de compostagem e outros. Não se recomenda o uso direto, pois podem, em alguns casos, aumentar a incidência de doenças radiculares.

K) Existe ainda a possibilidade do C adicionado como adubo orgânico, ao ser perdido ser novamente seqüestrado pela planta, propiciando aumento produtividade, o que não ocorre com adubo mineral (YÁGODIN et al., 1986).

Podemos assim concluir que o termo adubo orgânico é muito genérico para tratar de compostos em muitos casos muito diferentes, que podem variar do estado sólido ao líquido. Outro fato é que os adubos orgânicos hoje disponíveis em abundância são, em geral, muito concentrados em relação aos adubos orgânicos de animais soltos, dado à grande suplementação em sais minerais e concentrados. Ainda, não podemos comparar o valor do adubo orgânico em relação ao mineral, apenas quanto ao teor de macronutrientes, pois diversas modificações nas propriedades do solo de ordem física, química e ou biológica, ocorrem quando do uso do mesmo. Contudo, não se deve curvar ao mito de que o adubo orgânico não tem problemas e pode ser utilizado indiscriminadamente, sem controle, pois muito da poluição em países

desenvolvidos foi causada pelo uso de grandes doses de adubo orgânico em áreas próximas a corpos de água.

## **10 RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO**

A recomendação de adubo pode ser calculada com a finalidade de suprir N, P e/ou K, com base em valores estabelecidos em experimentos de campo para cada cultura. Pode-se ainda estabelecer a necessidade de adubo com base na retirada ou exportação de nutrientes pelos grãos ou outras partes vegetais, também conhecida como reposição. Uma excelente fonte de informações sobre adubação pode ser encontrada nos manuais específicos para cada cultura, publicados pelos órgãos estaduais de pesquisa agropecuária (como o IAPAR no Paraná) e no Manual de Recomendações de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, publicado pela COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC (1994).

### **10.1. RECOMENDAÇÃO COM BASE NO N**

O N mais freqüentemente vem sendo utilizado na determinação no cálculo da estimativa da dose de esterco. Para tal, consideram-se diferentes taxas de mineralização: aproximadamente 50% para a cultura a ser implantada e 70% no primeiro ano. Logo, o resíduo de N deve ser considerado para as culturas subseqüentes de aproximadamente 20% (Tabela 18). Atualmente as doses de N recomendadas para a maioria das culturas foram estabelecidas por pesquisas desenvolvidas por estado, por região, ou por pequenos núcleos, como cooperativas. Devem-se seguir tais recomendações no estabelecimento de doses de adubo a ser aplicado, pois são as fontes mais seguras para cada região.

Os seguintes passos devem ser observados no estabelecimento da dosagem de adubação para esterco líquido de suíno:

A) Determinar a dose de adubo para a cultura desejada (Tabela de adubação): milho cultivado em solo com 3,7% matéria orgânica e com expectativa de rendimento maior que 6 t/ha (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC, 1994): 120 kg N /ha

B) Corrigir pela eficiência de uso (Tabela 18): 50% no caso do N no primeiro cultivo

100 kg de N aplicado --- 50 kg N é disponível para primeira cultura

X kg de N aplicado --- 120 kg N é disponível para primeira cultura

$$X = 240 \text{ kg de N a ser aplicado}$$

TABELA 18 - ÍNDICE DE EFICIÊNCIA DE N, P E K PARA APLICAÇÃO DE RESÍDUO DE ANIMAIS SUGERIDO PELA COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC- (1994) E SCHENER (2002).

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC (1994)		
Nutriente	Índice de Eficiência	
	Primeiro cultivo	Segundo cultivo
N	0,5	0,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,6	0,2
K <sub>2</sub> O	1,0	-

SCHENER (2002)				
Nutriente	Tipo	Índice de Eficiência		
		Cultivo		
		Primeiro	Segundo	Terceiro
N	Sólido	0,5	0,2	0,1
	Líquido	0,8		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Sólido	0,6	0,3	0,1
	Líquido	0,8	0,2	
K <sub>2</sub> O	Sólido	1,0		
	Líquido	1,0		

C) Determinação do teor de N com uso do densímetro para esterco líquido de suíno (valor tabelado):

Se a densidade de 1020 kg/m<sup>3</sup>, a concentração de N = 3,44 kg/m<sup>3</sup>

D) Calcular a dose de esterco com base na concentração:

3,44 kg N --- 1 m<sup>3</sup> de esterco

240,0 kg N --- X m<sup>3</sup> de esterco

X = 70 m<sup>3</sup> de esterco

## 10.2 RECOMENDAÇÃO BASEADA NO TEOR DE P E K

Em casos onde os teores de P ou K estejam acima do nível “muito alto” estabelecido pelas calibrações locais é necessário que a adubação seja revista, sendo recomendado à suspensão ou aplicação de pequenas doses de esterco. Em tal situação, recomenda-se a aplicação de fertilizantes minerais para suprir as necessidades dos nutrientes necessários para o crescimento das plantas, ou no máximo o uso de doses de esterco baseadas apenas na exportação pelos grãos, do nutriente em maior nível, e suplementação com fertilizante mineral caso seja necessário.

Dentro da visão de reposição dos nutrientes pelo esterco, as doses a serem utilizadas devem ser relacionadas com a produtividade das culturas utilizadas na unidade de tempo (t/ha por ano); uso do grão ou da planta inteira (silagem e fenos); e intensidade de cultivo (número de culturas ou intensidade de cultivo).

Manutenção de altas produtividades é essencial no aumento da capacidade de uso dos nutrientes aplicados com resíduo. A quantidade de nutrientes extraída do solo com uma produtividade de 10 t/ha de milho é obviamente muito superior a produtividade de 5 t/ha (Tabela 17). Logo, a escolha de cultivares produtivos, e o investimento em práticas de manejo para aumento da produtividade, tem que ser o objetivo almejado na ampliação do uso de esterco em solos agricultáveis.

Os seguintes passos devem ser observados no estabelecimento da dosagem de esterco para adubação conforme valor de reposição, em função da produtividade, sugerido pela COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC (1994):

A) Determinar a dose de adubo para a cultura desejada: Soja com produtividade esperada de 3500 kg/ha (Valor tabelado de reposição para  $K_2O$  segundo a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC, 1994) para produtividade maior que 3 t/ha: 90 kg  $K_2O$ /ha

B) Corrigir pela eficiência de uso (Tabela 18): 100% no caso do K no primeiro cultivo:

100 kg  $K_2O$  aplicado --- 100 kg  $K_2O$  disponível para primeira cultura

X kg  $K_2O$  aplicado --- 90 kg  $K_2O$  disponível para primeira cultura

X = 90 kg de  $K_2O$  a ser aplicado

C) Determinação do teor de  $K_2O$  com uso do densímetro do esterco líquido de suíno (valor tabelado):

Se a densidade de 1020 kg/m<sup>3</sup>, a concentração de  $K_2O$  = 1,75 kg/m<sup>3</sup>

D) Calcular a dose de esterco com base na concentração:

1,75 kg  $K_2O$  --- 1 m<sup>3</sup> de esterco

90,0 kg  $K_2O$  --- X m<sup>3</sup> de esterco

X = 51 m<sup>3</sup> de esterco

Os seguintes passos devem ser observados no estabelecimento da dosagem de adubação, em função da reposição calculada:

A) Determinar a dose de adubo para a cultura desejada: Soja com produtividade esperada de 3500 kg/ha

$$1000 \text{ kg de soja} \text{ --- } 10,1 \text{ kg P}_2\text{O}_5$$

$$3500 \text{ kg de soja} \text{ --- } X \text{ kg P}_2\text{O}_5$$

$$X = 35 \text{ kg P}_2\text{O}_5$$

B) Corrigir pela eficiência de uso (Tabela 18): 60% no caso do P no primeiro cultivo

$$100 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ aplicado} \text{ --- } 60 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ é disponível para primeira cultura}$$

$$X \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ aplicado} \text{ --- } 35 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ é disponível para primeira cultura}$$

$$X = 58 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ a ser aplicado}$$

C) Determinação do teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  com uso do densímetro (valor tabelado):

Se a densidade é de  $1020 \text{ kg/m}^3$ , a concentração de  $\text{P}_2\text{O}_5 = 2,99 \text{ kg/m}^3$

D) Calcular a dose de esterco com base na concentração:

$$2,99 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ --- } 1 \text{ m}^3 \text{ de esterco}$$

$$58,0 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ --- } X \text{ m}^3 \text{ de esterco}$$

$$X = 19,3 \text{ m}^3 \text{ de esterco}$$

Os seguintes passos devem ser observados no estabelecimento da dosagem de adubação, em função da reposição calculada:

A) Determinar a dose de adubo para a cultura desejada: napier com produtividade esperada de 25000 kg/ha ao ano:  $\text{P}_2\text{O}_5 = 145 \text{ kg}$

B) Corrigir pela eficiência de uso (Tabela 18): 60% no caso do P no primeiro cultivo

100 kg  $P_2O_5$  aplicado --- 60 kg  $P_2O_5$  é disponível para primeira cultura

X kg  $P_2O_5$  aplicado --- 145 kg  $P_2O_5$  é disponível para primeira cultura

$$X = 242 \text{ kg de } P_2O_5 \text{ a ser aplicado}$$

C) Determinação do teor de  $P_2O_5$  com uso do densímetro (valor tabelado):

Se a densidade de  $1020 \text{ kg/m}^3$ , a concentração de  $P_2O_5 = 2,99 \text{ kg/m}^3$

D) Calcular a dose de esterco com base na concentração:

2,99 kg  $P_2O_5$  ---  $1 \text{ m}^3$  de esterco

242 kg  $P_2O_5$  --- X  $\text{m}^3$  de esterco

$$X = 81 \text{ m}^3 \text{ de esterco/ha por ano (deve ser parcelado)}$$

## 11 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE MANEJO DOS RESÍDUOS DA PRODUÇÃO ANIMAL

A separação da produção agrícola ou florestal, da produção animal, tem produzido problemas ambientais, como resultado da produção de resíduos de animais confinados. Em muitos casos a capacidade de suporte do solo para o recebimento dos resíduos de animais produzidos em uma propriedade é superada, e há necessidade de exportação dos mesmos, para fora da propriedade. Porém, os resíduos apresentam baixas concentrações de nutrientes, o que inviabiliza o transporte em longa distância. Além disso, a relação de nutrientes no esterco não corresponde ao requerido pelo cultivo, e enriquecimento do solo com P, Zn, Cu e outros metais pode ocorrer quando aplicado por longo tempo.

Tanto o N quanto o P vem sendo apontados como os principais responsáveis pelo crescimento exagerado de algas, em baías, lagos e rios

(eutrofização), em áreas com elevada concentração de produção animal (DANIEL et al., 1998).

Os problemas com excessiva produção de resíduos e adição de nutrientes através dos mesmos, são graves e podem ser vistos em diversos âmbitos, tais como país, estados, municípios, bacia hidrográfica e propriedade (Tabela 19). Um grande excedente na aplicação de P/ha por ano, apresenta dificuldades para a sustentabilidade da produção agrícola e produção animal em diversas regiões. Somando-se ao excedente de nutrientes aplicados nestas regiões, existe a constatação de níveis muito elevados na forma disponível de P. Muitas regiões são conhecidas como importadoras de nutrientes, pois vem recebendo mais nutrientes que exportam, em geral na forma de alimentos.

TABELA 19 - PRODUÇÃO DE ESTERCO DE FRANGO, USO DE NITROGÊNIO COM FERTILIZANTE QUÍMICO, E NECESSIDADE DAS CULTURAS EM 12 COMARCAS, LIDERES NA PRODUÇÃO DE FRANGO NO ESTADO DO ALABAMA, ESTADOS UNIDOS, 1988. FONTE: MITCHELL E DONALD (1990).

Comarca	Esterco (1000 t)	N no	N no	Necessidade da cultura	Excedente
		esterco	fertilizante		
toneladas					
Culman	274	8494	1481	3031	6944
Dekalb	150	4650	1816	2317	4149
Marshall	102	3162	1231	1863	2530
Blount	90	2790	1913	2890	1813
Coffee	88	2728	2064	1342	3450
Pickens	64	1984	988	1738	1234
Winston	58	1798	110	766	1142
Crenshaw	50	1550	564	718	1396
Morgan	48	1488	1933	2032	1389
Franklin	46	1426	622	1745	303
Convington	42	1302	2818	1254	2866
Lawrence	38	1178	3219	2152	2245

No país e em alguns estados, como o Paraná, vem sendo implementadas, com intensidade cada vez maior nos últimos anos,

políticas regulatórias da produção, do tamanho do plantel em relação à área da propriedade, da área destinada à produção, e de fatores ligados ao uso do esterco (produção, estocagem e uso).

Sob uma forte pressão política e social, as pesquisas vêm atuando em diversas áreas com a finalidade de solucionar os problemas com resíduos, que vão desde a manipulação de rações até formas de aplicação nos solos. Como primeiro passo é possível estimar, com certa precisão dependendo do nutriente, o balanço entre a entrada e saída de alguns nutrientes de uma propriedade rural, comparando a entrada [via fertilizantes (mineral e orgânico), calcário, rações para animais, sementes, deposição via atmosfera, fixação pela plantas (N) e outros] e saída [exportação com animais, resíduos orgânicos, grãos e outros produtos vegetais, erosão e escoamento de água]. Um grande superávit na entrada de um ou mais nutrientes pode evidenciar prováveis acúmulos, caso os solos trabalhados já possuam níveis elevados dos mesmos. Existe nestes casos a necessidade de estabelecimento de planos que visem aumentar exportação de nutrientes (exportação de esterco ou produtos animais e vegetais) ou diminuir a entrada de nutrientes com o melhor uso de resíduos gerados na propriedade.

Diversas medidas de baixo custo podem melhorar sensivelmente o uso adequado dos resíduos, evitando possíveis contaminações por resíduos orgânicos. Primeiro, a manipulação e a estocagem devem ser eficientes, pois, evitam a perda por lixiviação, volatilização e escoamento superficial. Segundo, o simples desvio de água de escoamento para que não atinja os galpões de animais, e ao mesmo tempo a retenção da água proveniente dos galpões, pode reduzir o elevado potencial de contaminação. Terceiro, o controle das perdas durante o transporte e estocagem.

É imprescindível ainda, que o uso do resíduo na propriedade seja adequado, tendo como base a análise química do solo e as necessidades das plantas. Para isso, é essencial o conhecimento das variabilidades espaciais das condições químicas do solo, a partir de pequena malha de amostragem como as propostas pela agricultura de precisão, visto que se tem observado a existência de pequenas áreas com valores expressivamente altos de nutrientes, que podem afetar em muito a média de uma grande área onde se pretende usar resíduos orgânicos.

## REFERÊNCIAS

- ALTMANN, N.; PAVINATO, A. Experiências da SLC agrícola no manejo da fertilidade do solo no cerrado. **Informações Agronômicas**, v. 94, p. 1-4, 2001.
- AMADO, T.J.C.; SANTI, A.; ACOSTA, J.A.A. Adubação nitrogenada na aveia preta. II Influência na decomposição de resíduos, liberação de nitrogênio e rendimento de milho sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1085-1096, 2003.
- ASSMANN, T.S. **Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema de plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio**. Curitiba, 2001. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- CAST. Integrated animal waste management. **Task force report**, n. 128, nov. 1996.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3 ed. Passo Fundo: SBCS- Núcleo Regional Sul, 1994.
- COSTA, J.M., SIMIONATO, A.A. Efeito da adubação residual da cultura do trigo na cultura da soja, num Latossolo Vermelho Distroférico (Latossolo Roxo distrófico). In: **Fertilidade do solo e nutrição de plantas**. Campo Mourão: COAMO, 2002. p. 86-88.
- COSTA, J.M., SCHUETZ, C.P., SILVA, R.B., SIMIONATO, A.A. Produção das culturas de soja, milho, trigo e algodão sob diferentes fontes de fósforo, num Latossolo Vermelho Distroférico (Latossolo Roxo distrófico). In: **Fertilidade do solo e nutrição de plantas**. Campo Mourão: COAMO, 2002. p. 83-88.
- DANIEL, T.C., SHARPLEY, A.N., LEMUNYON, J.L. Agricultural phosphorus and eutrophication: A symposium overview. **Journal of Environment Quality**, v. 27, n. 2, p. 251-257, 1998.
- DeDATTA, S.K. Fertilizer management for efficient use in wetland rice soils. In: BRADY, N.C. **Soils and rice**. Los Banos (Philippines): International Rice Research Institute, 1978. p. 671-701.

- EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da margem direita do rio Paranã – estado de Goiás.** Rio de Janeiro, 1983.
- GUPTA, U.C. Iron status of crops in Prince Edward Island and effect of soil pH on plant iron concentration. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 71, p. 197-202, 1991.
- HUE, N.V. Correcting soil acidity of a highly weathered ultisol with chicken manure and sewage sludge. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v. 23, n. 3/4, p. 241-264, 1992.
- KORNEGAY, E.T., HEDGES, J.D., MARTES, D.C., KRAMER, C.Y. Effect on soil and plant mineral levels following application of manures of different copper contents. **Plant and Soil**, v. 45, p. 151-162, 1976.
- KUDLA, A.P.; MOTTA, A.C.V.; KUDLA, M.E. Efeito do pó de basalto aplicado em um Cambissolo Álico sobre o solo e crescimento do trigo. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, v.15, n. 2, p. 187-195, 1996.
- KUNKLE, W.E.; CARR, L.E.; CARTER, T.A.; BOSSARD, E.H. Effect of flock floor type on the levels of nutrients and heavy metals in broiler litter. **Poultry Science**, v. 60, p. 1160-1164, 1981.
- LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. Conservation and enhancement of soil quality. Evaluation for sustainable land management in the developing world. In: IBSRAM, 12, Bangkok. **Proceedings**. v. 2 Technical Papers. Bangkok: International Board for Soil Research and Management, 1991. p. 175-203.
- LIMA, J.M.J.C.; LIMA, V.C.; HOCHMULLER, D.P. Toposequência de solos no sudoeste do Paranã. I. Características morfológicas, granulométricas e químicas. **Rev. do Setor de Ciências Agrárias**, v. 6, p. 51-61, 1985.
- MASCARENHAS, H.A.A.; HIROCE, R.; BRAGA, N.R.; MIRANDA, M.A.C. DE; BULISANI, E.A.; POMMER, C.V.; SAWAZAKI, E.; GALLO, P.B., PEREIRA, J.C. V.N.A. **Efeito do nitrogênio residual de soja na produção do milho.** Campinas: Instituto Agronômico, 1983. (Boletim Técnico, 58).
- MATSI, T.; LITHOURGIDIS, A.S.; GAGIANAS, A.A. Effects of injected liquid cattle manure on growth and yield of winter wheat and soil characteristics. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, p. 592-579, 2003.
- MCCORMICK, R.A., NELSON, D.W., SUTTON, A.L., HUBER, D.M. Increased N efficiency from nitrapyrin added to liquid swine manure used as a fertilizer for corn. **Agronomy Journal**. v. 76, n. 6, p. 1010-1014, 1984.
- MIRANDA, C.R. de, ZARDO, A.O., GOSMANN, H.A. **Uso dejetos de suínos na agricultura.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1999. (Instrução técnica para o suinocultor, 11).
- MITCHELL, C.C., DONALD, J.O. **Managing broiler litter and fertilizers.** Auburn: Auburn University, Alabama Cooperative Extension Service, 1990. (DTP circular 10/90-002).
- MOORE, P.A.; DANIEL, T.C.; SHARPLEY, A N.; WOOD, C.W. Poultry manure management environmentally sound options. **J. Soil and Water Conservation**, v. 50, n. 3, p. 321- 327, 1995.
- MULLINS, G.L.; MARTENS, D.C.; MILLER, W.P. ; KORNEGAY, E.T.; HALLOCK, D.L. Copper availability, form, mobility in soils from three annual copper-enriched hog manure applications. **J. Environment Quality**, v. 11, n. 2, p. 316-320, 1982.

- OLIVEIRA, P.A.V. **Produção e manejo de dejetos de suínos**. Disponível em: <[http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf\\_doc/8-pauloarmando\\_producao.pdf](http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf_doc/8-pauloarmando_producao.pdf)> Acesso em: 20/11/2002.
- ORUS, F.M.; MONGE, E. Relacion entre las diferentes formas de nitrogeno en estiercol fluido de porcino (EFP): nitrogeno amoniacal, organico y total. Aplicacion agricola pratica. **Anaporc**, v. 225, p. 48-59, 2002.
- PAULETTI, V. **Nutrientes: teores e interpretações**. 2.ed. Castro: Fundação ABC, 2004. 86 p.
- PAYNE, V.W.E., DONALD, J.O. **Poultry waste management and environment protection manual**. Auburn: Alabama Cooperative Extension Service, 1990. 50 p. (Circular ANR, 580).
- RACHWAL, M.F.G. **Influência dos níveis de erosão na qualidade e produtividade da batata em dois solos no município de Contenda -PR**. Curitiba, 1992. 160 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- RAIJ, B. van., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A., FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1996. 285 p.
- REDDY, K.R., KHALEEL, R., OVERCASH, M.R. Nitrogen, phosphorus and carbon transformations in a coastal plain soil treated with animal manures. **Agricultural Wastes**, v. 2, p. 225-238, 1980.
- SCHENER, E.E. **Aproveitamento do esterco de suínos como fertilizante**. Disponível em <[http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf\\_doc/9-EloiSchener.pdf](http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf_doc/9-EloiSchener.pdf)> Acesso em: 20/11/2002.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação fostatada em solos da região do Cerrado. **Informações Agrônomicas**, n. 102, 2003.
- SULLIVAN, D.G. **Nitrogen and phosphorus fluxes in swine waste amended bermudagrass pasture**. Auburn, 1999. Dissertação (Mestrado) - Auburn University.
- TANAKA, R.T., MASCARENHAS, H.A.A., BORKET, C.M. Nutrição mineral da soja. In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P.J. de M. **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: Potafos, 1993, p. 103-135.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**. 4. ed. New York: Macmillan, 1985. 754 p.
- VITT NETO, E.; LIMA, V.C. **Alterações em propriedades do solo promovidas pela olericultura, município de Colombo – PR**. Curitiba, 2004. 35 p. Monografia (Curso de Agronomia, Disciplina Introdução a Pesquisa em Solos) – Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná.
- WARKENTIN, B.P. The changing conception of soil quality. **J. Soil Water Cons.**, v. 50, p. 226-228, 1995.
- WATT, H.V.H.; SUMNER, M.E.; CABRERA, M.L. Bioavailability of copper, manganese, and zinc in poultry litter. **J. Environment Quality**, v. 23, p. 43-49, 1994.
- YÁGODIN, B.A., PETERBURGSKI, A., ASÁROV, J., DIOMIN, V., PLESHKOV, B., RESHETNIKOVA, N.B. **Agroquímica**. Moscou: Editorial Mir, 1986. 464 p.

# CAPÍTULO IX

## PRINCÍPIOS DE CALAGEM

Antônio Carlos Vargas Motta<sup>1</sup>, Marcelo Ricardo de Lima<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eng. Agr., Ph.D., Professor do DSEA/UFPR, Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050,

Curitiba, PR. E-mail: mottaacv@ufpr.br. <sup>2</sup>Eng. Agr., Doutor, Professor do DSEA/UFPR.

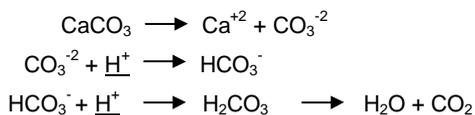
1 INTRODUÇÃO.....	192
2 MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA CALAGEM.....	194
2.1 MÉTODO DA INCUBAÇÃO.....	194
2.2 MÉTODO DO $Al^{+3} + (Ca^{+2} + Mg^{+2})$ .....	195
2.3 MÉTODO DO V % OU SATURAÇÃO DE BASES.....	196
2.4. MÉTODO DO pH SMP.....	199
3 CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO.....	202
3.1 REAÇÃO E PODER CORRETIVO DOS PRODUTOS UTILIZADOS NA AGRICULTURA.....	206
4. POR QUE FAZER CALAGEM E O QUE MUDA NO SOLO COM ELEVAÇÃO DO PH.....	210
5. FATORES QUE AFETAM RESPOSTA A CALAGEM.....	212
5.1 TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E RESÍDUOS EM DECOMPOSIÇÃO.....	212
5.2 CULTIVAR E CULTURAS EM ROTAÇÃO.....	213
5.3 NÍVEIS DE MACRO E MICRONUTRIENTES NO SOLO OU APLICADOS VIA ADUBAÇÃO.....	213
5.4 CONDIÇÕES DE UMIDADE DO SOLO.....	214
5.5 SISTEMA DE CULTIVO.....	214
5.6 MINERALOGIA DO SOLO.....	215
6 USO DOS CORRETIVOS NO SOLO.....	215
6.1 APLICAÇÃO LOCALIZADA E EM ÁREA TOTAL.....	215
6.2 INCORPORAÇÃO E MOBILIDADE DOS CORRETIVOS.....	216
6.3. VELOCIDADE DE REAÇÃO E EFEITO RESIDUAL.....	223
6.4 CORREÇÃO DA ACIDEZ EM CULTURAS PERENES.....	224
REFERÊNCIAS.....	229

## 1 INTRODUÇÃO

Uma amostragem bem planejada e executada, juntamente com conhecimento do histórico da área são peças fundamentais no processo de recomendação de calagem. Tendo a análise química em mãos, inicia-se o processo de interpretação, a partir de parâmetros previamente estabelecidos nos manuais de recomendação de adubação de cada estado, para verificar a necessidade de calagem.

A necessidade de calagem deve ser observada em função dos métodos existentes em cada estado. No caso do RS e SC, deve-se observar se o pH em água do solo está compatível ao desejável para a cultura a ser implantada (para as culturas de milho, soja, feijão, trigo e cevada é o pH 6,0). Já para os estados do Paraná e São Paulo, verifica-se a saturação de bases do solo (V%) do solo, se este está compatível ao desejado, sendo que, para a maioria das culturas, fica entre 60 e 70% (milho, soja, feijão, trigo e cevada). Em outros estados é utilizada a presença de  $Al^{+3}$  e nível de  $Ca^{+2} + Mg^{+2}$ , pois se pretende neutralizar todo o  $Al^{+3}$  adsorvido ou tóxico, e aumentar o  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  a níveis considerados adequados para as culturas.

Todos os estados têm como base o mesmo princípio de aplicar os carbonatos, compostos mais comuns nos calcários, a fim de elevar o pH do solo. Para isso é necessário entender as seguintes reações (simplificadas) do corretivo no solo apresentadas a seguir, tomando por exemplo a reação do carbonato de cálcio ( $CaCO_3$ ).



Assim o produto final dos da reação do carbonatos de cálcio no solo é  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CO}_2$ , sendo que o  $\text{H}^+$  é consumido e transformando em água, proporcionando aumento do pH. O balanço de cargas fica equilibrado dado que ocorre a saída de dois  $\text{H}^+$  e entrada de um  $\text{Ca}^{+2}$ . Observa-se ainda que 100 g de  $\text{CaCO}_3$  (2 mol<sub>c</sub>) tem capacidade de corrigir 2 g  $\text{H}^+$  (2 mol<sub>c</sub>) e adicionar 40 g  $\text{Ca}^{+2}$  (2 mol<sub>c</sub>). Pode-se então dizer que 0,50 g de  $\text{CaCO}_3$  (1 cmol<sub>c</sub>) tem capacidade de corrigir 0,01 g  $\text{H}^+$  (1 cmol<sub>c</sub>) e adicionar 0,20 g  $\text{Ca}^{+2}$  (1 cmol<sub>c</sub>).

mol <sub>c</sub>			cmol <sub>c</sub>		
	Adiciona	Neutraliza		Adiciona	Neutraliza
$\text{CaCO}_3$	$\text{Ca}^{+2}$	$\text{H}^+$	$\text{CaCO}_3$	$\text{Ca}^{+2}$	$\text{H}^+$
100 g	40 g	2 g	0,50 g	0,20 g	0,01 g
2 mol <sub>c</sub>	2 mol <sub>c</sub>	2 mol <sub>c</sub>	1 cmol <sub>c</sub>	1 cmol <sub>c</sub>	1 cmol <sub>c</sub>

Supondo que um solo tenha 1 cmol<sub>c</sub>  $\text{H}^+/\text{dm}^3$  na análise química do solo, e deseja-se corrigir um hectare (10.000 m<sup>2</sup>) deste solo a 20 cm de profundidade (volume = 10.000 m<sup>2</sup> x 0,20 m = 2000 m<sup>3</sup> ou 2.000.000 dm<sup>3</sup>). Conforme discutido acima, a adição de 0,50 g de  $\text{CaCO}_3$  neutraliza 1 cmol<sub>c</sub>  $\text{H}^+$  por dm<sup>3</sup> deste solo, então:

$$0,50 \text{ g CaCO}_3 \text{ --- } 1 \text{ dm}^3$$

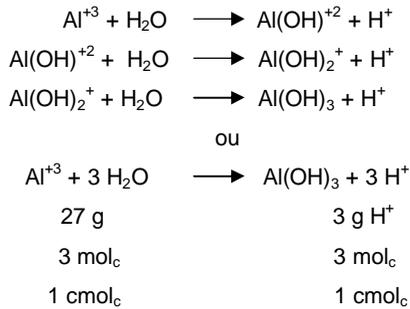
$$X \text{ g CaCO}_3 \text{ --- } 2.000.000 \text{ dm}^3$$

$$\text{Logo, } X = 1.000.000 \text{ g ou } 1 \text{ t CaCO}_3$$

Portanto, para neutralizar o  $\text{H}^+$  deste solo em um hectare a 20 cm (2000 m<sup>3</sup>) é necessário aplicar 1 t de  $\text{CaCO}_3$  nesta área

Observa-se, ainda, que a adição de 0,50 g  $\text{CaCO}_3/\text{dm}^3$  ou 1 t  $\text{CaCO}_3$  em 2000 m<sup>3</sup> (volume correspondente a 1 ha a 20 cm de profundidade), adiciona 1 cmol<sub>c</sub>  $\text{Ca}^{+2}/\text{dm}^3$  ou adiciona 1 cmol<sub>c</sub>  $\text{Ca}^{+2}/\text{dm}^3$  em um hectare, respectivamente.

Caso seja adicionado  $\text{CaCO}_3$ , o  $\text{Al}^{+3}$  também é afetado, pois com aumento do pH o  $\text{Al}^{+3}$  hidroliza formando hidróxidos de baixa solubilidade, não tóxicos às plantas.



Logo em um solo que tenha 1 cmol<sub>c</sub> Al<sup>+3</sup>/dm<sup>3</sup>, este ao hidrolizar vai liberar 1 cmol<sub>c</sub> H<sup>+</sup>/dm<sup>3</sup>. Se for desejado corrigir um hectare deste solo a 20 cm de profundidade (2000 m<sup>3</sup> ou 2.000.000 dm<sup>3</sup>) deste solo, são necessário 1.000.000 g de CaCO<sub>3</sub> ou 1 t de CaCO<sub>3</sub>, para neutralizar o H<sup>+</sup> proveniente da hidrólise do Al<sup>+3</sup>. Veremos, entretanto, outras considerações a respeito a seguir.

A completa hidrólise do Al<sup>+3</sup> ocorre em geral quando o pH aproxima-se de 4,8 em CaCl<sub>2</sub> 0,01 M ou pH 5,4 em H<sub>2</sub>O.

Podemos concluir que, ao aplicar 1 t de CaCO<sub>3</sub> em um volume de solo de 2000 m<sup>3</sup> ou 2.000.000 dm<sup>3</sup> (1 hectare de solo a 20 cm profundidade), este tem capacidade de corrigir 1 cmol<sub>c</sub> Al<sup>+3</sup>/dm<sup>3</sup> ou 1 cmol<sub>c</sub> H<sup>+</sup>/dm<sup>3</sup>, e adicionar 1 cmol<sub>c</sub> Ca<sup>+2</sup>/dm<sup>3</sup>, o qual pode aparecer na próxima análise química do solo.

## 2 MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA NECESSIDADE DE CALAGEM

### 2.1 MÉTODO DA INCUBAÇÃO

O método da incubação é freqüentemente utilizado em pesquisa e tem sérias restrições de uso em trabalho de rotina em face do tempo e volume de trabalho necessário. Este método consiste na coleta de um grande volume solo a ser corrigido, secagem e moagem para obtenção de

material homogêneo. Então o material de solo é colocado em sacos plásticos (em geral amotras de 1 kg), e doses crescentes de corretivo a ser utilizado, ou carbonatos puros, são adicionados ao solo e umedecidos (até próximo a capacidade de campo), fechados e deixados reagir.

A troca gasosa do material do solo é feita com auxílio de um tubo de pequeno diâmetro, sendo a umidade mantida com uso de pesagem. Periodicamente, amostra de material do solo do saco é seco e o pH determinado, repetindo o processo até atingir valor constante. Após a estabilização do pH, relaciona-se pH e dosagem de corretivo, obtendo assim a curva de neutralização do solo, que pode determinar a quantidade de corretivo a ser utilizada para atingir determinado pH.

Este método, embora eficiente, demanda espaço para a realização da incubação, maior mão de obra, além de levar várias semanas para ser concluído, inviabilizando sua utilização para determinação da necessidade de calagem como método de rotina.

## 2.2 MÉTODO DO $Al^{+3} + (Ca^{+2} + Mg^{+2})$

A necessidade de calagem (NC) pelo método do  $Al + (Ca^{+2} + Mg^{+2})$  tem como princípio a correção do  $Al^{+3}$  tóxico que, sem sombra de dúvida, é um limitante ao desenvolvimento de raízes, em solos muito ácidos. O método ainda garante a elevação do teor de  $Ca^{+2} + Mg^{+2}$  para atingir o nível considerado médio, ao adicionar na equação de cálculo da NC o componente  $[2 - (Ca^{+2} + Mg^{+2})]$ .

Na fórmula mostrada a seguir verifica-se que os valores obtidos com equação é  $cmol_c/dm^3$ , que é transformado em t de  $CaCO_3$  a ser aplicado em um hectare a 20 cm profundidade, visto que tanto para corrigir  $1 cmol_c Al^{+3}/dm^3$  ou elevar  $1 cmol_c Ca^{+2}/dm^3$  são necessários 1 t  $CaCO_3$ . Todavia, em estudo de campo verificou-se que 1 t  $CaCO_3$  não era suficiente para corrigir  $1 cmol_c Al^{+3}/dm^3$  em um hectare, pois o corretivo reagia com outras

fontes de acidez como  $H^+$ , utilizando o dobro deste valor. Assim, a equação mais conhecida é expressa da seguinte forma:

$$NC = 2 \times Al^{+3} + [2 - (Ca^{+2} + Mg^{+2})]$$

Nesta fórmula a necessidade de calagem (NC) está em t de corretivo (com PRNT = 100%) por hectare, o  $Al^{+3}$ ,  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  estão em  $cmol_c/dm^3$ . Se os valores de  $Al^{+3}$ ,  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  estiverem em  $mmol_c/dm^3$  é necessário dividir estes valores por 10 antes de aplicar esta fórmula.

Para exemplificar este cálculo, se a análise de solo mostrar os teores de  $Al^{+3} = 0,7 \text{ cmol}_c/dm^3$ ,  $Ca^{+2} = 0,4 \text{ cmol}_c/dm^3$  e  $Mg = 0,2 \text{ cmol}_c/dm^3$ , o cálculo da necessidade de calagem por este método será:

$$NC = 2 \times Al^{+3} + [2 - (Ca^{+2} + Mg^{+2})]$$

$$NC = 2 \times 0,7 + [2 - (0,4 + 0,2)]$$

$$NC = 2,8 \text{ t de corretivo/ha}$$

Note que o resultado de NC é para corretivo de acidez com PRNT de 100%. Para corrigir este valor para os corretivos comercialmente disponíveis veja o capítulo 3.1 (Reação e poder corretivo dos produtos utilizados na agricultura).

Esta é a fórmula mais conhecida, e existem diversas derivações desta fórmula atualmente.

### 2.3 MÉTODO DO V(%) OU SATURAÇÃO DE BASES

O V(%) significa o percentual de cargas da CTC (a pH 7,0) ocupadas por bases, contrapondo a porcentagem ocupada pelo  $H^+$  +  $Al^{+3}$ . Assim, um  $V = 30\%$  significa que 30% das cargas negativas das superfícies dos minerais e matéria orgânica do solo estão ocupadas pelas bases ( $Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^+$ ) e o restante (70%) por  $H^+$  +  $Al^{+3}$ . Este método baseia-se no princípio que existe uma relação direta entre V(%) de um solo e pH, para solos com mineralogia semelhantes. Assim, ao invés de estabelecer uma meta para elevar o pH para ser atingido com aplicação de

corretivo, utiliza-se como referência um V(%) a atingir. Isto é, quando se planeja corrigir o solo elevando o V até 70%, procura-se atingir um pH próximo a 5,4 em  $\text{CaCl}_2$  ou 6,0 em  $\text{H}_2\text{O}$ .

Para calcular a necessidade de calagem pelo método do V(%), deve-se primeiro saber o V(%) do solo na condição em que se encontra no campo, sendo que tal valor é obtido na análise química de solo. O segundo passo é saber o V(%) que se deseja atingir, sendo este tabelado a priori em função dos resultados de pesquisa obtido anteriormente em estudos de campo (Tabela 01). Tendo os dois valores estabelecidos, determina-se o aumento % do V desejado.

O terceiro passo é determinar qual deve ser o aumento do  $\text{Ca}^{+2}$  +  $\text{Mg}^{+2}$  ou decréscimo do ( $\text{H}^+$  +  $\text{Al}^{+3}$ ), para que ocorra o aumento no V%. Tal dado é obtido com uma regra de três simples mostrada a seguir.

T	---	100 % das cargas negativas do solo
NC	---	(V desejado – V solo na condição atual)

$$\text{NC} = [(\text{Vdesejado} - \text{Vsolo}) \times \text{T}] / 100$$

$$\text{NC} = [(\text{Vplanta} - \text{V solo}) \times \text{T}] / 100$$

$$\text{NC} = \text{X cmol}_c/\text{dm}^3$$

$$\text{NC} = \text{aumento em X cmol}_c (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})/\text{dm}^3$$

$$\text{ou diminuição X cmol}_c (\text{H}^+ + \text{Al}^{+3})/\text{dm}^3$$

Conforme discutido na introdução deste capítulo, para elevar em 1  $\text{cmol}_c (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})/\text{dm}^3$  ou diminuir 1  $\text{cmol}_c (\text{H}^+ + \text{Al}^{+2})/\text{dm}^3$ , é necessário adicionar 1 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  a 20 cm profundidade.

Assim, a fórmula de NC por este método fica:

$$\text{NC} = (\text{Vplanta} - \text{Vsolo}) \times \text{T} / 100$$

TABELA 01 - SATURAÇÃO DE BASES RECOMENDADA PARA O ESTADO DE SÃO PAULO. FONTE: RAIJ et al. (1996)

40%
Especiarias, aromáticas e medicinais: capim-limão ou erva-cidreira, citronela-de-java, palmarosa e cardamomo. Estimulantes: chá. Ornamentais e flores: antúrio e azaléia.
50%
Cereais: arroz sequeiro e irrigado, aveia preta e centeio. Especiarias, aromáticas e medicinais: cucuma, digitális, erva-doce, gengibre e urucum. Estimulantes: cacau, café e fumo. Fibrosas: bambu. Frutíferas: abacaxi. Raízes e Tubérculos: araruta industrial e mandioca. Outras culturas industriais: pupunha e seringueira. Forrageiras
60%
Cereais: Triticale. Especiarias, aromáticas e medicinais: confrei e vetiver. Fibrosas: juta e rami. Frutíferas: abacate e banana. Leguminosas e oleaginosas: amendoim, mamona, leguminosas adubos verdes (crotalária, ervilhaca, feijão-guandu, lablabe, mucuna, tremoço), mamona e soja. Ornamentais e flores: gladiolo, plantas ornamentais arbóreas, plantas ornamentais arbustivas e herbáceas. Raízes e Tubérculos: batata, batata-doce, cará e inhame. Outras culturas industriais: cana-de-açúcar.
70%
Cereais: aveia branca, cevada, milho (grãos, silagem, pipoca, verde e doce), sorgo (graníferos, forrageiro e vassoura) e trigo. Especiarias, aromáticas e medicinais: camomila, estêvia, menta (hortelã) e pimenta-do-reino. Fibrosas: algodão, crotalária júncea, linho têxtil e quenafé. Frutíferas: acerola, citros, ameixa, nêspera, pêssego, nectarina, damasco-japonês, figo, maçã, marmelo, pêra, caqui, pecã, macadâmia e goiaba. Hortaliças: melão e melancia. Leguminosas e oleaginosas: ervilha-de-grãos, feijão, gergelim, girassol e grão-de-bico.
80%
Especiarias, aromáticas e medicinais: Píretro. Fibrosas: sisal. Frutíferas: mamão, manga, maracujá, uvas finas para mesa e passa, uvas rústicas para mesa, vinho e suco. Hortaliças: abobrinha, abóbora rasteira, moranga, bucha e pepino, aipo, alcachofra, alface, almeirão, chicória, escarola, rucula, agrião d'água, alho, alho-porro, cebolinha, aspargo, berinjela, jiló, pimenta-hortícola, pimentão, beterraba, cenoura, nabo, rabanete, salsa, brócolos, couve-flor, repolho, cebola, chuchu, couve-manteiga, mostarda, feijão-vagem, feijão-fava, ervilha torta, morango, quiabo e tomate (estaqueado, industrial). Ornamentais: amarilis, crisântemo, gloxínia, gypsophila, rosa e violeta-africana. Raízes e Tubérculos: mandioquinha.
Casos especiais
Solos com matéria orgânica > 50g/dm <sup>3</sup> – milho, sorgo – V desejado de 50%.
Trigo cultivares resistentes – V desejado de 60%

Nesta fórmula, a necessidade de calagem (NC) está em t de corretivo (com PRNT = 100%) por hectare, V planta é a saturação de bases (%) desejada para a cultura (Tabela 01), V solo é a saturação de bases (%) determinada pela análise do solo, e T é a capacidade de troca de cátions potencial em  $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ . Se o Valor T ou T estiver em  $\text{mmol}_e/\text{kg}$  é necessário dividir este valor por 10 para aplicar nesta fórmula.

Para exemplificar a aplicação desta fórmula, se a análise de solo mostrou que  $T = 10,0 \text{ cmol}_e/\text{dm}^3$  e  $V = 40\%$ , e a cultura desejada seja a soja (Vplanta obtido na Tabela 01 de 60%), então:

$$\text{NC} = (\text{Vplanta} - \text{Vsolo}) \times T / 100$$

$$\text{NC} = (60 - 40) \times 10,0 / 100$$

$$\text{NC} = 2,0 \text{ t de corretivo / ha}$$

Note que o resultado de NC é para corretivo de acidez com PRNT de 100%. Para corrigir este valor para os corretivos comercialmente disponíveis veja o capítulo 3.1 (Reação e poder corretivo dos produtos utilizados na agricultura).

Os métodos, quando aplicados para o mesmo solo, podem resultar em doses muito diferentes, dadas as variações nos componentes da acidez. Como exemplo, foi calculada a necessidade de calagem para alguns solos pelos métodos do Al, Al+(Ca+Mg) e V(%) (Tabela 02).

#### 2.4. MÉTODO DO ÍNDICE SMP

O método do índice SMP tem como fundamento a medição do poder tampão do solo através da variação do pH do solo em equilíbrio com uma solução tampão com pH e equilíbrio 7,5. Esta solução tampão difere de uma solução tampão simples, pois é composta da mistura de várias substâncias, que faz com que as variações do pH de equilíbrio sejam lineares, quando tituladas.

TABELA 02 - CÁLCULO DE NECESSIDADE DE CALAGEM PELOS MÉTODOS DO Al, Al + [2 - (Ca + Mg)] E V % (50, 60 e 70 %) PARA QUATRO SOLOS DE DIFERENTES CONDIÇÕES.

Solos	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Al <sup>+3</sup>	SB	H <sup>+</sup> + Al <sup>+3</sup>	T	V
	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>						%
Alissolo*	3	1	8,6	4,3	20,6	24,9	13,0
Latossolo 1**	1,2	0,2	5,3	1,43	22,17	23,6	6,1
Latossolo 2***	0,70		0,4	0,75	5,1	5,9	12,7
Latossolo 3	0,20		0,5	0,27	8,1	8,4	3,2

Solos	Necessidade de Calagem (t/ha)				
	Método V %			Método do Al <sup>+3</sup>	Método do Al <sup>+3</sup> [2 - (Ca <sup>+2</sup> + Mg <sup>+2</sup> )]
	50	60	70		
Alissolo	9,2	11,7	14,2	17,2	17,2
Latossolo 1	10,4	12,7	15,1	10,6	11,2
Latossolo 2	2,2	2,8	3,4	0,8	2,1
Latossolo 3	3,9	4,8	5,6	1	2,8

FONTE: \*EMBRAPA (1984), \*\*LIMA et al. (1985) e \*\*\*EMBRAPA (1983).

Assim, ao misturar o solo com uma solução tampão, os pHs de equilíbrio são em geral menores que 7,5 indicando liberação de fontes de acidez do solo para a solução. Quanto menor for o pH de equilíbrio maior será o poder tampão do solo, sendo necessária maior quantidade de corretivo da acidez na elevação do pH do solo. Pesquisadores do RS e SC estabeleceram três valores de pH em água (5,5; 6,0 e 6,5) a serem atingidos em função da sensibilidade das culturas à acidez dos solos (Tabela 03).

Por exemplo, se a análise de solo indicou que o índice SMP do solo é 5,9 e a cultura a ser implantada é o milho, o pH em água a ser atingido é 6,0, e portanto a necessidade de calagem é 3,7 t /ha (para corretivo com PRNT = 100%), com base na Tabela 03.

TABELA 03 - CALAGEM PELO MÉTODO DO ÍNDICE SMP, UTILIZADO NO RS E SC. FONTE: COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC (2004).

Índice SMP	pH em água a atingir		
	5,5	6,0	6,5
	NC (t/ha)		
≤ 4,4	15,0	21,0	29,0
4,5	12,5	17,3	24,0
4,6	10,9	15,1	20,0
4,7	9,6	13,3	17,5
4,8	8,5	11,9	15,7
4,9	7,7	10,7	14,2
5,0	6,6	9,9	13,3
5,1	6,0	9,1	12,3
5,2	5,3	8,3	11,3
5,3	4,8	7,5	10,4
5,4	4,2	6,8	9,5
5,5	3,7	6,1	8,6
5,6	3,2	5,4	7,8
5,7	2,8	4,8	7,0
5,8	2,3	4,2	6,3
5,9	2,0	3,7	5,6
6,0	1,6	3,2	4,9
6,1	1,3	2,7	4,3
6,2	1,0	2,2	3,7
6,3	0,8	1,8	3,1
6,4	0,6	1,4	2,6
6,5	0,4	1,1	2,1
6,6	0,2	0,8	1,6
6,7	0,0	0,5	1,2
6,8	0,0	0,3	0,8
6,9	0,0	0,2	0,5
7,0	0,0	0,0	0,2

### CULTURAS

Sem correção de acidez<sup>(1)</sup>:

Erva-mate, mandioca, pastagem natural, araucária, arroz irrigado no sistema pré-germinado ou com transplante de mudas.

Calagem para pH 5,5 em água:

Abacaxi, acácia-negra, alfavaca, amoreira preta, arroz irrigado no sistema de solo seco, batata, bracinga, calêndula, camomila, capim elefante, cardamomo, carqueja, coentro, curcuma, erva-doce, eucalipto, funcho, gramíneas forrageiras de estação quente e fria, gengibre, mangericão, pinus, salsa.

Calagem para pH 6,0 em água:

Abacateiro, abóbora, alcachofra, alface, alho, almeirão, ameixeira, amendoim, arroz de sequeiro, aveia, bananeira, batata-doce, beterraba, brócolos, cana-de-açúcar, camomila, canola, caqui, cebola, cenoura, cevada, chicória, citros, consórcio de gramíneas e leguminosas de estação quente e fria, couve-flor, crisântemo, ervilha, estêvia, feijão, figueira, fumo, girassol, hortelã, leguminosas forrageiras de estação quente e fria, linho, macieira, maracujazeiro, melancia, melão, milho, moranga, morangueiro, nectarineira, noqueira pecã, painço, pepino, pereira, pessegueiro, pimentão, quiveiro, rabanete, repolho, roseira, rúcula, soja, sorgo, tomate, tremoço, trigo, tritcale, urucum, vetiver, videira

Calagem para pH 6,5 em água:

Alfafa, aspargo, pietro

<sup>(1)</sup>Aplicar 1 t/ha de calcário se  $Ca^{+2} = 2,0 \text{ cmol}_c/dm^3$  ou  $Mg = 0,5 \text{ cmol}_c/dm^3$

A grande maioria das culturas tem como valor de pH em água a ser atingido de 6,0; o que se aproxima em muito ao valor de V de 70%, o que corresponde a um pH em  $\text{CaCl}_2$  0,01 M de cerca de 5,4, ou pH em água de aproximadamente 6,1. Todavia, as doses de corretivo apresentadas na Tabela 03 foram estabelecidas com base no poder tampão do Rio Grande do Sul e Santa Catarina que adotam o método do índice SMP, podendo haver diferenças quando utilizado em outros estados, ou em condições de solos específicos. RAIJ et al. (1979) calibraram o método do índice SMP para solos do estado de São Paulo, enquanto LIMA (1993) observou a necessidade de se calibrar o método do índice SMP para solos com teores mais elevados de areia da Depressão Central do Rio Grande do Sul.

### 3 CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO

Três grupos químicos são utilizados com frequência como corretivo da acidez do solo: carbonatos, óxidos e hidróxidos. Os carbonatos são os componentes de diversas rochas de origem sedimentar e metamórfica.

**a) Calcário:** sem dúvida, o mais abundante e mais utilizado dos corretivos, sendo este de origem sedimentar, formado em antigos mares e lagos. Os calcários se formaram em condições onde o pH da água era maior que 8,2 e havia abundância de cátions ( $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ ) e ânion ( $\text{CO}_3^{-}$ ), os quais precipitaram, formando grandes depósitos de carbonatos de Ca e Mg. Pode-se então concluir que os carbonatos foram em grande parte originados do  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  perdido pelo solo ao longo de milhares de anos, quando do intemperismo. O ser humano interfere no ciclo do  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ , quando repõem estes elementos, que foram lixiviados do solo ao longo do processo de acidificação.

Em muitos casos o ambiente de precipitação, teve inclusão de compostos orgânicos ou minerais, sendo as impurezas dos corretivos hoje

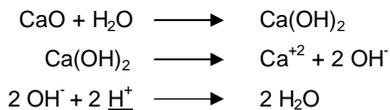
utilizados na agricultura, em alguns casos dando um elevado teor de Si, Al, Fe e S. Neste caso, em particular, os níveis de S são tão elevados que aplicação elevada deste elemento pode resultar em significativa quantidade nas plantas. Embora os teores de Al possam ser elevados em alguns calcários, este não tem nenhuma importância em termo de acidificação e toxidez as plantas, pois se encontra na forma de compostos estáveis, provavelmente silicatos (caulinita, gibsitita e outros). Este é um exemplo pouco comum, pois a maioria dos corretivos apresenta menor nível de impurezas. Ainda, mesmo em pequena concentração, todos os calcários também têm diversos micronutrientes. Todavia essa adição não tem sido considerada significativa.

Os calcários também têm proporção variada de Ca e Mg, dependendo das condições de deposição, e podem ser classificados como calcíticos (MgO < 5%), magnesianos (5 a 12% de MgO) ou dolomíticos (MgO > 12%). Os preços entre os diversos tipos de corretivos, variam em função da abundância das jazidas encontradas na região, pelo custo de extração, processamento e transporte, e pela demanda além da agrícola (por exemplo na fabricação de cimento ou cal).

**b) Calcário de conchas:** é outro carbonato utilizado em menor expressão, devido a menor abundância, proveniente de depósitos marinhos. Este normalmente é calcítico e, face às condições de deposição, podem conter impurezas diversas. Os calcários de conchas apresentam poder de neutralização muito próximo ao calcário comum encontrado no mercado.

Também existem depósitos de conchas de origem antropogênica, formados pelos indígenas que habitaram o nosso litoral. Todavia estes devem ser preservados, pois representam sítios arqueológicos que contém artefatos e restos humanos.

**c) Cal virgem e calcário parcialmente calcinado:** óxidos de metais alcalinos e alcalino terrosos também podem atuar como corretivo, sendo os mais comuns os óxidos de Ca (CaO) e Mg (MgO), obtidos pela calcinação dos carbonatos, quando aquecidos a mais de 800 °C. Queima parcial dos carbonatos pode propiciar transformação de parte dos carbonatos em óxidos dando origem ao calcário parcialmente calcinado. Assim, é possível utilizar cal virgem ou o calcário parcialmente calcinado na correção da acidez do solo, porém como o processo de calcinação requer grande quantidade de energia, normalmente torna-se proibitivo o uso deste produto face ao maior custo. Observe abaixo a reação da cal virgem (CaO) no solo:



**d) Cinzas:** é outro produto na forma de óxido, produzido na geração de energia, o qual tem composição variada. Dependendo da fonte, algumas cinzas têm elevado teor de K, principalmente quando o material utilizado apresenta folha ou casca.

**e) Escórias:** resíduos de siderúrgicas também apresentam valor corretivo, por apresentar óxidos de elementos alcalinos terrosos, pois o calcário é adicionado ao minério e juntos com o carvão mineral são fundidos. Os óxidos formados sobem levando as impurezas dos minérios e carvão. A escória de siderurgia, como é chamada, pode ser utilizada na fabricação de cimento ou como corretivo agrícola. Todavia, deve-se observar os teores de metais como impurezas a fim de evitar prováveis contaminação do solo e planta.

**f) Cal extinta:** hidróxidos de metais alcalinos terrosos também podem ser utilizados na correção da acidez do solo, sendo este produto da hidratação dos óxidos. O hidróxido de Ca, na forma de cal extinta apresenta o mesmo problema que os óxidos, ou seja, o preço normalmente proibitivo para uso agrícola. Observe a reação da cal extinta -  $\text{Ca(OH)}_2$  - na descrição da reação da cal virgem.

**g) Biossólido caleado:** existem diversos resíduos que utilizam a cal no processo de descontaminação, entre estes o lodo de esgoto, chamado atualmente de biossólido caleado, que recebe o equivalente a 50% do peso seco em cal, tornando-o um produto com elevado poder na correção da acidez do solo, além de ser fonte de nutrientes. Sua aplicação com fins agrícolas segue regras, estabelecidas pelos órgãos ambientais estaduais e/ou federais.

**h) Lama de cal:** a cal também é empregada no processo industrial de clareamento de pasta de celulose, onde parte desta sobra na forma de uma massa pastosa, chamada de lama de cal. O uso deste resíduo é restrito às áreas próximas às fábricas de celulose, mas vem sendo comercializado com valor muito inferior ao calcário. Apesar de ser um produto altamente reativo, por ser muito fino, apresenta em dias de muito vento, dificuldades de aplicação (deriva). Como este produto ainda apresenta pequenas concentrações de  $\text{Na(OH)}$  residual, exige cuidado para evitar contato com pele, e adequada limpeza da máquina de aplicação para evitar corrosão. O menor custo e o alto poder de correção da acidez do solo fazem deste produto uma excelente opção em relação ao calcário.

**i) Calxisto:** rocha carbonatada, denominada marga dolomítica, que é um subproduto da mineração de folhelho pirobetuminoso. Normalmente apresenta reduzido PRNT, e sua utilização se torna viável apenas se o custo do produto for compensatório em relação a outros corretivos.

### 3.1 REAÇÃO E PODER CORRETIVO DOS PRODUTOS UTILIZADOS NA AGRICULTURA

#### 3.1.1 Poder de neutralização (PN) dos corretivos de acidez do solo

Diferentes corretivos exigem quantidades distintas para neutralizar a mesma quantidade de acidez. O poder de neutralização (PN) está relacionado com aspectos químicos do corretivo (Tabela 04), e com o grau de impurezas.

TABELA 04 – CAPACIDADE NEUTRALIZANTE DOS PRINCIPAIS COMPOSTOS QUÍMICOS UTILIZADOS COMO CORRETIVO DE ACIDEZ DO SOLO

CORRETIVO	ADICIONA	NEUTRALIZA
CaCO <sub>3</sub> 0,50 g 1 cmol <sub>c</sub>	Ca <sup>+2</sup> 0,20 g 1 cmol <sub>c</sub>	H <sup>+</sup> 0,01 g 1 cmol <sub>c</sub>
MgCO <sub>3</sub> 0,42 g 1 cmol <sub>c</sub>	Mg <sup>+2</sup> 0,12 g 1 cmol <sub>c</sub>	H <sup>+</sup> 0,01 g 1 cmol <sub>c</sub>
CaO 0,28 g 1 cmol <sub>c</sub>	Ca <sup>+2</sup> 0,20 g 1 cmol <sub>c</sub>	H <sup>+</sup> 0,01 g 1 cmol <sub>c</sub>
MgO 0,20 g 1 cmol <sub>c</sub>	Mg <sup>+2</sup> 0,12 g 1 cmol <sub>c</sub>	H <sup>+</sup> 0,01 g 1 cmol <sub>c</sub>
Ca(OH) <sub>2</sub> 0,37 g 1 cmol <sub>c</sub>	Ca <sup>+2</sup> 0,20 g 1 cmol <sub>c</sub>	H <sup>+</sup> 0,01 g 1 cmol <sub>c</sub>
Mg(OH) <sub>2</sub> 0,29 g 1 cmol <sub>c</sub>	Mg <sup>+2</sup> 0,12 g 1 cmol <sub>c</sub>	H <sup>+</sup> 0,01 g 1 cmol <sub>c</sub>

O PN poderá ser calculado com base no teor de CaO e MgO, apresentados no corretivo (equivalente a  $\text{CaCO}_3$  que recebe valor de PN = 100%), ou poderá, preferencialmente, ser determinado em análise, através da neutralização do corretivo com um ácido forte ( $\text{HCl}$  1 mol/dm<sup>3</sup>). Como é possível observar na Tabela 05, os corretivos, por apresentarem diferentes composições, possuem distintos valores mínimos de PN.

TABELA 05 - CLASSIFICAÇÃO DOS CORRETIVOS CONFORME A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA (BRASIL, 1986; BRASIL, 1994).

CLASSIFICAÇÃO	MgO (%)	PN MÍNIMO (%)	PRNT (%)	CaO + MgO MÍNIMO (%)
Calcítico	< 5			
Magnesiano	5 a 12			
Dolomítico	> 12			
Classe A			45 a 60	
Classe B			60,1 a 75,0	
Classe C			75,1 a 90,0	
Classe D			> 90	
Calcário		67		38
Cal virgem agrícola		125		68
Cal hidratada agrícola		94		50
Escória		60		30
Calcário calcinado agrícola		80		43
Calxisto		60		30
Outros		67		38

### 3.1.2. Eficiência relativa (ER) dos corretivos de acidez do solo

Os carbonatos (calcários), principais corretivos da acidez do solo, são em geral muito pouco solúveis em água e tem sua reação dependente de diversas propriedades do solo, como: acidez, teores de bases, umidade e temperatura do solo. Ainda, a reação do calcário no solo também depende da eficiência relativa (ER), e envolve o aspecto físico do corretivo. A velocidade de reação do calcário é diretamente proporcional à superfície de contato ou superfície específica, a qual, por sua vez, é inversamente

proporcional ao tamanho das partículas. Logo, menores partículas de corretivo têm maior superfície específica e reagem mais rapidamente no solo, indicando que calcários mais finos são mais reativos. Todavia a moagem do corretivo envolve gasto de energia, elevando o custo final dos calcários mais finos.

A fim de obter valores de velocidade de reação sobre diferentes partículas de calcário, é necessário a separação de diferentes tamanhos de partículas, e colocar reagindo com solo sob condição de umidade ideal. Após a incubação com cada partícula verifica-se as mudanças de pH envolvido, determinando assim a eficiência relativa (ER), equivalente a um período de 2 anos.

A legislação brasileira (BRASIL, 1986) cita quatro frações granulométricas para os corretivos de acidez, que são separadas com o auxílio de peneiras, com malhas 2; 0,84 e 0,3 mm. Assim, é possível obter a percentagem de partículas > 2,0 mm (ficam retidas na peneira de 2 mm); 0,84 - 2,0 mm (ficam retidas na peneira 0,84 mm); 0,3-0,84 (ficam retidas na peneira de 0,3 mm) e < 0,3 mm (passam pela peneira de 0,3 mm e ficam retidas reservatório colocado abaixo da mesma). O valor tabelado da ER é de 100% para partículas menores que 0,3 mm, 60% para partículas entre 0,3 a 0,84 mm, 20% para partículas entre 0,84 a 2,0 mm, e 0% para partículas maiores que 2,0 mm.

### 3.1.3. Poder relativo de neutralização total (PRNT) dos corretivos

O PRNT é o parâmetro que combina os aspectos químicos (PN) e físicos (ER) dos corretivos. Como exemplo será tomado um calcário com PN = 92% e ER = 88%. Logo, como PN = 92% (devido à composição química), sabemos que 100 kg do corretivo aplicado cerca de 92 kg reagirá como  $\text{CaCO}_3$ .

Todavia, como o ER = 88% (devido à granulometria) só 88% do corretivo irá reagir como  $\text{CaCO}_3$  no período desejado. Assim:

100 kg  $\text{CaCO}_3$  adicionado ao solo --- 88 kg reagirá (ER)

92 kg  $\text{CaCO}_3$  (PN) adicionado ao solo --- X (PRNT) reagirá

X = 81 kg reagirá

ou

$$\text{PRNT} = (\text{PN} \times \text{ER}) / 100 = (92 \times 88) / 100 = 81\%$$

Em resumo, o PRNT indica quanto de corretivo irá reagir como  $\text{CaCO}_3$  em um período de 2 anos, e auxilia na definição do quanto do corretivo deverá ser aplicado ao solo.

Por exemplo, se um técnico calculou que necessidade de calagem, determinada pelo método do V(%), indicando a necessidade de aplicar 6 t/ha de calcário com PRNT = 100%. Caso o corretivo encontrado para compra tenha PRNT = 81%, será necessário aplicar:

100 t do calcário --- 81 t reagirá como  $\text{CaCO}_3$  em 2 anos

X t do calcário --- 6 t reagirá como  $\text{CaCO}_3$  em 2 anos

X = 7,4 t/ha de um calcário PRNT = 81%.

Assim, deverão ser aplicados 7,4 t calcário com PRNT = 81%, ou seja, um pouco acima do que 6 t/ha, procurando compensar o que não reage como  $\text{CaCO}_3$  e o que levará mais 2 anos para reagir.

A apresentação do PRNT na embalagem é obrigatória, sendo o valor mínimo de 45% (BRASIL, 1986). O produtor rural deve ser alertado sobre a qualidade dos diferentes corretivos, pois baixo valor de PRNT exige maior quantidade a ser transportada e maior custo de aplicação. Deve-se sempre comparar os diferentes corretivos de acidez disponíveis no mercado, para indicar aquele que terá maior economicidade para o

produtor rural, considerando o preço por tonelada, PRNT, e custo e operacionalização de transporte, armazenamento e aplicação.

#### **4. POR QUE FAZER CALAGEM E O QUE MUDA NO SOLO COM ELEVAÇÃO DO pH**

O primeiro objetivo da calagem é, sem dúvida, eliminar o  $Al^{+3}$  que interfere no crescimento de raízes, principalmente dos pêlos radiculares, ao quais conferem alta superfície de contato, e conseqüente absorção de nutrientes e água. O  $Al^{+3}$  diminui alongamento e multiplicação das células radiculares, ficando as raízes curtas grossas e nuas, sem presença de pêlos radiculares.

A menor superfície da raiz faz com que a planta tenha problemas com suprimento de água em período de secas, e carência nutricional de um ou mais nutrientes, sendo os mais comuns P e K.

O volume radicular promove um aumento indireto da disponibilidade de nutrientes, isto é, as raízes crescem e absorvem mais os nutrientes já existentes no solo. O efeito indireto na disponibilidade de nutrientes é, na maioria dos casos, mais importante do que o efeito direto do aumento do nutriente propriamente dito no solo, que também podem aumentar sua disponibilidade com calagem adequada.

O aumento da disponibilidade de Ca e Mg é direto, visto que estes elementos fazem parte da maioria dos corretivos utilizados na agricultura.

Todavia nem todos nutrientes aumentam sua disponibilidade com a calagem, a exemplo do Fe, Mn, Cu, Zn, Ni e B que em geral decrescem com aumento do pH, pois passam a serem mais adsorvidos ou formam compostos menos solúveis no solo. Mas nenhum deles parece ser tão sensível à variação do pH quanto o Mn, o qual pode gerar toxidez em solo muito ácido e gerar deficiência em solo levemente ácido (pH maior que 6,0

em  $\text{CaCl}_2$ ), principalmente em leguminosas. Acima deste pH também se torna comum a ocorrência de deficiência de Fe em alguns casos.

O aumento na disponibilidade de N e S, com a elevação do pH, pode estar relacionado com aumento na atividade microbiana do solo, visto o grande aumento na população de bactérias. Por outro lado ocorre decréscimo na atividade de fungos e actinomicetos.

Não apenas os nutrientes contidos no solo são influenciados pela calagem, mas também os nutrientes adicionados na forma de adubo, pois um maior crescimento de raízes favorecerá um maior aproveitamento dos nutrientes.

A mudança na população de microorganismo também pode ser vista sob o aspecto da incidência de doenças. O pH próximo ao normalmente utilizado para o cultivo de grãos, pode ser muito elevado para a cultura da batata, em face de possibilidade de aumento da incidência da doença denominada sarna, diminuindo a qualidade e valor comercial do tubérculo. Diferente da sarna, a hérnia das brássicas tem atacado intensivamente áreas com baixo pH do solo. Assim, deve-se conhecer o eventual efeito do pH do solo nas doenças da cultura, antes de se recomendar a calagem.

No estabelecimento de leguminosas a elevação do pH permite, em muitos casos, aumento na fixação biológica de nitrogênio (FBN), visto que as bactérias que formam os nódulos na soja, por exemplo, mostram-se em muitos casos mais sensíveis à acidez do que a própria cultura.

A geração de cargas nas superfícies dos minerais do solo também é influenciada pela mudança do pH, pois nossos solos têm, em geral, baixa capacidade de troca de cátions (CTC), e a elevação do pH permite a geração de cargas, diminuindo a lixiviação de cátions como o  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{K}^+$ . Porém, o aumento do pH é acompanhado por decréscimo na capacidade de troca de ânions (CTA), maior lixiviação de alguns nutrientes que ocorrem na forma de ânions.

## 5. FATORES QUE AFETAM RESPOSTA A CALAGEM

A resposta à calagem não ocorre na mesma proporção para todos os solos e culturas, estando ainda sujeito a variação do manejo do solo. Infelizmente não é possível considerar todos os fatores nos métodos de cálculo de necessidade de calagem, mas devem ser conhecidos para identificar possíveis variações na resposta a calagem no campo.

### 5.1 TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E RESÍDUOS EM DECOMPOSIÇÃO

A matéria orgânica estável do solo tem sido indicada como fator importante na diminuição do efeito da acidez sobre o crescimento das plantas (KAPLAND e ESTES, 1985). Isto é mais determinante no caso de solos turfosos, com ocorrência de solos com pH tão baixo como 4,2 podendo apresentar boas produtividades (MILLAR, 1959; EVANS e KAMPRAT, 1970). O efeito da matéria orgânica tem sido adicionado aos métodos de cálculo da necessidade de calagem pelo decréscimo do V a ser atingido de 70% para 50% em solos com teor de matéria orgânica maior que 50 g/dm<sup>3</sup> (RAIJ et al., 1996). Contudo, é provável que valores ainda menores possam resultar em elevada produtividade em solos orgânicos.

Assim como a matéria orgânica estável do solo, a matéria orgânica em decomposição em ambientes naturais (HUE et al., 1986) ou cultivados, na forma de resíduos (MIYAZAWA et al., 2000; PAVAN e CALEGARI, 2003; AHMAD e TAN, 1986), tem sido apontada como fator importante no decréscimo na atividade do Al<sup>+3</sup> em solução, diminuindo sua toxidez. Ainda, os resíduos em decomposição podem atuar na elevação do pH, de modo temporário ou mesmo em longo prazo. Por isso, em muitos casos, deve-se estar atento, em sistemas de agricultura orgânica, nos quais o suprimento de esterco e resíduos orgânicos pode influir na resposta a calagem (HUE, 1992; ERNANI e GIANELLO, 1983).

## 5.2 CULTIVAR E CULTURAS EM ROTAÇÃO

As recomendações são feitas por cultura, embora na maioria dos casos utilize-se a rotação de culturas. Isto, em geral não é um problema visto que se recomendam valores próximos de V(%) ou pH em água, para a maioria das grandes culturas.

Contudo, quando a recomendação por cultura não leva em consideração as cultivares pode eliminar a possibilidade de utilizar menor quantidade de corretivo, principalmente em casos onde existe dificuldade de uso ou custo, como é o caso de pequenos produtores descapitalizados. Descarta-se com isso o trabalho de muitos pesquisadores que tentaram selecionar cultivares adaptadas aos solos ácidos.

## 5.3 NÍVEIS DE MACRO E MICRONUTRIENTES NO SOLO OU APLICADOS VIA ADUBAÇÃO

O nível dos nutrientes no solo pode afetar a resposta dos corretivos de acidez. Em muitos casos a aplicação de corretivo pode ter seu efeito comprometido quando o nível de Zn e B são deficientes. Como citado anteriormente, a elevação do pH pode diminuir a disponibilidade destes elementos não havendo com isso aumento da produtividade. Com isso, a aplicação conjunta de corretivo e Zn ou B, pode apresentar uma forte interação, ocorrendo aumentos muito maiores que a aplicação de forma isolada.

Por um outro lado o uso de Mo em pequena quantidade pode diminuir o efeito do corretivo, visto que, aumento do pH tem como efeito benéfico o aumento da disponibilidade de Mo (QUAGGIO et al., 1998). O mesmo ocorre em relação ao P, que quando aplicado em elevada dose pode diminuir o efeito do corretivo no crescimento da planta. Logo, solos com elevados teores de P e Mo podem ter diminuído o efeito do uso de corretivo da acidez.

#### 5.4 CONDIÇÕES DE UMIDADE DO SOLO

Como foi citado anteriormente, em condições de elevada acidez, o crescimento de raiz é afetado, ficando as plantas mais sensíveis a carência de água. Assim o efeito da calagem pode ter efeito em condições de carência de água, devido ao maior crescimento de raízes, determinando maior possibilidade de aumento no rendimento das culturas.

Outro fato relacionado à umidade do solo, está no efeito da decomposição de matéria orgânica na produção de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, que atuam no decréscimo da atividade e toxidez de  $Al^{+3}$ , nas camadas superficiais e profundas do solo. Existe ainda o efeito diluição da solução do solo, quando do aumento da umidade, com diminuição da toxidez de Al.

#### 5.5 SISTEMA DE CULTIVO

Com a adoção do plantio direto, têm sido observadas produtividades elevadas, ou não resposta ao uso de corretivo, mesmo em condições de solos relativamente ácidos. Uma grande diferença no sistema de plantio direto está na presença de palha, manutenção de maior umidade e temperatura mais amena no solo. Outra diferença muito marcante está no crescimento de raízes, seguindo canais preferenciais, formados pela morte de raízes e atividade de microrganismo (bioporos). Muitos destes bioporos têm pH diferente do resto do solo, tendo em muitos casos menor acidez, e permitindo o crescimento de raízes em maior profundidade.

O somatório das modificações causadas pela adoção do plantio direto provavelmente contribui para a redução do efeito da acidez e resposta favorável ao uso de corretivos.

## 5.6 MINERALOGIA DO SOLO

Solo mais intemperizados, com mais óxidos, tem grupos ácidos mais fracos do que a caulinita que, por sua vez, são mais fracos que os argilominerais do tipo 2:1. Assim, um solo com mais óxidos tem, em geral, pH mais elevado para mesma saturação de bases do que um solo com predominância de argilominerais 1:1 e 2:1. Contudo tais diferenças tendem a desaparecer quando a matéria orgânica representa os grupos principais.

## 6 USO DOS CORRETIVOS DE ACIDEZ NO SOLO

### 6.1 APLICAÇÃO LOCALIZADA E EM ÁREA TOTAL

Os corretivos podem ser aplicados em área total ou localizados (sulco de plantio ou cova). A aplicação em cova tem sido utilizada para implantação de culturas perenes, como café e fruteiras, mas sua recomendação é limitada, face ao reduzido uso de covas na implantação destas culturas atualmente. Com a maior utilização de sulcos para o estabelecimento culturas perenes, a calagem também pode ser aplicada no sulco, embora não seja o mais recomendado, podendo ser utilizada em casos restritos.

O uso de pequenas doses de corretivo (150 a 250 kg/ha), no sulco de plantio de culturas anuais, de modo isolado, ou em conjunto com aplicação em área total, tem sido pesquisada com resultados variados. Neste caso o corretivo utilizado deve possuir elevado PRNT, de modo a garantir reação rápida com o solo. Mas, de modo geral, não há adoção generalizada desta prática, pois ocorre menor potencial de aumento da produtividade comparado com a aplicação em área total, menor efeito residual (pequena dose aplicada), e a adição de corretivo ocorre em um período em que o tempo é escasso.

Assim, a aplicação em área total (manual ou mecânica) prevalece sobre a aplicação localizada. Aplicação manual geralmente pode ser

empregada para pequenas áreas, face ao baixo rendimento. A aplicação mecânica pode ser a lanço ou em linhas uniformes no campo. A aplicação mecânica a lanço requer atenção especial, pois, em muitos casos, requer a sobreposição, devido à maior adição de corretivo no centro da faixa de aplicação, próximo ao rotor que proporciona o espalhamento. Ao não se observar tal fato, podem ocorrer faixas sucessivas com elevado ou baixo pH no campo.

## 6.2 INCORPORAÇÃO E MOBILIDADE DOS CORRETIVOS DA ACIDEZ

Duas linhas de pensamento vêm sendo pesquisadas em substituição à incorporação dos corretivos na camada arável (até 17 a 20 cm), como tradicionalmente se utiliza. A primeira prevê a incorporação do corretivo além da camada arável, na tentativa de aumentar o volume de solo corrigido de imediato, melhorando o volume para exploração de água e nutrientes pelas raízes das plantas cultivadas. A segunda linha de pensamento prevê a não incorporação do corretivo, diminuindo a interferência do uso de máquinas, partindo do princípio de que o calcário poderia se translocar em profundidade no decorrer do tempo.

Assim, o foco desta discussão recai sobre a possibilidade de mobilidade do corretivo da acidez em profundidade. Diversos fatores podem influir sobre a mobilidade dos corretivos aplicados no solo: a) dose aplicada; b) tempo decorrido da aplicação; c) tipo de solo; d) sistema de manejo; e) presença de componentes orgânicos; f) características do corretivo; g) clima.

A dose aplicada é um determinante do efeito do corretivo em profundidade, havendo uma relação direta entre dose aplicada e a profundidade do solo afetada pelo uso de corretivo (BROWN et al., 1956; SOUZA e RITCHEY, 1986; KOCH e ESTES, 1986; GASCHO e PARKER, 2001; MOREIRA et al., 2001). Todavia, existem limites que devem ser

observados, para não proporcionar uma elevação excessiva do pH na superfície do solo, o que provoca a diminuição da disponibilidade de nutrientes, interferindo no crescimento das plantas. SOUZA e RITCHEY (1986) indicaram um aumento do pH até 60 cm de profundidade pelo uso de 7,5 t/ha de corretivo (a dose recomendada para solo era 4 t/ha), após oito anos de cultivo, em solo argiloso do Cerrado.

O tempo após a aplicação e profundidade atingida pelo efeito do corretivo também deve ser considerado (BROWN et al., 1956; KOCH e ESTES, 1986; SOUZA e RITCHEY, 1986; OLIVEIRA e PAVAN, 1996; MOREIRA et al., 2001; TYLER et al., 2001; CAIRES et al., 2003; GASCHO e PARKER, 2001). O tempo necessário para provocar variações abaixo da profundidade de aplicação tem variado de alguns anos até algumas dezenas de anos (Tabela 06). Os resultados apresentados por BROWN et al. (1956), a partir de uma única aplicação, em solo areno siltoso, mostram mudanças no pH até 35 cm de profundidade após 9 anos sob condições de pastagens (Figura 01). Esta diferença de pH alcançou mais de 50 cm após 23 anos, havendo decréscimo nas diferenças nos primeiros centímetros do solo (Figura 01), devido provavelmente à acidificação superficial. Resultados ainda mais intensos de neutralização em profundidade foram observados por GASCHO e PARKER (2001) através de aplicação sucessiva de corretivo em dois solos com baixo teor de argila, com efeito, até a última camada avaliada (90 cm de profundidade) após 24 e 31 anos (Figura 02).

O elevado efeito do uso corretivo no pH,  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  em profundidade em solos arenosos (GASCHO e PARKER, 2001) pode ser consequência de fatores como o menor poder tampão e alta capacidade de percolação de água nestas condições. Segundo informações pessoais de produtores da região dos Campos Gerais (Estado do Paraná), as variações do pH em profundidade ocorrem com maior velocidade em solos

arenosos, até a profundidade de 40 cm. SOUZA e RITCHEY (1986) descrevem que foram necessários 8 anos para verificar variação de pH até 60 cm de profundidade, aplicando 7,5 t/ha de corretivo em solo argiloso. Os autores ainda indicam que para solos de textura média e arenosa este tempo reduziu para 4 anos.

TABELA 06 - EFEITO DO USO DE CORRETIVO, APLICADO EM SUPERFÍCIE, NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO, EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE SOLO E CLIMA.

AUTOR(ES)	ANOS	PROFUNDIDADE. ATINGIDA (cm)	PARÂMETROS	TEXTURA DO SOLO
KOCK e ESTES, 1986	6	10	pH	
KAMINSKI et al., 2005	7	10	pH	media
KAMINSKI et al. 2005	7	17,5	Al <sup>+3</sup>	media
KAMINSKI et al. 2005	7	22,5	m %	media
GASCHO e PARKER, 2001	31	90	pH	arenoso
GASCHO e PARKER, 2001	24	90	pH	arenoso
GASCHO e PARKER, 2001	31	90	Ca <sup>+2</sup>	arenoso
GASCHO e PARKER, 2001	24	90	Ca <sup>+2</sup>	arenoso
OLIVEIRA e PAVAN, 1996	1,5	40	Ph	argiloso
OLIVEIRA e PAVAN, 1996	1,5	40	Al <sup>+3</sup>	argiloso
MOREIRA et al., 2001	3	20	pH	argiloso
CIOTTA et al., 2004	21	15	pH	argiloso
CIOTTA et al., 2004	21	20	Al <sup>+3</sup>	argiloso
PAVAN, 1992	5	15	Al <sup>+3</sup>	
PAVAN, 1994	2	40	pH e Al <sup>+3</sup>	
CAIRES et al., 2003	3	20-40	pH	argiloso
TYLER et al., 2001	2	7,5 a 15		

O sistema de cultivo também pode afetar a velocidade das mudanças químicas do solo em profundidade devido a calagem. Pode haver, no plantio direto, um maior número de macrorganismos, como minhocas e coleópteros, em relação ao plantio convencional. Além disto, ocorre maior abundância de resíduos de culturas no plantio direto,

podendo contribuir para acelerar o processo de mudança em profundidade (PAVAN, 1994).

FIGURA 01 - EFEITO DE DOSES (0, 2, 4, 8 e 16 t/ha) E TEMPO (9 e 23 ANOS) APÓS A APLICAÇÃO DE CORRETIVO, NA MUDANÇA DO pH DO SOLO EM PROFUNDIDADE (BROWN et al., 1956).

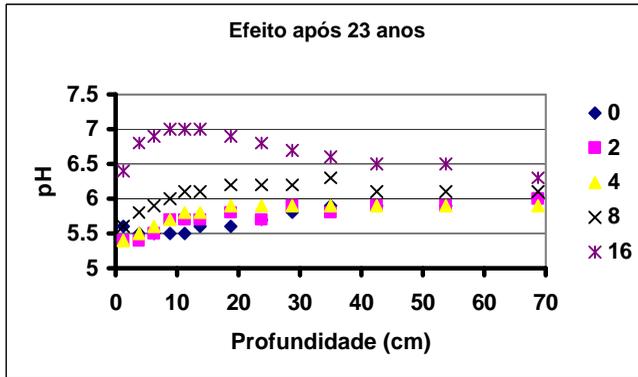
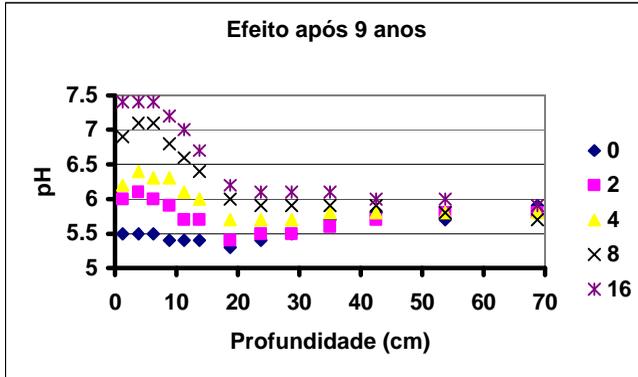
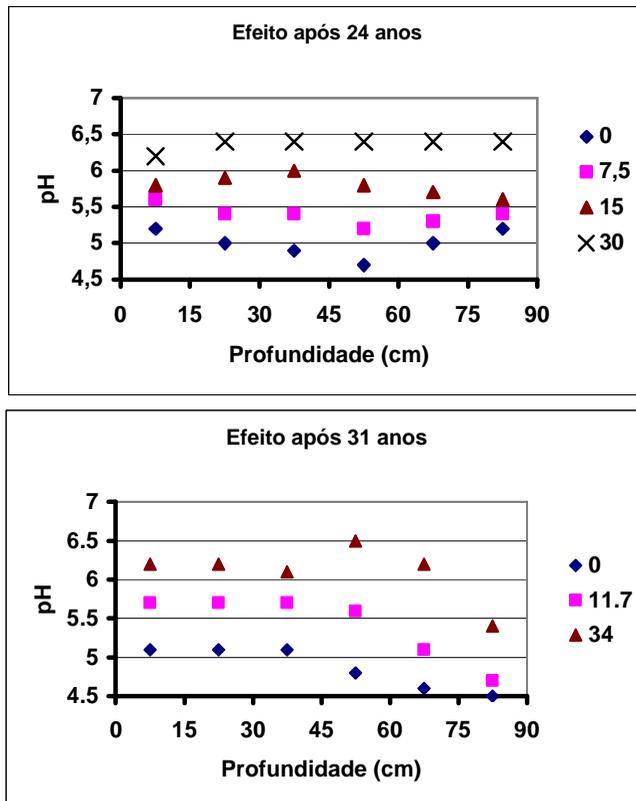


FIGURA 02 - EFEITO DE DOSES SUCESSIVAS DE CORRETIVO NO pH EM PROFUNDIDADE, EM DOIS SOLOS ARENOSOS (GASCHO e PARKER, 2001).



O uso de resíduos orgânicos pode afetar a mobilidade do corretivo de acidez, embora seja difícil avaliar o efeito isolado e conjunto do uso destes resíduos. BARCELOS (2005) indica o aumento do pH em profundidade, através do uso de esterco por 6 anos. Também, MEDCALF (1956) obteve aumento do pH pelo uso de cobertura morta de capim e

esterco após 3 anos, até a profundidade de 15 cm (última camada avaliada). Ainda a adição de resíduo vegetal, na forma de cobertura morta, (5 t/ha por 12 anos), propiciou elevação do pH, na profundidade de 40 cm, em pomar de maçã (PAVAN e CALEGARI, 2003). Os mesmos autores mostraram ainda que o uso de cobertura viva também pode propiciar a elevação do pH em profundidade em comparação ao solo sem plantas de cobertura. Logo, o uso de material vegetal pode alterar o pH em profundidade e possível interagir com corretivo da acidez propiciando intensificação do efeito do corretivo aplicado.

Os corretivos de acidez também podem atuar em profundidade de modo diferenciado, dependendo da granulometria. ALLEN e HOSSNER (1991) indicaram que partículas mais finas de corretivo tem maior capacidade penetrar nos primeiros 2 cm de pastagem a campo. Já AMARAL et al. (2004) identificaram alta mobilidade de partículas mais finas, mas neste caso até profundidades de 20 cm, em experimento em colunas não deformadas de plantio direto, apenas em alguns dias. A grande diferença entre resultados deve-se provavelmente aos mecanismos envolvidos. No caso da pastagem o fato pode estar relacionado apenas a mobilidade entre os agregados do solo. No plantio direto a mobilidade pode ser devida aos canais preferenciais de movimentação de água, comuns em um sistema que não sofre revolvimento e que apresenta elevada atividade biológica. Isto também é aplicado para elementos de baixa mobilidade como o P (JENSE et al., 1998).

O fator climático provavelmente tem um peso nas mudanças químicas que a calagem pode provocar no solo em profundidade, por influenciar no balanço da evapotranspiração e movimentação de água no perfil, assim como na atividade biológica do solo (BROWN et al., 1956).

Assim, o efeito do uso de corretivo sobre a acidez em profundidade foi resumido por CAIRES et al. (2000):

- A) Ação nos carbonatos em profundidade, provenientes da camada superficial. Este fato foi proposto por BROWN et al. (1956) para explicar as variações em profundidade em pastagem. O ânion bicarbonato tem sido apresentado como o mais abundante no sistema água e solução do solo. Ainda, WHALEN et al. (2000) indicou que o bicarbonato juntamente com ácidos orgânicos podem ser os responsáveis pelo aumento do pH do solo quando da incubação com esterco de bovino.
- B) Deslocamento de partículas, como já fora relatado anteriormente. Neste caso o mais importante seria a movimentação pelos canais preferenciais.
- C) Deslocamento de nitrato por lixiviação (LIMA, 1993), e que, ao ser adsorvido nas camadas subsuperficiais do solo, passaria a deslocar  $\text{OH}^-$ , elevando o pH.
- D) Atuação dos ácidos orgânicos na elevação do pH e complexação do  $\text{Al}^{+3}$  (LIU e HUE, 1996; HUE, 1992; HUE e AMIEN, 1989; PAVAN, 1999). É bom lembrar que os ácidos orgânicos são ácidos fracos e ao serem adicionados em solo que tenha pH menor que o pH de equilíbrio, permitem elevar o pH.

O efeito da aplicação em superfície de corretivo, sobre a produtividade, comparado com incorporado na camada arável, tem proporcionado valores similares. OLIVEIRA e PAVAN (1996) trabalhando com soja por 5 anos, SÁ (1995) e POTTKER e KOCHHANN (2003) utilizando rotação de cultura, e KOCH e ESTES (1986) com pastagens por 6 anos, verificaram não haver diferença entre a aplicação de calcário incorporado em comparação com a superficial, sugerindo que a calagem em superfície pode ser utilizada sem dano à produtividade. Ainda, a aplicação superficial propiciou aumento da produtividade de maçã (PAVAN, 1992b) e pastagem (MUSE e MITCHELL, 1995).

No sentido oposto a aplicação de calcário em superfície, a incorporação de corretivo a uma maior profundidade que a camada arável, tem proporcionado em alguns casos acréscimo na distribuição de raízes em profundidade e conseqüentemente da produtividade (SOUSA e RITCHEY, 1986 e FARINA et al., 2000) respectivamente, em solos no cerrado brasileiro e na África do Sul, sujeitos a seca. Mas, não tem proporcionado elevação do crescimento radicular (COMIN, 1992) e produtividade (SÁ, 1995), nas condições do estado do Paraná. Assim, o efeito, além de incerto, apresenta diversos problemas relacionados à aplicação, dificuldade de incorporação, exigência de maquinário apropriado e custo, além poder ser empregada apenas em solos profundos. Assim sendo, a incorporação de corretivo em maior profundidade tem sido pouco utilizada.

### 6.3. VELOCIDADE DE REAÇÃO E EFEITO RESIDUAL

A velocidade de reação do corretivo, além da granulometria, pode depender de outras propriedades do corretivo, solo, clima e forma de aplicação. KACHANOSKI et al. (1992) demonstram que a reação do corretivo tem influência do equilíbrio entre fase gasosa e líquida, assim como líquida e sólida, envolvendo a pressão parcial de CO<sub>2</sub> da atmosfera do solo, pH e atividade de Ca<sup>+2</sup> na solução do solo e nos pontos de troca. O efeito do pH é marcante sobre dissolução dos corretivos, pois valores de pH (relação 1:1, solo:água) maiores que 6,0 em pastagem propiciaram o acúmulo de partículas de calcário, indicando diminuição da reação, em estudo conduzido por ALLEN e HOSSNER (1991).

As reações do corretivo, em geral, tem seu valor estabilizado em aproximadamente 3 a 4 meses, embora as variações mais bruscas ocorram nas duas primeiras semanas (ANJOS, 1991). O uso de calcários de menor granulometria poderá aumentar a velocidade de reação na

correção da acidez. Contudo, tal fato poderá ter maior influência sobre a primeira cultura após aplicação do corretivo. É necessário verificar o custo em relação ao benefício do uso de corretivos com menor granulometria, pois estes usualmente são mais caros. Deve ser considerado que, pela legislação brasileira (BRASIL, 1986; BRASIL, 1994), qualquer corretivo de acidez deve ter pelo menos 50% de partículas com tamanho menor que 0,3 mm, as quais tem reação mais rápida.

O efeito da elevação do pH pode persistir por vários anos ou mesmo décadas. A dose de corretivo utilizada, e a adição de agentes acidificantes (adubação nitrogenada na forma de amônia), são os principais fatores que determinam este período. Assim, o efeito benéfico do uso do corretivo pode durar vários anos, e as aplicações subseqüentes exigem menores doses que a inicial. Não é desejável deixar o pH atingir níveis muito baixos, antes de realizar uma nova correção, para que não ocorra o comprometimento da produtividade. Logo, o melhor processo consiste em acompanhar as variações de pH com análises periódicas do solo, a cada dois ou três anos, a fim de verificar a necessidade de efetuar novamente a calagem.

#### 6.4 CORREÇÃO DA ACIDEZ EM CULTURAS PERENES

A correção da acidez do solo pode ser dividida em duas etapas, a correção inicial e a de manutenção. A correção inicial deve ser realizada na implantação do pomar, consistindo na adequação do solo quanto ao aspecto de acidez, e é baseada na análise química do solo. A calagem poderá ser efetivada para corrigir a camada de 0-20 cm, ou profundidades ainda maiores (0-30 ou 0-40 cm), sendo necessário separar previamente as amostras para análise química das camadas a serem corrigidas. Tendo em vista que a necessidade de calagem é usualmente calculada com base

na profundidade de 0-20 cm, é necessário o aumento da dose proporcionalmente à profundidade desejada.

Para calagem em profundidade maior que 20 cm deve-se, também, estar atento à necessidade de intenso revolvimento do solo e à exposição de solos de horizontes mais profundos, as quais apresentam menor teor de matéria orgânica e estrutura menos favorável, principalmente em solos com horizonte A pouco espesso.

Valores de pH (em  $\text{CaCl}_2$  0,01 M) superiores a 6,0 podem induzir deficiência de Fe ou Mn, e acentuar a deficiência de Zn e B, podendo levar decréscimo à produtividade (PAVAN, 1992b). Já valores inferiores a 5,4 em água ou 4,8 em  $\text{CaCl}_2$  0,01 M, podem proporcionar o surgimento de  $\text{Al}^{+3}$  tóxico às plantas, bem como baixos teores de  $\text{Ca}^{+2}$ , podendo resultar na inibição do crescimento das raízes (PAVAN, 1995; PAVAN et al., 1987), trazendo conseqüências negativas para a absorção de água e nutrientes. Ainda, valores de pH baixo (geralmente menores que 4,4), podem resultar em toxidez de Mn (SMITH, 1996). Contudo, o pH para o crescimento normal da planta é dependente do teor de macronutrientes e micronutrientes, do teor de matéria orgânica, das condições de umidade, de cobertura morta e cultivar, entre outros.

A condição de acidez poderá também afetar o crescimento das plantas de cobertura, sendo importante a correção da área total. A implantação e o estabelecimento de leguminosas na entrelinha de culturas perenes depende do pH, assim como do teor de P e B.

A calagem recomendada para correção de solos muito ácidos tem efeito residual que pode passar de uma década. Contudo, o agricultor não poderá deixar o pH baixar muito para que não ocorra comprometimento da produtividade dos pomares. A manutenção do pH em níveis desejáveis é possível com aplicações periódicas (anuais ou a cada dois anos), de pequenas doses de corretivo em superfície.

O controle do pH, com uso de calcário em superfície, vem sendo praticado com sucesso em áreas onde não há revolvimento do solo, tais como plantio direto (MOTTA et al., 2002) e pastagens. O principal agente acidificante é a adubação nitrogenada, nas formas amoniacais e amídicas. A aplicação de nitrogênio, nessas formas, resulta em acidificação do solo após a oxidação por microrganismos do solo (nitrificação). Assim, doses elevadas de adubos nitrogenados irão exigir correções de acidez mais frequentes ou doses de corretivo mais elevadas (PAVAN, 1992a).

A acidificação do solo através dos adubos nitrogenados inicia-se na camada superficial, onde se dá o processo de nitrificação (visto que as bactérias nitrificante são mais ativas em pH elevado). Assim, os primeiros sinais de acidificação podem ser detectados, através de análise do solo, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm de profundidade (PAVAN, 1992a e b).

O processo de acidificação não ocorre de maneira homogênea na área do pomar, visto que os adubos nitrogenados são aplicados em faixas próximas às plantas (SMITH, 1996). Assim, torna-se imprescindível a amostragem em separado das áreas que recebem e das áreas que não recebem adubo, a fim de determinar a necessidade e a dose de calagem adequada a cada área.

Em alguns casos a aplicação de adubo nitrogenado pode criar um ambiente ácido, entre a saia da planta e a entre linha, que é uma barreira ao crescimento radicular (Tabela 07). Sendo assim, é necessária a correção apenas da área acidificada (NOVOTNY et al., 1994; NICK et al., 1994), para solucionar possíveis problemas (Tabela 08), visto que as raízes neste local mostravam-se com claros sintomas relacionados a elevada acidez (NICK et al., 1994).

TABELA 07 - MÉDIAS DE PARÂMETROS QUÍMICOS DE SOLO COLETADO EM 3 LOCAIS EM 4 PROFUNDIDADES, EM LAVOURA DE *Coffea arabica* cv. CATUAÍ DE 11 ANOS DE CULTIVO, EM TOMAZINA - PR. (NICK et al., 1994)

Profundidade (cm)	Local			Local		
	Saia	Faixa de adubação	Centro da entrelinha	Saia	Faixa de adubação	Centro da entrelinha
	pH (CaCl <sub>2</sub> )			Al <sup>3+</sup> (mmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> )		
0,0-5,0	5,06 a	4,36 b	4,79 a	1,4 a	8,0 a	1,6 a
5,1-20,0	5,03 a	4,29 b	5,06 a	1,6 b	15,4 a	1,3 b
20,1-40,0	4,39 b	4,36 b	4,79 a	25,7 a	19,9 a	9,7 b
40,1-60,0	4,17 a	4,23 a	4,41 a	36,6 a	31,7 a	27,3 a
	V (%)			Ca <sup>+2</sup> (mmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> )		
0,0-5,0	71,8 a	49,8 b	69,9 a	77 b	49 c	94 a
5,1-20,0	63,1 a	42,9 b	69,1 a	58 a	38 b	72 a
20,1-40,0	30,4 b	39,2 b	52,1 a	22 b	31 ab	42 a
40,1-60,0	18,0 b	25,7 a	31,9 a	12 a	16 a	25 a

Comparações de médias feitas horizontalmente, entre locais. (Tukey, P<0,05; n=7)

TABELA 08 - NECESSIDADE DE CALCÁRIO PARA APLICAÇÃO EM SUPERFÍCIE SEM INCORPORAÇÃO, CALCULADA EM FUNÇÃO DO LOCAL DA AMOSTRAGEM DE SOLO, EM LAVOURA DE *Coffea arabica* cv. CATUAÍ DE 11 ANOS DE CULTIVO, EM TOMAZINA (PR) (NICK et al., 1994).

Forma de cálculo	Local de coleta	Largura		V (%)	T <sup>(1)</sup> (cmol <sub>e</sub> /kg)	N.C. (t/ha)	t/ha por local	t/ha total
		cm	%					
I	Faixa de adubação	73	20	45	15,05	2,9		2,9 <sup>(1)</sup>
II	Saia	219	60	65	14,05	0,50	0,30	0,9 <sup>(2)</sup>
	Faixa de adubação	73	20	45	15,05	2,95	0,59	
	Centro da entrelinha	73	20	69	16,10	0,09	0,02	

<sup>(1)</sup> Calculado em função da faixa de adubação para área total. <sup>(2)</sup> Valor calculado em função dos três locais de amostragem para área total.

A calagem em superfície para correção da acidez, causada pela fertilização, mostra resposta da cultura já no primeiro ano (SMITH, 1996) ou a partir do segundo ano (PAVAN et al., 1987), dada a elevação do pH nos primeiros 5 cm superficiais do solo. A correção da acidez em profundidade através de calagem superficial requer longo período (SMITH, 1996). O mesmo autor constatou acréscimo em duas e uma unidades de

pH nas camadas de 0-30 e 30-60 cm de profundidade, respectivamente, após oito anos do uso de calcário em superfície.

O efeito da calagem aplicada superficialmente sobre os atributos químicos do solo em profundidade tem resultados diversos, pois depende das condições físicas e biológicas do solo. Alta atividade microbiológica (minhocas e coleópteros) e abundância de raízes podem gerar canais preferenciais de movimentação de nutrientes e corretivos. Ainda, pode ocorrer a movimentação de bases através da matriz do solo, pela formação de compostos orgânicos de baixo peso molecular, quando da decomposição de compostos orgânicos.

Em solos com elevado teor de  $Al^{+3}$  em profundidade, a aplicação de gesso poderá favorecer o crescimento das raízes (PAVAN et al., 1987). Esta prática de manejo do solo visa melhorar o crescimento radicular em profundidade, possibilitando aumentar o potencial produtivo, principalmente em épocas de estiagem. Estudos têm indicado que o uso de compostos orgânicos e cobertura vegetal podem também amenizar problemas da acidez, através da influência no pH do solo, e formação de compostos que reduzam o Al tóxico, favorecendo a produtividade das culturas (PAVAN, 1994; PAVAN e CALEGARI, 2003).

## REFERÊNCIAS

- AHMAD, F., TAN, K.H. Effect of lime and matter on soybeans grown in aluminum-toxidez. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 50, p. 656-661, 1986.
- ALLEN, E.R., HOSSNER, L.R. Factores affecting the acumulation of surface-applied agricultural limestone in permanent pastures. **Soil Science**, Baltimore, v. 151, n. 3, p. 240-248, 1991.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; HINRICHS, R.; BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcários no perfil de um Cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 359-367, 2004.
- ANJOS, A. dos. **Estudo do calcário da formação Irati (São Mateus do Sul - PR) como corretivo da acidez do solo**. Curitiba, 1991. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias.
- BARCELOS, M. **Adução orgânica e mineral na produção de culturas em rotação sob plantio direto e nas propriedades químicas do solo da região dos Campos Gerais do Paraná**. Curitiba, 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria de Fiscalização Agropecuária. Portaria 03 de 12 de junho de 1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, 16 jun. 1986. Seção I. p. 8673.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria de Defesa Agropecuária. Portaria 66 de 5 de abril de 1994. **Diário Oficial da União**, Brasília, 07 abr. 1994. Seção I. p. 5002.
- BROWN, B. A., MUNSELL, R. I.; HOLT, R. F.; KING, A. V. Soil reactions at various depths as influenced by time since application and amount of limestone. **Soil Science Society of América Journal**, v. 20, p. 518- 522, 1956.
- CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A., FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 161-169, 2000.
- CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcários e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 275-286, 2003.
- CIOTTA, M.N., BAYER, C., ERNANI, P.R., FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C., ALBURQUERQUE, J.A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de latossolo bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 317-326, 2004.
- COMIN, J.J. **Desenvolvimento radicular do milho (*Zea mays* L.) e da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em um latossolo vermelho-escuro após a implantação do plantio direto**. Curitiba: 1992. 129 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendações de adubação e de calagem**: para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10 ed. Porto Alegre: SBSC- Núcleo Regional Sul, 2004. 400 p.
- EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da margem direita do rio Paraná – estado de Goiás**. Rio de Janeiro, 1983.
- EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná**. Londrina, 1984. Tomo II.

- ERNANI, P.R., GIANELLO, C. Diminuição do Al trocável do solo pela incorporação de esterco bovinos e camas de aviário. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 7, p. 161-165, 1983.
- EVANS, C.E., KAMPRATH, E.J. Lime response as related to percent Al saturation, solution Al, and organic matter content. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v. 34, p. 893-896, 1970.
- FARINA, M. P. W.CHANNON, P. THIBAUD, G. R. A comparison of strategies for ameliorating subsoil acidity I. Long-term growth effects. **Soil Science Society of América Journal**, v. 64, p. 646-651, 2000.
- GASCHO, G.J., PARKER, M.B. Long-term liming effects on coastal plain soils and crops. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 1305-1315, 2001.
- HUE, N.V. Correcting soil acidity of a highly weathered ultisol with chicken manure and sewage sludge. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v. 23, n. 3/4, p. 241-264, 1992.
- HUE, N. V.; AMIEN, I. Aluminum detoxification with green manures. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v. 20, p.1499-1511, 1989.
- HUE, N.V. et al. Effect of organic acids on aluminium toxicity in subsoils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 50, p. 28-34, 1986.
- JENSE, M.B. JORGENSEN, P.R.; HANSEN, H.C.B.; NIELSEN, N.E. Bioporo mediated subsurface transport of dissolved orthophosphate. **J. Environ. Qual.**, v. 27, p. 1330-1337, 1998.
- KACHANOSKI, R.G.; TANJI, K.K.; ROLLINS, L.T.; WHITTIG, L.D.; FUJII, R. Dissolution kinetics of CaCO<sub>3</sub>: Carvin-1, a computer model. **Soil Science**, v. 153, n. 1, p. 13-24, 1992.
- KAMINSKI, J.; SANTOS, D.R.; GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; SILVA, L.S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedente o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 573-580, 2005.
- KAPLAND, D.I.; ESTES, G.O. Organic matter relationship to soil nutrient status and aluminum toxicity in alfafa. **Agronomy Journal**, v. 77, p. 735-738, 1985.
- KOCH, D.W., ESTES, G.O. Liming rate and method in relation to forage establishment-crop and soil responses. **Agronomy Journal**, v. 78, p. 567-571, 1986.
- LIMA, M.R. de. **Dinâmica de nutrientes em função da calagem de solos arenosos**. Porto Alegre, 1993. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia.
- LIMA, J.M.J.C.; LIMA, V.C.; HOCHMULLER, D.P. Toposeqüência de solos no sudoeste do Paraná. I. Características morfológicas, granulométricas e químicas. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 6, p. 51-61, 1985.
- LIU, J.; HUE, N.V. Ameliorating susoil acidity by surface application of calcium fulvates derived from common organic materials. **Biology and Fertility of Soil**, v. 21, n. 4, p. 264-270, 1996.
- MEDCALF, J.C. **Estudos preliminares sobre aplicação de cobertura morta em cafeeiros novos no Brasil**. São Paulo, IBEC Research Institute, 1956. 59 p.
- MILLAR, C.E. **Soil fertility**. New York: John Wiley; London: Chapman & Hall, 1959.
- MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A., FRANCHINI, J.C.. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Informações Agrônomicas**, v. 92, p. 1-8, 2000.
- MOREIRA, S.G.; KIEHL, J.C.; PROCHNOW, L.I., PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeito sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e

- produtividade de milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 71-81, 2001.
- MOTTA, A.C.V.; D.W. REEVES; J.T., et al. Tillage intensity effects on chemical indicators of soils quality in two coastal plain soils. **Commun. Soil Sci. Plant Analysis**, v. 33, n 5-6, p. 913-932, 2002.
- MUSE, J.K., MITCHELL, C.C. Paper mill boiler and lime by-products as soil liming materials. **Agronomy Journal**, v. 87, p. 432-438, 1995.
- NICK, J.A., YORINORI, G.T., MOTTA, A.C.V.; SCOPEL, I., FERNANDES, J.S.C. Efeito de 11 anos de cultivo de café sobre parâmetros químicos do solo e crescimento de raiz, no Município de Tomazina-PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 20., Guarapari, 1994. **Resumos**. Rio de Janeiro, MAARA/PROCAFÉ, 1994. p.131-132.
- NOVOTNY, E.H., MOTTA, A.C.V., RIBEIRO, P.J., NICK, J.A., FAVARETTO, N., POLISELI, P.C., BABY, M.N. Levantamento das alterações das propriedades químicas de um solo sob a cultura do cafeeiro em função da adubação e práticas culturais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 20., Guarapari, 1994. **Resumos**. Rio de Janeiro: MAARA/PROCAFÉ, 1994. p.160-163.
- OLIVEIRA, E.L de; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil & Tillage Research**, v. 38, p. 47-57, 1996.
- PAVAN, M.A. Estratificação da acidez do solo devido à adubação nitrogenada em pomares estabelecidos de macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 14, p. 135-138, 1992a.
- PAVAN, M.A. Manejo da calagem em pomares estabelecidos de macieiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 271-276, 1992b.
- PAVAN, M.A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 16, p. 86-91, 1994.
- PAVAN, M.A. Mobilização orgânica do calcário no solo através de adubo verde. In: PAULETTI, V., SEGANFREDO, R. **Plantio direto**: atualização tecnológica. Castro: Fundação ABC e Fundação Cargill, 1999. p. 45-52.
- PAVAN, M.A., BINGHAM, F.T., PERYEA, F.J. Influence of calcium and magnesium salts on acid soil chemistry and calcium nutrition of apple. **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, p. 1526-1530, 1987.
- PAVAN, M.A., CALEGARI, A. Soil cover management for improving apple under minimum disturbance. In: WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, 2., Foz do Iguaçu, 2003. **Anais**. Foz do Iguaçu, 2003. v. 2. p. 283-285.
- POTTKER, D; KOCHHANN, R.A. Calagem em plantio direto. In: WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, 2., Foz do Iguaçu, 2003. **Anais**. v. 2. Foz do Iguaçu: Federacao de Plantio direto na Palha, Confederacion de Asociaciones Americanas para la Agricultura Sustentable, 2003. p. 371-373.
- QUAGGIO, J.A., GALLO, P.B.; FURLANI, A.M.C.; MASCARENHAS, H.A.A. Isoquantas de produtividade de soja e sorgo para níveis de calagem e molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 337-334, 1998.
- RAIJ, B. van, CANTARELLA, H., ZULLO, M.A.T. O método tampão SMP para determinação da necessidade de calagem de solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 38, p. 57-69, 1979.

- RAIJ, B. van, CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A., FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico e Fundação IAC, 1996. 285 p.
- SÁ, J.C. de M. Calagem em solos sob plantio direto da região dos Campos Gerais, Centro-sul do Paraná. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. **Anais**. Castro: Fundação ABC, 1995. p. 78-112.
- SMITH, T.J. Time to re-apply lime to orchards in Washington? **Better Crops with Plant Food**, v. 80, n. 1, p. 8-9, 1996.
- SOUZA, D.M.G. de; RITCHEY, K.D. Correção de acidez sub-superficial: uso de gesso no solo de Cerrado. In: DECHEN, A.R. et al. (Eds.). SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1., Piracicaba, 1986. **Anais**. Campinas: Fundação Cargill, 1986. p. 91-113.
- TYLER, D.D., RITCHEY, E.L., ESSINGTON, M.E., MULLEN, M.D., SAXTON, A.M. Nitrogen, cover crop, tillage and lime effects on soil acidity in cotton production systems. STIEGLER, J.H. ANNUAL SOUTHERN CONSERVATION TILLAGE CONFERENCE FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE, 24., Oklahoma City, 2001. **Proceedings**. Stillwater: Plant and Soil Sciences Department, Oklahoma Agricultural Experiment Station, Oklahoma State University, 2001. p. 105-124. (Oklahoma Agricultural Experiment Station Misc. Pub., 151).
- WHALEN, J.K.; CHANG, C.; CLAYTON, G.W.; CAREFOOT, J.P. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 962-966, 2000.

# CAPÍTULO X

## ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO RELACIONADOS AO MANEJO E CONSERVAÇÃO DOS SOLOS

Marco Aurélio de Mello Machado<sup>1</sup>, Nerilde Favaretto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro Agrícola, Doutorando, Prof. DSEA/UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050, Curitiba – PR. E-mail: mello@cptec.inpe.br; <sup>2</sup>Engenheira Agrônoma, Ph.D. Prof<sup>a</sup>. DSEA/UFPR. E-mail: nfavaretto@ufpr.br

1 RELAÇÕES MASSA E VOLUME DOS CONSTITUINTES DO SOLO .	234
1.1 DENSIDADE DO SOLO OU DENSIDADE APARENTE OU MASSA ESPECÍFICA APARENTE .....	236
1.1.1 Determinação.....	237
1.1.2 Conversão de unidades .....	238
1.2 DENSIDADE DE PARTÍCULAS OU DENSIDADE REAL OU MASSA ESPECÍFICA DAS PARTÍCULAS .....	238
1.2.1 Determinação.....	239
1.3 POROSIDADE TOTAL.....	240
1.3.1 Determinação.....	241
1.4 UMIDADE DO SOLO .....	242
1.4.1 Umidade gravimétrica .....	242
1.4.2 Umidade volumétrica .....	242
1.4.3 Umidade de saturação em volume.....	243
1.4.5 Disponibilidade de água do solo para as plantas .....	244
2 TEXTURA DO SOLO .....	245
2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS FRAÇÕES AREIA, SILTE E ARGILA .....	246
2.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA .....	247
2.2.1 Determinação.....	248
2.2.2 Conversão de unidades .....	248
2.3 CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DO SOLO.....	249
2.4 DETERMINAÇÃO DA TEXTURA ATRAVÉS DO TATO .....	252
2.5 IMPORTÂNCIA DA TEXTURA DO SOLO .....	252
3 ESTRUTURA DO SOLO E AGREGAÇÃO.....	253
4 LEITURA COMPLEMENTAR.....	254
REFERÊNCIAS .....	254

## 1 RELAÇÕES DE MASSA E VOLUME DOS CONSTITUINTES DO SOLO

O solo é um sistema heterogêneo e que apresenta três fases (sólida, líquida e gasosa). A fase sólida contém os minerais e a matéria orgânica, a fase líquida a solução do solo e a fase gasosa o ar do solo. Em solos minerais, aproximadamente 45% do volume é composto pela fase sólida inorgânica (minerais), 5% pela matéria orgânica e 50% pelo ar e água (metade ar e metade água é a proporção ideal para o crescimento das plantas). No entanto, é importante salientar que estas proporções são bastantes variáveis, por exemplo, um solo arenoso normalmente apresenta um espaço poroso menor que um solo argiloso, e em solo alagado todo o espaço poroso é ocupado pela água enquanto que em solo seco todo o espaço poroso é ocupado pelo ar.

A matéria orgânica do solo é constituída por resíduos vegetais e animais parcialmente decompostos bem como por substâncias orgânicas complexas de difícil decomposição (húmus do solo). Em geral, solos minerais apresentam teor de matéria orgânica menor que 10% em relação ao peso (100 g de matéria orgânica por 1 kg de solo), no entanto esta pequena proporção de matéria orgânica tem uma grande importância nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. A parte mineral é constituída por partículas provenientes do intemperismo da rocha, variando quanto ao tamanho, forma e composição química. Quanto ao tamanho a parte sólida mineral do solo pode ser quantificada em termos de sua distribuição. A análise granulométrica, a qual permite fazermos a classificação textural, é realizada com amostras de solo com partículas menores que 2 mm de diâmetro, fração conhecida como TFSA (terra fina seca ao ar). Entretanto, uma amostra de solo pode conter partículas maiores que 2 mm de diâmetro. Para as frações grosseiras (maiores que 2 mm de diâmetro) utiliza-se a denominação apresentada na Tabela 01.

TABELA 01 - CLASSIFICAÇÃO DAS PARTÍCULAS SÓLIDAS DO SOLO MAIORES QUE 2 mm DE DIÂMETRO (LEMOS e SANTOS, 2002).

PARTE SÓLIDA DO SOLO	DIÂMETRO (mm)
Matacão	> 200
Calhau	20-200
Cascalho	2-20

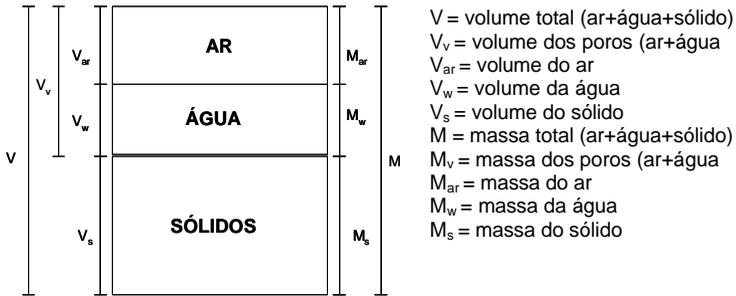
A parte gasosa é semelhante ao ar atmosférico, porém apresenta maior concentração de  $\text{CO}_2$  e menor de  $\text{O}_2$ . A proporção de ar no solo depende do conteúdo de água no solo, desde que o ar ocupa os espaços porosos não ocupados pela água. Depois de uma chuva, os grandes poros são os primeiros a serem preenchidos com ar, em seguida os de tamanho médio e por último os poros pequenos. Solos compactados, além de reduzir a porosidade total, diminuem o tamanho dos poros, o que dificulta a difusão do ar atmosférico para o solo resultando em concentração de  $\text{O}_2$  prejudicial ao desenvolvimento de plantas.

A parte líquida é constituída pela solução do solo que por sua vez possui água e compostos orgânicos e inorgânicos solúveis. A solução do solo está retida sob diferentes tensões dependendo da quantidade de água e tamanho de poros do solo. Dentre os constituintes inorgânicos encontram-se os elementos essenciais às plantas, sem estes as plantas não conseguem completar seu ciclo de desenvolvimento.

Apesar dos componentes (minerais, matéria orgânica, ar e água) serem apresentados separadamente, estes obrigatoriamente estão interligados principalmente quando se pensa em crescimento vegetal. Por exemplo, a umidade que fornece água para as plantas controla a proporção de ar do solo que é fundamental para a respiração de raízes e atividade biológica. Os minerais e a matéria orgânica do solo por outro lado são importantes tanto na estruturação do solo como no fornecimento de nutrientes fundamental para o crescimento vegetal.

A Figura 01 define algumas relações massa-volume dos constituintes do solo, as quais serão apresentadas a seguir.

FIGURA 01 - ESQUEMA DE UM VOLUME GENÉRICO DO SOLO.



### 1.1 DENSIDADE DO SOLO OU DENSIDADE APARENTE OU MASSA ESPECÍFICA APARENTE

É a relação entre a massa de solo seco (105 a 110°C) e o volume total do solo (sólido mais espaço poroso ocupado pela água e ar). Assim:

$$D_s = M_s/V$$

Onde:

$D_s$  = densidade do solo ( $g/cm^3$ )

$M_s$  = massa do sólido (solo seco) (g)

$V$  = volume total do solo ( $cm^3$ )

A densidade do solo é dependente do espaço poroso, portanto solos com maior porosidade têm menor densidade de solo, e assim vice-versa. Portanto, todos os fatores que interferem no espaço poroso irão interferir na densidade do solo.

Solos arenosos geralmente possuem densidade do solo maior que solos argilosos, isto porque o espaço poroso em solos argilosos é maior que em solos arenosos. O tamanho dos poros em solos arenosos é maior

porém o espaço poroso total é menor. Solos compactados apresentam densidade maior que solos não compactados.

Solos com mesma classe textural e sem compactação podem apresentar diferentes densidades de solo dependendo do uso e da profundidade. Na superfície, normalmente a densidade é menor devido à maior concentração de material orgânico, o qual atua como agente agregador aumentando o espaço poroso. Da mesma forma, solos sob floresta normalmente apresentam menor densidade que solos agrícolas. Densidades de 1,1 a 1,5 g/cm<sup>3</sup> são comuns em solos minerais. Uma densidade de solo de 1,5 g/cm<sup>3</sup> significa que cada 1 cm<sup>3</sup> de solo (sólidos mais poros) pesa 1,5 gramas. A densidade da água, por exemplo, é 1 g/cm<sup>3</sup>, ou seja, 1 mililitro de água pesa 1 grama ou 1 litro pesa 1 quilograma.

Uma das aplicações da densidade do solo é inferir sobre as condições de compactação do solo e, conseqüentemente, sobre o impedimento mecânico ao sistema radicular das plantas. Outro aspecto importante também é a difusão do ar atmosférico. Solos com alta densidade podem impedir a difusão de O<sub>2</sub> e criar um ambiente anaeróbio e redutor prejudicial ao desenvolvimento das plantas. A perda de nitrogênio através da desnitrificação pode ser significativa devido ao ambiente redutor criado pela compactação.

#### 1.1.1 Determinação

A densidade do solo pode ser obtida através da utilização de métodos não destrutivos, como por exemplo, o da radiação gama, ou através de métodos destrutivos com amostra indeformada tais como o método do anel volumétrico e o método do torrão parafinado. O método do balão volumétrico (amostra deformada) também pode ser utilizado em alguns casos, principalmente em solos com textura arenosa.

Dentre os métodos de determinação da densidade do solo, o de maior utilização é o do anel volumétrico, o qual consiste na amostragem de solo com estrutura indeformada num anel (cilindro metálico) de volume conhecido. Apresenta a vantagem de ser um método simples e de baixo custo com bons resultados. Um aspecto importante refere-se à amostragem. Na retirada do anel volumétrico deve-se tomar o cuidado para não compactar a amostra e para preencher todo o espaço do anel com solo. A descrição detalhada do método do anel volumétrico e do balão volumétrico pode ser encontrada em EMBRAPA (1997).

### 1.1.2 Conversão de unidades

A densidade do solo, da mesma forma que a densidade de partículas, pode ser expressa em  $\text{g/cm}^3$  ou  $\text{kg/dm}^3$  ou  $\text{Mg/m}^3$  ou  $\text{t/m}^3$ .

$$\text{Sendo que: } 1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/dm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ Mg/m}^3 = 1 \text{ t/m}^3$$

$$1 \text{ Mg} = 1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}; 1 \text{ kg} = 1000 \text{ g};$$

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3; 1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$$

Exemplo de conversão:  $1 \text{ g/cm}^3 = 0,001\text{kg}/0,001\text{dm}^3$ , como  $0,001/0,001 = 1$  então podemos dizer que  $1 \text{ g/dm}^3 = 1 \text{ kg/dm}^3$ .

## 1.2 DENSIDADE DE PARTÍCULAS OU DENSIDADE REAL OU MASSA ESPECÍFICA DAS PARTÍCULAS

É a relação entre a massa do solo seco (105 a 110 °C) e o volume do solo ocupado pelas partículas sólidas. Assim:

$$D_p = M_s/V_s$$

Onde:

$D_p$  = densidade de partículas ( $\text{g/cm}^3$ )

$M_s$  = massa do sólido (solo seco) (g)

$V_s$  = volume do sólido (solo seco) ( $\text{cm}^3$ )

A densidade de partículas depende da composição da fração sólida do solo e geralmente varia entre 2,60 a 2,75 g/cm<sup>3</sup>. No entanto, para solos contendo até 5% de material orgânico considera-se em geral 2,65 g/cm<sup>3</sup> um valor representativo da densidade de partícula. Assim, 1 cm<sup>3</sup> de sólido pesa 2,65 gramas. O tipo de mineral influencia a densidade de partícula, pois estes apresentam densidades diferentes (variam entre 1,9 a 5,3 g/cm<sup>3</sup>). A matéria orgânica, por exemplo, tem uma densidade de partícula muito menor que os minerais, variando entre 1,2 a 1,5 g/cm<sup>3</sup>. Consequentemente, solos com maior proporção de material orgânico apresentam uma densidade de partícula menor, o que justifica os menores valores de densidade de partícula da camada superficial em relação à subsuperficial de um determinado solo.

É importante ressaltar aqui a diferença entre densidade do solo e densidade de partícula. A densidade do solo depende do volume total do solo (volume dos sólidos mais poros), enquanto que a densidade da partícula leva em consideração somente o volume da parte sólida.

A densidade de partículas pode ser utilizada no cálculo da porosidade total e do tempo de sedimentação, e também como critério auxiliar na classificação de minerais.

#### 1.2.1 Determinação

Existem basicamente dois métodos para sua determinação: o método do balão volumétrico e o método do picnômetro. Ambos se baseiam no volume de líquido deslocado por uma massa conhecida de sólido. O método do balão volumétrico utiliza álcool etílico, enquanto que o método do picnômetro utiliza água e bomba de vácuo. Dentre os dois, o método do balão volumétrico é mais utilizado por ser uma metodologia simples que apresenta bons resultados. A descrição destas metodologias é feita por EMBRAPA (1997).

### 1.3 POROSIDADE TOTAL

A porosidade total representa o volume do solo ocupado pelo ar e água. Assim:

$$Pt = [(Var+Vw)/V] \times 100$$

Onde:

Pt = porosidade total (%)

Var = volume do ar (cm<sup>3</sup>)

Vw = volume da água (cm<sup>3</sup>)

V = volume total (cm<sup>3</sup>)

A porosidade total é afetada principalmente pela forma de arranjo das partículas do solo, ou seja, da sua capacidade de formação de agregados. Solos arenosos, por exemplo, não apresentam uma boa agregação e, portanto, a porosidade é menor que em solos argilosos. Solos compactados também reduzem a porosidade, o que ocasiona uma elevação na densidade do solo, tornando-os mais resistentes à penetração de raízes. Em média, a porosidade dos solos arenosos varia entre 35 a 50% e de solos argilosos de 40 a 60%. É importante ressaltar o papel da matéria orgânica na porosidade. Solos com maior teor de matéria orgânica apresentam maior porosidade devido ao efeito desta na agregação, daí a grande importância do material orgânico principalmente em solos arenosos.

No entanto, mais importante que a porosidade é o tamanho dos poros. Macroporos facilitam a drenagem enquanto microporos tendem a reter a água do solo. Existem várias classificações de tamanho de poros, neste capítulo utilizaremos o valor estabelecido por EMBRAPA (1997), sendo classificados como macroporos aqueles com diâmetro superior a 0,05 mm, e como microporos aqueles com diâmetro menor que 0,05 mm. Solos arenosos apresentam uma porosidade total menor, mas uma maior

capacidade de drenagem que os argilosos porque a proporção de macroporos é maior. Por outro lado, solos com microporosidade em excesso pode diminuir o movimento de água e impedir a difusão de gases tornando o ambiente inadequado para o desenvolvimento de plantas. O processo de compactação aumenta a microporosidade, possibilitando em alguns casos o aumento da disponibilidade de água para a planta.

### 1.3.1 Determinação

A porosidade total pode ser calculada da seguinte forma:

$$Pt = [1 - (Ds/Dp)] \times 100$$

Onde:

Pt = porosidade total (%)

Ds = densidade do solo ( $\text{g/cm}^3$ )

Dp = densidade de partículas ( $\text{g/cm}^3$ )

Exemplo de cálculo: Ds =  $1,3 \text{ g/cm}^3$ ; Dp =  $2,65 \text{ g/cm}^3$ ;

$$Pt = [(2,65 \text{ g/cm}^3 - 1,3 \text{ g/cm}^3) / 2,65 \text{ g/cm}^3] \times 100 = 50,9 \%$$

A porosidade total pode ser obtida também através da determinação da umidade de saturação em volume, ou seja,  $Pt (\%) = U_s (\%)$ , como será descrito no item 1.4.3. Uma outra forma de se obter a porosidade total é através do somatório da micro e macroporosidade. A metodologia para determinação da micro e macroporosidade, bem como da umidade de saturação, encontra-se descrita em EMBRAPA (1997).

No campo, a porosidade poderá ser determinada visualmente quanto ao tamanho e quantidade de poros (LEMOS e SANTOS, 2002).

## 1.4 UMIDADE DO SOLO

### 1.4.1 Umidade gravimétrica

A umidade gravimétrica é expressa pela relação entre a massa de água e a massa do solo seco (105 a 110 °C). Assim:

$$U_g = (M_w/M_s) \times 100$$

Onde:

$U_g$  = umidade gravimétrica (% ou g/100g)

$M_w$  = massa da água (g)

$M_s$  = massa do solo seco (g)

#### 1.4.1.1 Determinação

A determinação da umidade gravimétrica dá-se através da coleta de uma amostra de solo. A diferença entre solo seco (105 a 110 °C) e úmido dividido pelo solo seco fornecerá a umidade gravimétrica. A descrição desta metodologia encontra-se em EMBRAPA (1997).

### 1.4.2 Umidade volumétrica

A umidade na base de volume é expressa pela relação entre a massa de água e o volume total da amostra. Assim:

$$U_v = (M_w/V) \times 100$$

Onde:

$U_v$  = umidade volumétrica (% ou  $\text{cm}^3/100\text{cm}^3$ )

$M_w$  = massa da água (g)

$V$  = volume total ( $\text{cm}^3$ )

#### 1.4.2.1 Determinação

A determinação da umidade volumétrica dá-se através da coleta de uma amostra de solo indeformada com volume conhecido. A diferença entre solo seco (105 a 110 °C) e úmido dividido pelo volume fornecerá a

umidade volumétrica. A descrição desta metodologia encontra-se em EMBRAPA (1997).

Uma outra maneira de se obter a umidade volumétrica é através do uso da umidade gravimétrica e da densidade do solo, da seguinte forma:

$$U_v = U_g \times D_s$$

Onde:

$U_v$  = umidade volumétrica (% ou  $\text{cm}^3/100\text{cm}^3$ )

$U_g$  = umidade gravimétrica (% ou  $\text{g}/100\text{g}$ )

$D_s$  = densidade do solo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

#### 1.4.3 Umidade de saturação em volume

Representa a quantidade máxima de água que o solo pode reter. É a relação entre o volume de água e o volume do solo. Assim:

$$U_s = (V_w/V) \times 100$$

Onde:

$U_s$  = umidade de saturação (% ou  $\text{cm}^3/100\text{cm}^3$ )

$V_w$  = volume da água ( $\text{cm}^3$ )

$V$  = volume total do solo ( $\text{cm}^3$ )

A umidade de saturação em volume representa a porosidade total do solo, isto porque se considera que na saturação todos os espaços porosos estão ocupados por água, no entanto, isto nem sempre ocorre, alguns microporos podem permanecer com ar, mesmo após o processo de saturação.

##### 1.4.3.1 Determinação

A determinação da umidade de saturação em volume dá-se por meio da coleta de uma amostra de solo indeformada com volume conhecido. A diferença entre peso do solo seco (105 a 110 °C) e peso do

solo saturado dividido pelo volume total do solo fornecerá o volume de saturação. A descrição desta metodologia encontra-se em EMBRAPA (1997).

Como descrito anteriormente, se considerarmos que a porosidade total é igual a umidade de saturação em volume, então, através da determinação da porosidade total como descrito no item 1.1.1 podemos obter a umidade de saturação em volume, e vice versa.

#### 1.4.5 Disponibilidade de água do solo para as plantas

Existe uma relação entre a retenção de água no solo e a sua disponibilidade para as plantas. O conceito de água do solo disponível para as plantas apresenta algumas divergências, no entanto, em geral considera-se água disponível para as plantas aquela retida entre a capacidade de campo e o ponto de murchamento permanente. A capacidade de campo é definida como sendo a máxima quantidade de água que um solo é capaz de reter em condições normais de campo quando cessa ou diminui significativamente a drenagem. O ponto de murchamento permanente representa o teor de água no solo no qual a planta sofre murcha e não recupera a turgescência normal das folhas, quando novamente colocada em ambiente de atmosfera saturada de vapor d'água. Em laboratório, a capacidade de campo é normalmente considerada como a água do solo retida sob tensão de 0,1 ou 0,33 bar, enquanto que o ponto de murcha é a água do solo retida sob tensão de 15 bars (1 bar = 0,1 MPa = 100000 Pa).

A disponibilidade de água para as plantas depende basicamente da textura, estrutura e teor de matéria orgânica do solo. Em geral, a umidade do ponto de murcha aumenta gradativamente à medida que a fração das partículas finas aumenta, ou seja, solos argilosos apresentam uma maior umidade no ponto de murcha. No entanto, a umidade na capacidade de

campo aumenta até a classe textural franco siltosa, o que caracteriza uma menor disponibilidade de água em solos argilosos em relação aos franco siltosos. A influência da matéria orgânica também deve ser considerada, porém é importante lembrar que o aumento na disponibilidade de água em solos com maior teor de matéria orgânica deve-se à influência desta na estrutura do solo, e não da água retida no material orgânico. Isso ocorre porque a matéria orgânica apresenta uma elevada umidade na capacidade de campo, porém a umidade no ponto de murcha também aumenta proporcionalmente.

## 2 TEXTURA DO SOLO

A textura do solo representa as proporções relativas das frações granulométricas areia, silte e argila do solo. Para determinar a textura do solo é necessária a análise granulométrica, ou seja, separar as partículas do solo quanto ao tamanho de acordo com um sistema de classificação. Infelizmente não há um sistema de classificação granulométrica universalmente aceito. Os principais sistemas de classificação são:

- a) USDA (*U.S. Department of Agriculture*)
- b) ISSS (*International Soil Science Society*)
- c) USPRA (*U.S. Public Roads Administration*)
- d) BSI (*British Standards Institution*)
- e) MIT (*Massachusetts Institute of Technology*)
- f) DIN (*German Standards*)

No Brasil, os sistemas de classificação granulométrica mais utilizados são do USDA (também chamado de classificação americana) e do ISSS (também conhecida como classificação de Atterberg). Estes sistemas estão apresentados na Tabela 02. A Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (LEMOS e SANTOS, 2002 e EMBRAPA, 1997) utilizam a seguinte

classificação: argila (menor que 0,002 mm); silte (0,05-0,002 mm); areia fina (0,2-0,05 mm) e areia grossa (2-0,2 mm), ou seja, o sistema USDA para silte e argila, e o sistema ISSS para areia grossa e areia fina.

TABELA 02 - CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA (FONTE: PREVEDELLO, 1996).

FRAÇÕES	USDA Diâmetro (mm)	ISSS Diâmetro (mm)
Areia Muito Grossa	2-1	-
Areia Grossa	1-0,5	2-0,2
Areia Média	0,5-0,25	-
Areia Fina	0,25-0,10	0,2-0,02
Areia Muito Fina	0,10-0,05	-
Silte	0,05-0,002	0,02-0,002
Argila	< 0,002	< 0,002

## 2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS FRAÇÕES AREIA, SILTE E ARGILA

**Fração Areia:** A fração areia é áspera ao tato, solta, com grãos simples (não forma agregados), não plástica, não pode ser deformada, não pegajosa, não higroscópica, predominam poros grandes na massa, não coesa, pequena superfície específica, CTC praticamente ausente. O quartzo é o principal mineral presente nesta fração nos solos brasileiros.

**Fração Silte:** A fração silte é sedosa ao tato, apresenta ligeira coesão quando seca, poros de tamanho intermediário, ligeira ou baixa higroscopicidade, superfície específica com valor intermediário, CTC baixa. Esta fração representa uma mistura de minerais primários e secundários.

**Fração Argila:** A fração argila é plástica e pegajosa quando úmida, dura e muito coesa quando seca, alta higroscopicidade, elevada superfície específica, CTC maior que na fração silte e areia, poros muito pequenos, atividades de contração e expansão em alguns minerais da fração argila, forma agregados com outras partículas. Na fração argila predominam

minerais secundários (minerais de argila, óxidos e hidróxidos), sendo estes os de maior influência no comportamento físico do solo.

## 2.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Como é feita a análise granulométrica? Primeiramente, as partículas grossieras ( $> 2$  mm) são separadas das frações finas ( $< 2$  mm) por peneiramento. A fração menor que 2 mm, conhecida como TFSA, é então usada para análise, a qual consiste da fase de pré-tratamento e dispersão. Após a dispersão, as frações constituintes da parte sólida inorgânica do solo são separadas de acordo com o tamanho das partículas. As frações grosseiras (areias) são separadas através do peneiramento, enquanto as frações mais finas (silte e argila) são separadas através da sedimentação.

O pré-tratamento tem por finalidade eliminar os agentes cimentantes, íons flocculantes e sais solúveis, que podem afetar a dispersão e a estabilidade da suspensão. São exemplos de pré-tratamento a remoção de matéria orgânica (para teores de matéria orgânica maiores do que 5%) e a remoção de carbonatos.

A dispersão tem por finalidade conseguir a individualização das partículas do solo. Para se obter a dispersão máxima das amostras de solo há a necessidade de se combinar o uso de métodos mecânicos e químicos. Geralmente utiliza-se agitação mecânica aliada ao hidróxido de sódio (dispersante químico).

É importante ressaltar que quando se fala em análise granulométrica ou textura do solo estamos nos referindo somente à fase sólida inorgânica, devendo o material orgânico (acima de 5%) ser destruído. Em solos minerais, onde o teor de matéria orgânica é menor que 5%, não é necessária a destruição da matéria orgânica, por considerarmos insignificante a sua contribuição no resultado da análise granulométrica.

### 2.2.1 Determinação

A análise granulométrica no laboratório pode ser feita utilizando-se dois métodos: o método da pipeta e o método do densímetro.

O método da pipeta baseia-se na velocidade de queda das partículas que compõem o solo. Fixa-se o tempo para o deslocamento vertical na suspensão do solo com água e coleta-se uma alíquota. Determina-se então, através de pesagem do material seco, a quantidade de argila contida na amostra de solo. Esse método é reconhecido como mais preciso, porém é mais demorado.

O método do densímetro também conhecido com método do hidrômetro ou Boyocos ou Vettori baseia-se na determinação da concentração de argila de uma suspensão através da leitura no densímetro. Este é o método utilizado para análises de rotina no Laboratório de Física do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR.

Em ambos os métodos, a fração areia é separada por peneiramento e o silte, por sua vez, é determinado por diferença. A descrição destas metodologias encontra-se em EMBRAPA (1997).

### 2.2.2 Conversão de unidades

As frações granulométricas (areia, silte e argila) podem ser expressas em % ou dag/kg ou g/kg.

Sendo que:  $1\% = 1 \text{ g}/100\text{g} = 0,01 \text{ g/g} = 1 \text{ dag}/\text{kg} = 10 \text{ g}/\text{kg}$

$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g} = 100 \text{ dag}$  (decagrama);  $1 \text{ dag} = 10 \text{ g}$

Exemplo de conversão:  $1\% = 0,01 \text{ g/g} = 0,01 \text{ g} / 0,001 \text{ kg}$ ; como  $0,01 / 0,001 = 10$ , então podemos dizer que  $1\% = 10 \text{ g}/\text{kg}$

### 2.3 CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DO SOLO

Até aqui foi visto que a textura do solo representa a proporção das frações areia, silte e argila no solo. Diferentes proporções resultam em diferentes classes texturais. Para obter a classificação textural de um solo, é utilizado o resultado da análise granulométrica e o triângulo textural (Figura 02). A Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (LEMOS e SANTOS, 2002) utilizam as classes de textura do sistema americano, conforme apresentado na Figura 02.

As definições das classes de textura dos solos, de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, variam conforme a distribuição das frações de areia, silte e argila, da seguinte forma:

**Areia** – Material de solo que contém 85% ou mais de areia; a porcentagem de silte mais 1,5 vezes a porcentagem de argila não devem exceder 15%.

**Areia Franca** – Material de solo que contém, no limite superior, de 85 a 90% de areia e porcentagem de silte mais 1,5 vezes a porcentagem de argila não são menores que 15%; no limite inferior, contém não menos que 70 a 85% de areia e a porcentagem de silte mais o dobro da porcentagem de argila não excedem a 30%.

**Franco-Arenoso** – Material de solo que contém 20% ou menos de argila e a porcentagem de silte mais o dobro da porcentagem de argila excedem 30%, e tem 52% ou mais de areia, ou que contém menos de 7% de argila, menos de 50% de silte e entre 43 e 52% de areia.

**Franco** – Material de solo que contém de 7 a 27% de argila, de 28 a 50% de silte e menos de 25% de areia.

**Franco-Siltoso** – Material de solo que contém 50% ou mais de silte e de 12 a 27% de argila ou de 50 a 80% de silte e menos de 12% de argila.

**Silte** – Material de solo que contém 80% ou mais de silte e menos de 12% de argila.



Com o objetivo de simplificar a classificação textural, a EMBRAPA (1999) reúne uma ou mais classes de textura para formar os grupamentos de classes texturais, conforme Figura 03, da seguinte forma:

**Textura arenosa** – Compreende as classes texturais areia e areia franca.

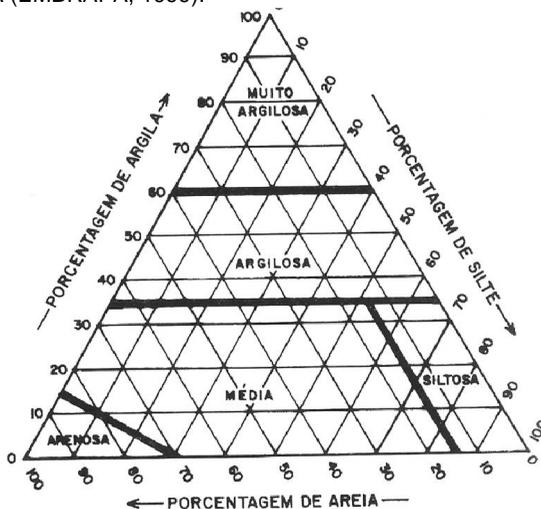
**Textura média** – Compreende as classes texturais ou parte delas, nas quais a composição granulométrica contenha menos de 35% de argila e mais de 15% de areia, excluídas as classes texturais areia e areia franca.

**Textura argilosa** – Compreende classes texturais ou parte delas tendo na composição granulométrica de 35 a 60% de argila.

**Textura muito argilosa** – Compreende classe textural com mais de 60% de argila.

**Textura siltosa** – Compreende parte de classes texturais que tenham menos de 35% de argila e menos de 15% de areia.

FIGURA 03 - TRIÂNGULO PARA GRUPAMENTO DE CLASSES DE TEXTURA (EMBRAPA, 1999).



## 2.4 DETERMINAÇÃO DA TEXTURA ATRAVÉS DO TATO

Esta determinação baseia-se na sensação oferecida pelas diferentes frações granulométricas no solo. Assim, a areia provoca sensação de aspereza, o silte de sedosidade e a argila de plasticidade e pegajosidade. As classes texturais são determinadas considerando a proporção das frações silte, areia e argila, de acordo com as Figuras 02 ou 03. É um teste rápido e pode ser executado no campo. A principal limitação é aferição do tato para decidir qual é a proporção aproximada das frações granulométricas.

## 2.5 IMPORTÂNCIA DA TEXTURA DO SOLO

O tamanho das partículas de um solo mineral bem como a proporção destas não é facilmente alterado e, portanto, a textura do solo é considerada uma propriedade básica. A textura de um solo só poderá ser modificada misturando um solo com outro de diferente classe textural. Isso é possível na produção em casa de vegetação ou estufa. De maneira geral, a textura não é modificada pelo uso e manejo do solo, no entanto, pequenas mudanças podem ser esperadas em solos com altas taxas de perda de solo. No processo erosivo ocorre o desprendimento, transporte e deposição das partículas do solo podendo, portanto alterar a textura de um solo em determinado local.

A textura afeta o movimento e retenção de água no solo, o movimento e retenção de nutrientes e outros íons no solo, a susceptibilidade à erosão e a estruturação do solo influenciando, portanto, aspectos agronômicos e ambientais, principalmente referentes à produção vegetal e poluição das águas.

### 3 ESTRUTURA DO SOLO E AGREGAÇÃO

Enquanto a textura do solo refere-se ao tamanho das partículas, a estrutura refere-se ao arranjo e organização das partículas que formam os agregados do solo. Três características são utilizadas na designação da estrutura na classificação de solos: forma (laminar, prismática, blocos ou granular); tamanho (muito pequena, pequena, média, grande, muito grande) e grau de desenvolvimento dos agregados (grãos simples, maciça, fraca, moderada e forte). Esta determinação é feita visualmente (LEMOS e SANTOS, 2002). No entanto na área de manejo e conservação do solo, outros aspectos como resistência a desagregação e capacidade de infiltração e armazenamento de água são mais significativas.

Além da formação de agregados, uma característica extremamente importante é a estabilidade de agregados, ou seja, como o agregado resiste a uma força destrutiva. A estabilidade de agregados é geralmente avaliada em laboratório, onde artificialmente se aplica uma força destrutiva para simular o fenômeno no campo. Um método comum e clássico para medir estabilidade de agregados é o peneiramento via úmida. A água representa a força destrutiva, e o grau de estabilidade é medido através da proporção de solo que não desagregou, podendo ser utilizados a porcentagem de agregados, o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados como índice de estabilidade de agregados. A descrição detalhada da determinação da estabilidade de agregados através do peneiramento via úmida encontra-se em EMBRAPA (1997).

A formação e estabilidade de agregados dependem principalmente do teor de matéria orgânica do solo, textura e atividade biológica. Solos argilosos com altos teores de óxidos apresentam maior floculação, e, portanto uma melhor agregação. No entanto além da floculação a

cimentação é fundamental, e a matéria orgânica desempenha um papel chave como agente cimentante, daí à importância de manter um alto teor de matéria orgânica, principalmente em solos com baixos teores de argila.

#### 4 LEITURA COMPLEMENTAR

Para definições de termos técnicos na área de solos, ler CURI (1993) e FONTES e FONTES (1992), para descrição de metodologias de análise física de laboratório e de campo ler EMBRAPA (1997) e LEMOS e SANTOS (2002). Para maior aprofundamento dos assuntos teóricos abordados neste capítulo ler: HILLEL (1982), BRADY (1990), DIAS JUNIOR (1996), MARSHALL et al. (1996), PREVEDELLO (1996), COGO (2002).

#### REFERÊNCIAS

- BRADY, N.C. **The nature and properties of soils**. 10. ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1990. 621 p.
- COGO, N.P. **Elementos essenciais em manejo e conservação do solo e da água para o aumento da produtividade agrícola e a preservação do ambiente**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 70 p. (Apostila de Curso).
- CURI, N. (coord.). **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: SBCS, 1993. 89 p.
- DIAS JÚNIOR, M. S. **Notas de aulas de física do solo**. Lavras: UFLA, 1996.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1999. 412 p.
- FONTES, L.E.; FONTES, M.P.F. **Glossário de ciência do solo**. Viçosa: UFV, 1992. 83 p.
- HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. New York: Academic Press, 1982. 364 p.
- LEMOS, R.C. de; SANTOS, R.D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 4 ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. 83 p.
- MARSHALL, T.J.; HOLMES, J.W.; ROSE, C.W. **Soil physics**. 3. ed. New York: Cambridge University Press, 1996. 469 p.
- PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M.; ROQUERO, C. **Edafologia**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1994.
- PREVEDELLO, C.L. **Física do solo: com problemas resolvidos**. Curitiba: C.L. Prevedello, 1996. 446 p.

# CAPÍTULO XI

## DEGRADAÇÃO DO SOLO POR EROÇÃO E COMPACTAÇÃO

Nerilde Favaretto<sup>1</sup>, Neroli Pedro Cogo<sup>2</sup>, Oromar João Bertol<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Eng<sup>o</sup>. Agrônoma, Ph.D. Prof<sup>a</sup>. DSEA/UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050, Curitiba – PR. E-mail: E-mail: nfavaretto@ufpr.br; <sup>2</sup>Eng<sup>o</sup>. Agrônomo, Ph.D. Prof. do DS/FA-UFRGS (bolsista do CNPq). Porto Alegre – RS. E-mail: neroli@ufrgs.br; <sup>3</sup>Eng<sup>o</sup>. Agrônomo, Dr., EMATER-PR. Curitiba- PR. E-mail: geopro@emater.pr.gov.br

1 INTRODUÇÃO.....	256
2 EROÇÃO DO SOLO .....	256
2.1 DEFINIÇÃO DE EROÇÃO DO SOLO .....	256
2.2 TIPOS OU CATEGORIAS DE EROÇÃO DO SOLO .....	257
2.3 AGENTES EROSIVOS .....	258
2.4 COMO OCORRE A EROÇÃO HÍDRICA PLUVIAL .....	259
2.5 FORMAS DE EROÇÃO HÍDRICA.....	261
2.5.1 Erosão entre sulcos .....	261
2.5.2 Erosão em sulcos .....	262
2.5.3 Erosão em voçorocas .....	264
2.5.4 Inter-relação de fatores nas formas de erosão hídrica.....	265
2.6 EFEITOS E CONSEQÜÊNCIAS DA EROÇÃO .....	267
2.7 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA EROÇÃO HÍDRICA .....	268
2.7.1 Avaliação qualitativa das formas de erosão a campo.....	268
2.7.2 Uso de equações para estimar a perda de solo por erosão .....	271
2.7.3 Avaliação da erosão em parcelas de campo.....	275
2.8 TOLERÂNCIA DE PERDA DE SOLO POR EROÇÃO .....	277
3 COMPACTAÇÃO DO SOLO.....	279
3.1 DEFINIÇÃO DE COMPACTAÇÃO DO SOLO.....	279
3.2 CAUSAS DA COMPACTAÇÃO DO SOLO .....	280
3.3 CONSEQÜÊNCIAS DA COMPACTAÇÃO DO SOLO.....	284
3.4 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA COMPACTAÇÃO .....	286
REFERÊNCIAS .....	291

## 1 INTRODUÇÃO

Degradação do solo significa perda de qualidade do mesmo, seja ela de ordem química, física ou biológica. Simplificadamente pode-se dizer que degradação física representa perda da qualidade estrutural ou do espaço poroso do solo, degradação química perda da capacidade do solo de suprir nutrientes ou acúmulo de elementos tóxicos no mesmo e degradação biológica redução da atividade e diversidade dos organismos do solo. Existem várias atividades degradantes na natureza, entre elas as de agricultura (especialmente a motomecanizada), pecuária, desmatamento, urbanização, construção de estradas e mineração. No entanto, a erosão representa a forma mais séria de degradação do solo das terras agrícolas. Outra forma bastante séria de degradação do solo é a compactação. Estas duas formas de causar dano ao solo constituem o enfoque deste capítulo, as quais serão tratadas a seguir, separadamente.

## 2 EROSÃO DO SOLO

### 2.1 DEFINIÇÃO DE EROSÃO DO SOLO

De forma simplificada, erosão pode ser definida como o desgaste superficial do solo pela ação dos agentes erosivos, principalmente a água e o vento. Em termos mais específicos, pode-se definir erosão como o processo físico de desagregação, transporte e deposição das partículas de solo pela ação dos agentes erosivos (COGO, 2002).

A desagregação, como o próprio nome indica, consiste no desprendimento ou separação das partículas de solo da massa que as contém pela ação dos agentes erosivos. As partículas de solo desagregadas podem consistir de grânulos individuais e/ou agregados de solo. A desagregação é a primeira e mais importante fase do processo erosivo, do ponto de vista de que, se ela não ocorrer, não haverá

transporte e nem deposição. A textura e o teor de matéria orgânica, entre outros fatores, afetam muito a desagregação do solo, visto que elas atuam na formação e estabilização dos seus agregados, aumentando a capacidade dos mesmos de resistirem à ação de uma força destrutiva. Solos argilosos, por exemplo, são mais difíceis de serem desagregados do que solos arenosos, da mesma forma como solos com teor de matéria orgânica mais elevado apresentam maior estabilidade de agregados do que outros de mesma textura, porém com menor teor de matéria orgânica. Daí a grande importância que o teor de matéria orgânica tem nos solos arenosos. O impacto das gotas da chuva é o principal agente de desagregação do solo na erosão hídrica pluvial. O escoamento superficial também desagrega partículas do solo, porém em menor magnitude.

Após desagregadas, as partículas de solo são transportadas do seu local original para outro local pela ação dos agentes erosivos, sendo o escoamento superficial o principal agente deste transporte. As partículas de solo transportadas, por sua vez, são depositadas próximas ou distantes do seu local original, podendo atingir planícies, rios, reservatórios e, até, oceanos. Um solo argiloso resiste mais à desagregação do que um solo arenoso, porém, uma vez desagregadas, as finas partículas da sua fração argila são mais facilmente transportadas. Isto pode ser constatado no campo, onde normalmente observam-se partículas da fração areia depositadas nas microdepressões e/ou nos sulcos de erosão próximos ao local original da desagregação, enquanto as partículas das frações silte e argila normalmente são depositadas mais distantemente, podendo facilmente alcançar rios e lagos.

## 2.2 TIPOS OU CATEGORIAS DE EROSÃO DO SOLO

Basicamente, existem dois tipos principais de erosão do solo, a saber: natural e acelerada. A erosão natural é também conhecida como

erosão normal ou geológica, sendo causada por fenômenos naturais, os quais agem sobre longos períodos de tempo, sem a interferência do ser humano. Na erosão natural, os processos de desgaste do solo atuam em equilíbrio com os processos de formação do solo, os quais são muito difíceis de serem avaliados. Por sua vez, a erosão acelerada é também conhecida como erosão induzida ou antrópica, sendo causada pelos mesmos agentes erosivos como na erosão natural, porém agindo sobre curtos espaços de tempo e com forte interferência do ser humano. Este tipo de erosão se sobrepõe à erosão natural, sendo originado da ação do ser humano quando ele utiliza a terra para fins agrícolas ou embasamento para construções (rurais e urbanas). Neste tipo de erosão, o equilíbrio natural entre as forças de desgaste e de formação do solo é rompido. Pode-se afirmar que, na erosão acelerada, as taxas de perda de solo normalmente são bem superiores às taxas de reposição de solo (COGO, 2002).

### 2.3 AGENTES EROSIVOS

Os principais agentes erosivos, sejam na erosão natural, sejam na erosão acelerada, são a água e o vento. Em função do agente erosivo, são definidas as classes de erosão, sendo as principais a hídrica e a eólica. A erosão hídrica é aquela causada pela ação da água, enquanto a erosão eólica é aquela causada pela ação do vento. De modo geral, a erosão hídrica, principalmente a pluvial (causada pela água da chuva), é a mais importante, visto que ela predomina na superfície da crosta terrestre. No entanto, existem locais no mundo onde a erosão eólica também se constitui num grave problema, resultando em elevadas perdas de solo (COGO, 2002).

No Brasil, o foco principal de atenção é a erosão hídrica pluvial, portanto nos deteremos na mesma nesta abordagem. Uma forma simples

de verificar a ocorrência de erosão hídrica é por meio da observação da cor da água nos rios após uma chuva intensa, principalmente em cursos hídricos não protegidos por mata ciliar ou ripária (mata às margens dos rios e nas suas nascentes). A cor avermelhado-escuro ou turbidez da mesma evidencia os sedimentos da erosão nela presentes, como consequência do uso e manejo incorretos do solo.

#### 2.4 COMO OCORRE A EROSÃO HÍDRICA PLUVIAL

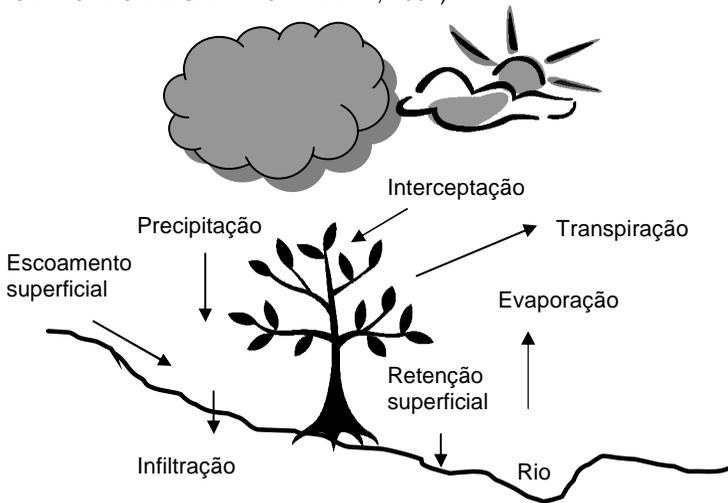
Basicamente, a erosão hídrica pluvial é causada pela ação de impacto das gotas da chuva e pela ação de cisalhamento ou desgaste do escoamento superficial ou enxurrada. Simplificadamente, o processo consiste na desagregação das partículas de solo da massa que as contém pela ação de impacto das gotas da chuva diretamente na sua superfície, o transporte das mesmas pela ação de movimento do escoamento superficial e, finalmente, a deposição do material que foi desagregado e transportado em algum ponto na superfície do terreno.

O impacto das gotas da chuva é o principal responsável pela desagregação das partículas de solo, enquanto o escoamento superficial é o principal responsável pelo transporte das mesmas. No entanto, as gotas da chuva também transportam partículas de solo, por ação de salpicamento, assim como a enxurrada as desagregam, por ação de cisalhamento. O impacto das gotas da chuva causa ainda o que comumente se denomina de selamento superficial (obstrução dos poros maiores da superfície do solo pelas partículas finas que foram dispersadas, formando-se mais tarde uma crosta no mesmo), o que diminui a infiltração de água no solo e, conseqüentemente, aumenta o escoamento superficial. A velocidade máxima de queda das gotas da chuva está ao redor de 9 m/s (FOSTER et al., 1985). Para fins de ilustração, uma única chuva pode desprender mais do que 200 t/ha de

partículas de solo, podendo as mesmas serem deslocadas a 1,0 m de altura e cobrirem um raio de 1,5 m (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999). Muitos autores consideram a erosão causada pelo impacto das gotas da chuva uma forma especial de erosão hídrica, denominando-a também de erosão de impacto das gotas da chuva, erosão de salpico ou salpicamento ou erosão entre sulcos.

Em termos simplificados, a água da chuva que não é interceptada pela vegetação irá diretamente atingir o solo, desagregando suas partículas. Por outro lado, a água que cai no solo e não infiltra no mesmo, ou não é retida nas microdepressões existentes na sua superfície, irá escoar sobre o terreno, transportando as partículas de solo desagregadas (Figura 1).

FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO SIMPLIFICADA DO CICLO HIDROLÓGICO OU CICLO DA ÁGUA NA NATUREZA. (FONTE: MODIFICADO DE SANTA CATARINA, 1994).



Dependendo da capacidade de transporte do escoamento superficial e das condições do relevo, as partículas de solo desagregadas serão depositadas próximas ou distantes do local original de ocorrência da erosão. Assim, os sedimentos poderão ser depositados na própria área de ocorrência do fenômeno, em planícies próximas, em reservatórios, rios, lagos ou, mesmo, nos oceanos.

A quantidade total de energia cinética disponível para realizar o trabalho erosivo vai depender da quantidade e velocidade de queda das gotas da chuva e da quantidade e velocidade do escoamento superficial. Chuvas intensas e declives longos e/ou inclinados constituem condições propícias à ocorrência de elevada erosão hídrica.

## 2.5 FORMAS DE EROSÃO HÍDRICA

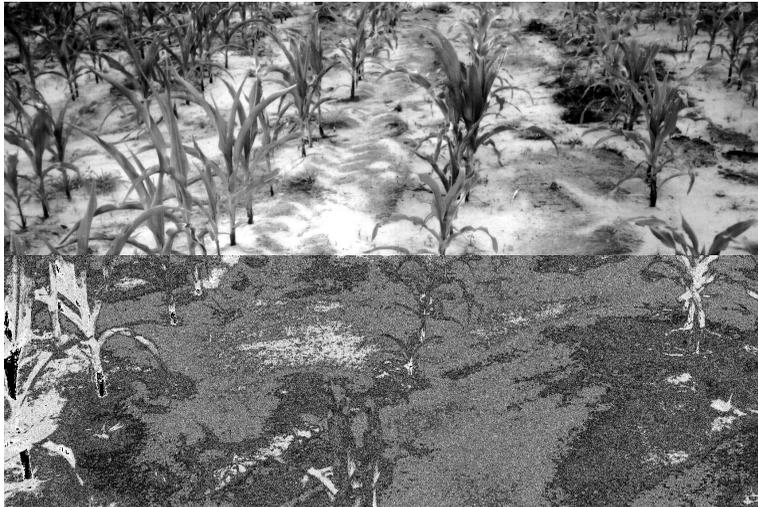
Existem três formas principais de erosão hídrica sobre as terras cultivadas, sendo elas classificadas com base no aspecto como se apresenta a superfície do solo após ter ela sido erodida. Tais formas são: erosão entre sulcos, erosão em sulcos e erosão em voçorocas.

### 2.5.1 Erosão entre sulcos

A erosão entre sulcos tem sido referida também como erosão laminar, principalmente nas literaturas mais antigas. No entanto, de acordo com novas definições, baseadas na luz de novos conhecimentos, tal termo deve ser eliminado, por não ser apropriado à descrição do processo erosivo pela água da chuva. Isto porque o impacto das gotas da chuva é o principal agente erosivo na erosão entre sulcos e, sem a presença dele, a capacidade de desagregação e de transporte do escoamento superficial, quando na sua forma laminar, é muito pequena, o que leva à inapropriação do termo erosão laminar na descrição deste importante processo erosivo. A erosão entre sulcos consiste na remoção mais ou menos uniforme de

uma fina camada de solo de toda a extensão das superfícies lisas do terreno, onde não há concentração do fluxo de água. Esta forma de erosão é de grande abrangência, porém de difícil visualização no campo, já que somente uma uniforme e delgada lâmina de solo é removida da superfície do terreno por este processo. Na Figura 2, pode-se observar a ocorrência da erosão entre sulcos em uma área agrícola, enquanto no item 2.7.1 deste capítulo é apresentada uma metodologia de avaliação da erosão entre sulcos a campo.

FIGURA 2 - EROSÃO ENTRE SULCOS (FOTO DOS AUTORES).



A erosão entre sulcos, conforme já discutido, tem como agente principal o impacto das gotas da chuva diretamente na superfície do solo, sendo, ainda, subsidiariamente causada pelo fluxo difuso da lâmina delgada de água que se forma nas porções mais lisas do terreno. Assim, esta forma de erosão pode ocorrer em toda uma encosta, porém tem maior

expressão, em relação às demais, no terço superior da mesma, onde o fluxo concentrado normalmente ainda não se formou.

### 2.5.2 Erosão em sulcos

A erosão em sulcos é aquela que ocorre nos pequenos canais existentes na superfície do solo, onde há concentração do fluxo de água, sendo este o agente dominante tanto na desagregação quanto no transporte das partículas de solo realizados neste processo erosivo. Esta forma de erosão é de fácil visualização no campo. Os sulcos formados apresentam uma relação largura:profundidade típica de 1:1, sendo normalmente desfeitos durante as operações usuais de preparo do solo. No entanto, nos seus estágios mais avançados, a profundidade dos sulcos pode dificultar ou, até, impedir a passagem da maquinaria agrícola sobre o solo, afetando muito as atividades motomecanizadas. O leito de tais sulcos de erosão normalmente encontra-se posicionado na porção inferior da camada arável do solo.

A erosão em sulcos ocorre de forma aleatória, originada, principalmente, das práticas inadequadas de manejo agrícola, o que possibilita que mudem de local na lavoura após cada operação de mobilização do solo. Os sulcos surgem com maior evidência nos terços médio e inferior da encosta, uma vez que, para se formarem, é necessário que ocorra, em algum ponto do terreno, fluxo concentrado de água com energia capaz de desagregar e transportar solo. No terço inferior da encosta, os sulcos deixam de existir quando se inicia a deposição do solo que está sendo transportado na enxurrada. Na Figura 3, pode-se observar a ocorrência da erosão em sulcos em uma área agrícola, enquanto no item 2.7.1 deste capítulo é apresentada uma metodologia de avaliação da erosão em sulcos a campo.

FIGURA 3 - EROÇÃO EM SULCOS (FOTO DOS AUTORES).



### 2.5.3 Erosão em voçorocas

A erosão em voçorocas representa um estágio avançado da erosão em sulcos, ocorrendo em canais com dimensões relativamente grandes, os quais impedem o livre trânsito da maquinaria agrícola na lavoura. A profundidade de uma voçoroca é função da espessura do substrato geológico intemperizado do perfil de solo onde ela se situa e do volume de água concentrado que escoia sobre o leito da mesma.

Segundo PARANÁ (1994), as principais causas do surgimento de voçorocas numa lavoura são:

- a) Áreas agrícolas que, devido ao manejo inadequado do solo, concentram a enxurrada nas linhas de drenagem natural da bacia, promovendo o colapso desses locais, com conseqüente e rápida formação de voçorocas;

- b) Terraços em gradiente que canalizam as águas da lavoura para as divisas das propriedades, separando-as pela formação das assim denominadas voçorocas de divisa;
- c) Sistemas de terraceamento que descarregam suas águas nas estradas, originando voçorocas nas laterais das mesmas;
- d) Enxurradas formadas pela impermeabilização do leito das estradas, que, associadas às águas descarregadas pelo sistema de terraceamento nas mesmas, adentram as áreas agrícolas, normalmente no final das encostas, provocando a formação de voçorocas;
- e) Água captada e concentrada por núcleos e concentrações urbanas, que são descarregadas sobre as áreas agrícolas, originando as chamadas voçorocas periurbanas.

A distribuição das voçorocas na paisagem guarda uma relação estreita com os fatores que determinam seu surgimento. Quando o agente causador das mesmas for a concentração de enxurrada a partir de lavouras, laterais de estradas ou áreas periurbanas, elas poderão evoluir das partes mais altas da encosta para o fundo dos vales, a partir de pontos distintos da encosta ou das linhas de drenagem natural (PARANÁ, 1994). Na Figura 4, pode-se observar a ocorrência da erosão em voçorocas em uma área agrícola.

#### 2.5.4 Inter-relação de fatores nas formas de erosão hídrica

As diferentes formas de erosão hídrica do solo podem ocorrer simultaneamente numa mesma chuva, numa mesma encosta. No entanto, suas intensidades nas lavouras irão variar muito, influenciadas por determinados fatores, entre eles a posição na paisagem, a forma do relevo, o grau de intemperismo, a textura e o sistema de manejo do solo.

FIGURA 4 - EROSÃO EM VOÇOROCAS (FOTO DOS AUTORES).



Com relação ao grau de intemperismo, os solos mais intemperizados, como os Latossolos, de modo geral apresentam menor perda de solo do que os Nitossolos (Terra Roxa estruturada, na classificação antiga). Isto ocorre, principalmente, porque o maior intemperismo propicia maior estabilidade aos agregados do solo, os quais, por sua vez, criam condições para que a taxa de infiltração de água seja maior, reduzindo a formação de fluxo superficial e, conseqüentemente, causando menor erosão.

A textura do solo influencia a erosão entre sulcos por ter relação direta com a estabilidade dos seus agregados. Uma textura arenosa predispõe mais o solo à erosão entre sulcos do que uma textura argilosa, uma vez que a primeira confere menor estabilidade aos agregados, permitindo, assim, maior ação desagregadora do impacto das gotas da chuva (principal agente erosivo nesta forma de erosão). A menor

estabilidade de agregados nos solos arenosos também os torna mais predispostos à erosão em sulcos e à erosão em voçorocas.

Por sua vez, as práticas de manejo que propiciam maior cobertura vegetal, maior adição de matéria orgânica e menor mobilização do solo, como a semeadura direta, minimizam o efeito de qualquer uma das três formas principais de erosão hídrica sobre as terras agrícolas. No entanto, numa situação de pendentes longas e/ou inclinadas, solos compactados e ausência de estruturas especiais para o gerenciamento da enxurrada, é possível a formação de fluxo superficial difuso, com energia de cisalhamento e de transporte de solo suficientes para causar a erosão entre sulcos, o transporte de palha e, até, a formação de pequenos sulcos, especialmente no final da encosta.

Um aspecto conveniente de ser ressaltado quando se fala em semeadura direta, diz respeito à melhoria dos níveis de fertilidade do solo nos primeiros centímetros de sua camada superficial, neste sistema de cultivo. Esta condição, no entanto, quando associada à ocorrência de fluxo superficial, possibilita a formação de enxurrada altamente enriquecida de nutrientes, a qual, se não gerenciada na própria encosta, poderá comprometer a qualidade das águas superficiais, especialmente as mais próximas da área de ocorrência do fenômeno.

## 2.6 EFEITOS E CONSEQÜÊNCIAS DA EROSÃO

A erosão do solo constitui o centro da atenção de uma série de problemas relacionados com o uso dos recursos naturais solo e água (PARANÁ, 1994), causando assoreamento de reservatórios, rios e lagos, poluição da água, perda de matéria orgânica e da fertilidade do solo, decréscimo na produtividade das culturas e degradação física do solo. Além desses problemas de naturezas agrônômica e ambiental, a erosão do solo causa sérios problemas sociais. Entre outros reflexos, a perda da

camada superficial do solo, portanto a de maior fertilidade, diminui a produtividade das culturas e aumenta os custos da produção agrícola, afetando muito a população (COGO e LEVIEN, 2002). Outros efeitos da erosão a serem considerados sobre a população, especialmente a urbana, dizem respeito ao custo do tratamento de água para abastecimento doméstico, devido à poluição da mesma, e o problema relacionado com as enchentes, oriundo do assoreamento de rios, devido aos sedimentos da erosão.

Em resumo, a erosão do solo reduz sua capacidade produtiva para as culturas e degrada o ambiente, constituindo sério problema para a humanidade. Impõe-se, pois, a necessidade de implementação de programas conservacionistas realmente eficazes, não só em relação à conservação do solo propriamente dito, mas também em relação ao ambiente como um todo, de forma integrada.

## 2.7 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA EROSÃO HÍDRICA PLUVIAL

### 2.7.1 Avaliação qualitativa das formas de erosão a campo

A seguir, será apresentada a metodologia de avaliação da erosão descrita por LEPSCH (1991) e ALVARENGA e PAULA (2000), utilizada no sistema brasileiro de classificação de capacidade de uso das terras para fins agrícolas. Esses autores utilizam o termo erosão laminar quando se referem àquela forma de erosão que, atual e corretamente, se denomina de erosão entre sulcos. Porém, por uma questão de coerência à referida referência bibliográfica, tal termo será aqui mantido, tendo em mente, contudo, que o mesmo não é apropriado para a descrição do processo erosivo pela ação de impacto das gotas da chuva.

Para a avaliação da erosão laminar, segundo LEPSCH (1991) e ALVARENGA e PAULA (2000), sempre que possível deve-se ter como referência um perfil de solo original (não erodido), de preferência na

mesma posição da paisagem onde a erosão será avaliada, ou seja, se a erosão estiver sendo avaliada numa área posicionada na meia encosta, o perfil de referência preferencialmente deve, também, estar nesta posição, ou seja, na meia encosta, porém em local ainda não alterado pela atividade agrícola. Na ausência de um perfil de solo original para ser usado como referência, pode-se adotar uma profundidade arbitrária do horizonte A do solo em questão. Segundo a metodologia em pauta, a erosão laminar pode ser avaliada como segue.

- a) *Ligeira*: menos do que 25% do horizonte A removido;
- b) *Moderada*: 25 a 75% do horizonte A removido;
- c) *Severa*: mais do que 75% do horizonte A removido e, possivelmente, com o horizonte B já aparecendo;
- d) *Muito severa*: 100% do horizonte A removido e o horizonte B bastante removido;
- e) *Extremamente severa*: 100% do horizonte A removido, o horizonte B em sua maior parte já removido e o horizonte C já atingido.

A avaliação da erosão em sulcos e da erosão em voçorocas, na metodologia descrita por LEPSCH (1991) e ALVARENGA e PAULA (2000), é feita visualmente, em relação à frequência e profundidade dos sulcos. Assim, em relação à frequência, os sulcos podem ser classificados como segue:

- a) *Ocasionais*: sulcos distanciados mais do que 30 m;
- b) *Freqüentes*: sulcos distanciados menos do que 30 m e ocupando área inferior a 75%;
- c) *Muito freqüentes*: sulcos distanciados menos do que 30 m e ocupando área superior a 75%.

Em relação à profundidade, a classificação dos sulcos segue:

- a) *Superficiais*: sulcos que podem ser cruzados por máquinas agrícolas e se desfazem com as operações usuais de preparo do solo;
- b) *Rasos*: sulcos que podem ser cruzados por máquinas agrícolas, mas não se desfazem com as operações usuais de preparo do solo;
- c) *Profundos*: sulcos que não podem mais serem cruzados por máquinas, mas ainda não atingiram o horizonte C;
- d) *Muito profundos ou voçorocas*: sulcos que não podem mais serem cruzados por máquinas agrícolas e já atingiram o horizonte C.

A seguir, será dado um exemplo de avaliação expedita da erosão a campo, de acordo com a metodologia descrita por LEPSCH (1991) e ALVARENGA e PAULA (2000). Considere a seguinte situação: A profundidade do horizonte A de um solo original (não erodido) é de 40 cm, enquanto que a do mesmo horizonte, porém no solo na área agrícola onde está sendo avaliada a erosão ela é de 25 cm. Então, efetuando-se os cálculos:  $40 - 25 = 15$  cm, ou seja, percebe-se que houve uma remoção de 15 cm do horizonte A do solo na área agrícola. Uma vez que a profundidade do horizonte A do solo original (não erodido) é de 40 cm, a remoção de 15 cm do mesmo horizonte no solo da área agrícola corresponde à perda de 37,5% de tal camada de solo superficial e, de acordo com a metodologia em pauta, quando se tem uma remoção do horizonte A entre 25 e 75% do seu total, classifica-se a erosão laminar como moderada.

Continuando com o exemplo de avaliação da erosão, consideremos que, na mesma área agrícola onde foi caracterizada a erosão laminar, observa-se também a ocorrência da erosão em sulcos, os quais encontram-se distanciados por mais do que 30 m entre si e, pela profundidade dos mesmos, eles podem ser cruzados por máquinas

agrícolas e posteriormente se desfazerem com o preparo do solo. De acordo com a metodologia em questão, tal condição caracteriza sulcos ocasionais e superficiais. Portanto, pode-se dizer que na gleba agrícola em exemplificação existe erosão laminar moderada e erosão em sulcos ocasional e superficial.

Esta metodologia de avaliação expedita da erosão a campo é a mesma utilizada no diagnóstico do meio físico da propriedade, assunto este discutido no capítulo III deste livro. Os fatores aqui comentados encontram-se apresentados de forma esquemática na Tabela 6 do referido capítulo.

Merece ser destacada aqui a avaliação da erosão em lavouras submetidas à técnica de semeadura direta, pelo fato de que, neste sistema de cultivo, a porção perdida de solo normalmente é altamente enriquecida, embora quando bem executada, as perdas de solo nela são relativamente baixas. No entanto, a perda de água na mesma normalmente é alta, e pode estar sendo acompanhada de perda de palhada. Assim, a avaliação da erosão neste sistema de cultivo, principalmente quando feita visualmente, deve ser bastante cuidadosa, uma vez que ela é de difícil visualização, pois quase sempre é ocasionada pelo fluxo de água que escoar por baixo da camada de palha. Também, em tal sistema de cultivo, é conveniente atentar para aqueles locais na lavoura onde poderão estar ocorrendo as maiores perdas de solo, que são na meia encosta, mas principalmente no terço inferior da mesma.

### 2.7.2 Uso de equações para estimar a perda de solo por erosão

A forma mais significativa de quantitativamente se avaliar os resultados de um processo é por meio do uso de uma equação estabelecida, baseada no conhecimento existente. Existem várias equações ou modelos matemáticos para se estimar a perda de solo por

erosão, porém sua escolha deve estar de acordo com os objetivos estabelecidos nos mesmos. O mais popular de todos esses modelos é a Equação Universal de Perda de Solo (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Não constitui propósito neste livro instruir o leitor a usar a Equação Universal de Perda de Solo, portanto não será apresentado nenhum exemplo de aplicação prática da mesma. No entanto, julgou-se importante, pelo menos, discutir um pouco o assunto, especialmente quanto aos objetivos da equação e seus componentes, uma vez que estes são os fatores controladores da erosão.

A Equação Universal de Perda de Solo – EUPS (“USLE”, em inglês) foi desenvolvida nos Estados Unidos da América como ferramenta auxiliar a ser usada no planejamento conservacionista de uso do solo da propriedade, tendo como objetivo primário estimar a perda média anual de solo por erosão hídrica numa dada área agrícola. Vários anos após sua criação, a “USLE” foi completamente revisada, tendo à ela sido incorporadas novas informações da pesquisa, sendo então desenvolvida sua sucessora, a assim denominada Equação Universal de Perda de Solo Revisada – EUPSR (“RUSLE”, em Inglês) (RENARD et al., 1997), a qual, apesar de ter sofrido significativas melhorias, continua sendo um modelo empírico, baseado em dados experimentais, e com os mesmos objetivos anteriormente delineados na “USLE” (HUDSON, 1995).

É importante salientar que a Equação Universal de Perda de Solo não foi criada com o objetivo de estimar a perda de solo em microbacias hidrográficas, uma vez que ela não computa as taxas de deposição e de descarga dos sedimentos da erosão, ou seja, a equação não estima exatamente o quanto de solo ou sedimento está saindo da área de erosão e entrando nos reservatórios e/ou cursos d’água; portanto, ela não deve ser usada para tal finalidade (HUDSON, 1995).

A Equação Universal de Perda de Solo expressa a ação combinada dos fatores controladores da erosão, sendo representada da seguinte forma:

$A = RKLSCP$ , onde:

A= perda média anual de solo calculada pela equação (t/ha/ano);

R= fator erosividade da chuva (MJ/ha) / (mm/h/ano);

K= fator erodibilidade do solo (t/ha/h) / (MJ/mm/ha);

L= fator comprimento do declive (adimensional);

S= fator grau do declive (adimensional);

C= fator combinado cobertura-manejo do solo (adimensional);

P= fator prática conservacionista de suporte (adimensional).

O fator R expressa o potencial erosivo da chuva e da sua enxurrada associada. RUFINO et al. (1993) desenvolveram um mapa de erosividade da chuva para o Estado do Paraná, o qual pode ser utilizado para a obtenção do fator R para o referido Estado. Mapas de erosividade da chuva para os Estados de São Paulo e de Santa Catarina podem ser obtidos de BERTONI e LOMBARDI NETO (1999) e SANTA CATARINA (1994), respectivamente.

O fator K expressa a perda de solo por unidade de energia erosiva (por unidade do fator R). Idealmente, ele é obtido experimentalmente, a campo (forma direta de obtenção deste fator), utilizando-se uma parcela usualmente referida como “padrão”, com 22,0 m de comprimento e 9% de declividade, a qual é preparada convencionalmente, no sentido do declive, e mantida permanentemente sem cultivo e descoberta. Equações podem também serem utilizadas para a obtenção indireta do fator K, no entanto estas precisam ser calibradas com dados experimentais locais. BERTONI e LOMBARDI NETO (1999) e SANTA CATARINA (1994) apresentam uma

metodologia para a obtenção do fator K para os Estados de São Paulo e de Santa Catarina, respectivamente.

O fator combinado LS expressa a relação entre a perda de solo de uma área com comprimento e grau de declive qualquer e aquela da parcela padrão (com 22,0 m de comprimento e 9% de declividade). Da mesma forma que o fator K, o fator combinado LS pode ser obtido indiretamente, por meio de equações, desde que experimentalmente calibradas. BERTONI e LOMBARDI NETO (1999) e SANTA CATARINA (1994) apresentam uma metodologia para a obtenção do fator combinado LS para os Estados de São Paulo e de Santa Catarina, respectivamente.

O fator C expressa a relação entre a perda de solo de uma área cultivada sob determinada condição de cobertura e de manejo do solo e aquela da parcela padrão (mantida permanentemente sem cultivo e descoberta). Quanto menor o valor do fator C, tanto menor será a perda de solo calculada, uma vez que a cobertura e o manejo do solo são fatores redutores da erosão. A obtenção do fator C é muito difícil e complexa, devido à dificuldade de se estimar os efeitos combinados da cobertura e do manejo do solo nos diferentes estádios de crescimento de uma dada cultura. Da mesma forma que os demais fatores, equações podem também serem utilizadas para a obtenção indireta do fator C, no entanto o problema continua o mesmo, ou seja, há necessidade de se calibrar as mesmas com dados experimentais locais. BERTONI e LOMBARDI NETO (1999) e SANTA CATARINA (1994) apresentam uma metodologia para a obtenção do fator C para os Estados de São Paulo e de Santa Catarina, respectivamente.

O fator P representa a relação entre a perda de solo de uma área cultivada com determinada prática conservacionista de suporte (estabelecida no sentido transversal ao declive) e aquela da mesma área, porém cultivada no sentido do declive (morro acima e morro abaixo no

terreno). Da mesma forma que o fator C, as práticas conservacionistas de suporte atuam como fatores redutores da erosão, ou seja, quanto menor o valor do fator P, tanto menor será a perda de solo calculada pela equação. Valores de P em função de práticas conservacionistas de suporte usualmente adotadas, podem ser encontrados em BERTONI e LOMBARDI NETO (1999) e em SANTA CATARINA (1994).

Nos Estados Unidos da América, o uso da Equação Universal de Perda de Solo é bastante comum e suas estimativas são bastante confiáveis, em função do grande número de dados de pesquisa lá existente. No entanto, o uso da mesma em outros países vai depender de uma adequação nos seus bancos de dados (e da qualidade dos mesmos, é claro). Os sistemas de cultivo e a distribuição de chuvas, por exemplo, variam muito entre locais, e a avaliação dos fatores C (cobertura e manejo do solo) e R (erosividade da chuva), principalmente, deve ser ajustada aos diferentes locais. O fator K (erodibilidade do solo) também precisa ser ajustado localmente, pois as variáveis usadas na sua determinação, como percentagens de areia e silte, teor de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade do solo, também variam muito entre locais, em função dos diferentes tipos de solo neles existentes. Os fatores L e S (comprimento e grau do declive), principalmente, e o fator P (prática conservacionista de suporte), são os que, comparativamente aos demais fatores, menos necessitam de ajuste, podendo seus valores, em princípio, serem transferidos de um local para outro sem maiores problemas (HUDSON, 1995).

### 2.7.3 Avaliação da erosão em parcelas de campo

Para a obtenção da perda de solo a campo, devem-se estabelecer parcelas especiais de erosão, delimitadas com chapas metálicas, aprofundadas 5 a 10 cm no solo, e munidas de um sistema coletor da

enxurrada (calha, conduto e tanque) na sua extremidade inferior. Tais parcelas são submetidas à chuva natural e/ou chuva simulada (utilizando simuladores de chuva), amostrando-se a enxurrada delas proveniente. As amostras de enxurrada coletadas, contendo o material água e solo, são então levadas para laboratório, pesadas e colocadas para secar em estufa a 105 °C, até peso constante. O peso obtido refere-se ao peso da amostra mais o do recipiente de coleta. Após secagem, pesa-se novamente a amostra para se obter a quantidade de sedimentos secos na mesma. Nesta etapa, contudo, é preciso separadamente pesar o recipiente de coleta e subtrair seu valor do peso total após secagem, de modo a se obter a quantidade final de sedimentos secos propriamente dita. O volume de água na amostra será o resultado da diferença entre os pesos antes e após secagem (não é necessário, nesta etapa, descontar o peso do recipiente de coleta, desde que os dois pesos tenham sido obtidos usando o mesmo recipiente). Para a obtenção do volume total de água perdida, considera-se, para fins práticos, a densidade da amostra como sendo igual à da densidade da água, ou seja,  $1\text{g/dm}^3$  (1 grama da amostra é igual a 1 mililitro de água). Conhecendo a área da parcela, pode-se, então, estimar a perda final de solo e a perda final de água por unidade de área (hectare). Por exemplo, a perda de 3 kg de solo em uma parcela com  $15\text{ m}^2$ , representa uma perda final de solo de 2 t/ha. No caso da experimentação científica, esta avaliação precisa obedecer o rigor científico. No entanto, para fins práticos, ela pode ser utilizada como ferramenta auxiliar por extensionistas e outros profissionais do campo para mostrar aos produtores, por exemplo, o quanto de solo e o quanto de água estão sendo perdidos num determinado tipo de solo, numa dada condição de uso e manejo da terra. Nas Figuras 5 e 6, pode-se observar parcelas experimentais de erosão instaladas a campo e em laboratório,

respectivamente, utilizadas na determinação das perdas de solo e água por erosão hídrica.

**FIGURA 5 - EXPERIMENTO A CAMPO PARA DETERMINAÇÃO DAS PERDAS DE SOLO E ÁGUA COM O USO DO SIMULADOR DE CHUVA DE BRAÇOS ROTATIVOS - TIPO SWANSON (FOTO DOS AUTORES)**

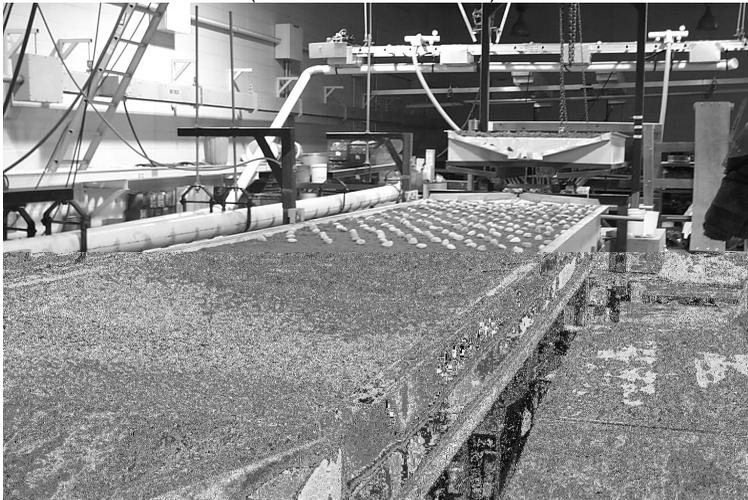


## 2.8 TOLERÂNCIA DE PERDA DE SOLO POR EROSIÃO

Tolerância de perda de solo (valor T) refere-se à quantidade de solo que pode anualmente ser perdida por erosão, mantendo o mesmo ainda com elevado nível de produtividade para as culturas, por longo período de tempo. O ideal seria estabelecer o valor T em relação à taxa de formação (gênese) do solo, no entanto este é um critério muito difícil e, até, discutível do ponto de vista de utilização prática. Estudos recentes indicam que, em solos não cultivados (virgens), necessita-se de 300 a 1000 anos

para a formação de 2,5 cm de solo superficial, enquanto em solos cultivados, em função da maior intensidade dos processos de formação do solo, como a aeração e a lixiviação (perdas de substâncias químicas em solução), tal taxa pode consideravelmente ser reduzida (HUDSON, 1995). Nos Estados Unidos da América, por exemplo, o limite superior de perda tolerável de solo é baseado numa taxa de formação do solo superficial de 2,5 cm a cada 30 anos, o que corresponde, aproximadamente, a 12 toneladas de solo por hectare por ano. Dependendo do tipo de solo, contudo, os valores de perda tolerável são bastante reduzidos, podendo chegar a 2 toneladas por hectare por ano (HUDSON, 1995; BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999).

**FIGURA 6 - EXPERIMENTO EM LABORATÓRIO PARA DETERMINAÇÃO DAS PERDAS DE SOLO E ÁGUA COM O USO DO SIMULADOR DE CHUVA TIPO NORTON (FOTO DOS AUTORES).**



No Brasil, os valores de perda tolerável de solo situam-se entre 3,5 e 15 toneladas por hectare por ano, segundo BERTONI e LOMBARDI NETO (1999), em estimativa realizada para os solos do Estado de São Paulo. No estabelecimento dos valores toleráveis de perda de solo, o seguinte procedimento foi utilizado por esses autores: a) determinação da profundidade do solo e da relação textural entre horizontes superficiais e subsuperficiais; b) escolha dos horizontes no perfil de solo; c) cálculo da massa de solo por horizonte; d) obtenção da massa total de solo no perfil - pelo somatório da massa de solo de cada horizonte e) divisão da massa total de solo pelo período de 1000 anos (tempo considerado para desgastar totalmente o solo). No Estado do Paraná, devido à falta de dados dessa natureza, são utilizados os valores de tolerância de perda de solo estimados para o Estado de São Paulo, apresentados por BERTONI e LOMBARDI NETO (1999), enquanto em Santa Catarina são utilizados os dados sugeridos por BERTOL e ALMEIDA (2000).

O conhecimento dos níveis de tolerância de perda de solo por erosão torna-se importante no planejamento conservacionista da propriedade. Por meio da utilização da Equação Universal de Perda de Solo, por exemplo, podem-se propor medidas eficazes de controle da erosão, as quais reduzirão as perdas de solo aos níveis aceitáveis ou, ainda, mais baixos ainda. Como as perdas de solo podem ser reduzidas é assunto discutido no item 3 - "Práticas de Conservação do Solo", apresentado no capítulo XI deste livro.

### **3 COMPACTAÇÃO DO SOLO**

#### **3.1 DEFINIÇÃO DE COMPACTAÇÃO DO SOLO**

O aumento da densidade do solo nas suas primeiras camadas, pelo efeito de uma compressão exercida sobre sua superfície, tem sido definido como compactação do solo. Este fenômeno, já bastante discutido, ocorre

quando a pressão exercida sobre o solo excede sua capacidade de suportar a carga e sua resistência ao cisalhamento. Quando o solo recebe uma carga suficiente para causar compactação, a pressão recebida é rapidamente dissipada pelo fluxo de massa da zona que recebe a compressão, empurrando as partículas de solo para dentro do seu espaço poroso. O resultado dessa ação é um rearranjo das partículas do solo e uma redução no seu espaço poroso, especialmente os poros grandes ou macroporos. O rearranjo das partículas de solo e a redução do seu espaço poroso aumentam tanto a compactação quanto a coesão do solo, ocasionando mudanças nas relações massa-volume do mesmo e, assim, interferindo nos fluxos de ar, nutrientes, calor e água (BOWEN, 1981).

### 3.2 CAUSAS DA COMPACTAÇÃO DO SOLO

A compactação do solo pode se originar de vários fatores, se fazendo presente, principalmente, quando, nas atividades agropecuárias, há o emprego da motomecanização. Assim, ela tem sido bastante estudada no sistema de semeadura direta, porém se faz presente também em áreas florestais, particularmente quando do emprego de máquinas e caminhões nas diferentes fases de condução deste tipo de empreendimento, desde a produção até o transporte da madeira. É ainda necessário considerar que a deformação, e conseqüente compactação, de determinadas camadas do solo pode ser promovida pelo trânsito de animais (incluindo o ser humano), bem como pelo trânsito de máquinas, quando no sistema de produção pecuária da propriedade houver o emprego de máquinas na fase de implantação e/ou colheita de forrageiras. Por último, a compactação do solo poderá ter origem na consolidação natural do solo durante os processos de sua formação, na contração natural que ele sofre durante os períodos de secagem e na

desestruturação dos seus agregados pela ação de impacto das gotas da chuva.

Embora várias possam ser as causas da compactação do solo, a passagem de máquinas e equipamentos agrícolas está entre as principais causadoras deste dano, especialmente nas últimas décadas, devido à exploração de duas a três safras anuais, com o uso da motomecanização em todas as fases do processo produtivo. Além disso, houve aumento no peso e na potência das máquinas e dos implementos, além de alterações nas características dos mesmos, tais como massa, carga por eixo e tipo de pneus. Áreas submetidas à pastejo também têm apresentado compactação na camada superficial de seus solos, em decorrência do pisoteio excessivo do gado.

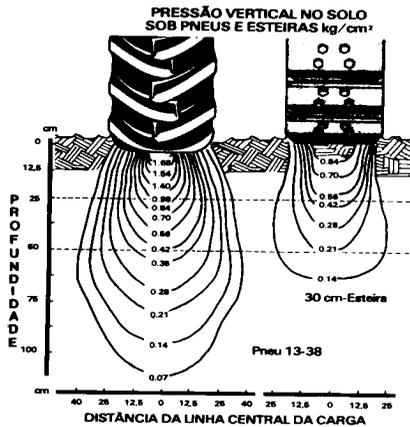
Os avanços obtidos nos aspectos de mecânica das máquinas agrícolas proporcionaram uma diminuição na sua relação peso/potência. No entanto, o aumento de potência ampliou a capacidade de transporte, a qual, por sua vez, aumentou a compactação do solo em razão da maior pressão exercida na superfície do solo. É necessário ainda acrescentar que, máquinas com maior peso, promovem a compactação do solo nas camadas mais profundas do mesmo.

Para melhor suportar e distribuir o maior peso das máquinas agrícolas, os fabricantes têm aumentado a largura dos rodados, uma vez que essa medida resulta em menor pressão por unidade de área e, assim, menor intensidade de compactação na região que recebe a pressão. No entanto, tem-se observado que, embora a maior dimensão dos pneus, o bulbo de pressão alcança maior profundidade quando o peso do trator aumenta, mesmo com o surgimento de pneus melhor delineados (TIJINK, 1988).

A distribuição do peso das máquinas sobre a superfície do solo explica o fato dos tratores com rodados de esteira compactarem menos o

solo do que os tratores com rodados de pneu. Isto se deve ao fato de que a esteira, por ter maior superfície de contato com o solo, em relação ao pneu, exerce menor compressão por unidade de área e, assim, compacta menos o solo (Figura 7). Em consequência, o bulbo de pressão desse rodado também alcança menor profundidade do que os rodados de pneu.

FIGURA 7 - COMPARATIVO ENTRE OS EFEITOS DOS RODADOS DE PNEUS E DOS RODADOS DE ESTEIRA NA COMPACTAÇÃO DO SOLO (FONTE: DNOCS, 1989).



O alcance do bulbo de compactação depende ainda do grau de consolidação do solo. Em solos soltos, o bulbo de compactação atinge maior profundidade do que em solos firmes. Observações a campo evidenciam que os efeitos do tráfego na compactação do solo, de modo geral, se concentram nos primeiros 20 cm de profundidade, sendo que, com o passar do tempo, a camada de impedimento mecânico poderá alcançar, até, a profundidade de 35 cm de solo.

A operação de colheita tem tido importância cada vez maior no comprometimento das propriedades físicas do solo, em particular no sistema de semeadura direta. A frequência de tráfego sobre o solo,

principalmente de colhedoras carregadas, tem sido a maior responsável por essas alterações físicas. Uma passagem de pneu de uma colhedora carregada é capaz de reduzir grandemente a taxa de infiltração de água no solo, comparada à condição original do solo. Na operação de colheita, há ainda a contribuição significativa da operação de transporte, normalmente executada por caminhões e carretas agrícolas.

Os solos apresentam, em maior ou menor grau, capacidade de se oporem às forças que sobre eles são exercidas, comumente denominada de resistência mecânica. Esta propriedade, a qual pode ser definida como o máximo de pressão possível de ser suportado pelo solo antes dele se deformar, é influenciada por muitos fatores, entre eles a estrutura, a textura, o teor de matéria orgânica e a umidade do solo.

A água do solo é um elemento regulador do fenômeno da compactação, uma vez que ela forma uma película ao redor das partículas de solo, a qual irá atuar como lubrificante, facilitando o deslocamento e o rearranjo das partículas nos espaços vazios do solo. Em condições de baixa umidade, a deformação do solo é limitada, pelo fato do movimento de suas partículas ser dificultado pelo atrito que ocorre entre elas no momento do deslocamento, em razão da escassez de água. No entanto, altos teores de argila e de matéria orgânica aumentam a umidade crítica de compactação do solo. Isto ocorre pelo fato de que a argila e a matéria orgânica aumentam o poder de absorção de água pelo solo.

O grau de intemperismo e, por conseqüência, o tipo de solo, também influencia no resultado do efeito das forças que agem na compactação do solo. Solos mais intemperizados, como, por exemplo, os Latossolos, por apresentarem grau de saturação mais elevado, necessitam de maiores quantidades de água para alcançar os valores mais elevados do índice de compressão. Tal comportamento está relacionado com a estrutura granular e a alta estabilidade de agregados nesse tipo de solo

(SILVA et al., 2000). Assim, os mesmos têm apresentado melhores condições de trafegabilidade após as chuvas.

A textura e o teor de matéria orgânica do solo também exercem influência na compactação do solo. Assim, teores de argila e de matéria orgânica mais elevados têm capacidade de diminuir o efeito das forças de compactação no solo, uma vez que tais componentes aumentam o poder de adsorção de água nos mesmos. Assim, na medida em que aumenta o poder de adsorção de água nos solos argilosos, ocorre maior demanda da mesma para alcançar a umidade crítica de compactação, em comparação aos solos arenosos. Porém, o efeito da textura na umidade crítica de compactação diminui à medida que aumenta o teor de matéria orgânica no solo (SILVA et al., 2000).

### 3.3 CONSEQÜÊNCIAS DA COMPACTAÇÃO DO SOLO

O processo de compactação do solo, independentemente dos tipos de solo, uso e manejo a ele dispensado, tem consideravelmente alterado suas condições físicas (densidade do solo, porosidade total e tamanho e continuidade dos poros), bem como aquelas propriedades delas dependentes (aeração, infiltração, retenção e capacidade de armazenamento de água). Assim, reveste-se de grande importância o estudo da compactação e suas conseqüências nas relações hídricas do solo, tendo em vista que ela pode diminuir o rendimento das culturas, por diminuir a eficiência dos fertilizantes, causada pela redução da absorção de nutrientes pelas plantas. Tais problemas surgem em virtude da compactação restringir a infiltração e a redistribuição de água na camada alterada do solo, bem como dificultar as trocas gasosas entre o solo e a atmosfera e o acesso das raízes aos nutrientes das plantas, tendo em vista que ela restringe o crescimento radicular das mesmas.

O caminho natural de crescimento radicular da maioria das espécies cultivadas é através dos macroporos ou espaços vazios, que ocorrem entre os agregados de solo. Nos solos não compactados, os macroporos são quase sempre interligados (TORRES e SARAIVA, 1999). Portanto, a presença de uma camada de solo com impedimento mecânico gera restrição ao desenvolvimento das raízes, em função da porosidade sofrer deformação física e redução de volume. Se as modificações na porosidade do solo forem acentuadas, as forças que impedem o crescimento das raízes tenderão a ser grandes, fazendo com que elas tornem-se curtas e aumentem de diâmetro. Os efeitos do tráfego continuado tendem a acentuar-se no tempo, potencializando mais ainda a redução das taxas de crescimento radicular. Nessas condições, a profundidade efetiva do solo e a propagação do sistema radicular das plantas são grandemente reduzidas, resultando no acúmulo de raízes na superfície do solo e todas as conseqüências associadas (menor volume de solo explorado pelas mesmas, conseqüentemente menor aproveitamento de água e nutrientes do solo). No entanto, a redução da taxa de alongamento das raízes pelo aumento da resistência mecânica do solo à penetração varia com a espécie que está sendo cultivada.

O relacionamento direto entre causa e efeito resultante da presença de uma camada de solo compactada e do crescimento radicular das plantas é relativamente fácil de ser identificado, uma vez que as raízes ficam concentradas nos primeiros centímetros de solo. Já para diretamente mostrar o relacionamento entre compactação do solo e produção das culturas é bem mais difícil, por várias razões. Primeiro, o impedimento mecânico ao crescimento radicular não reduz, por si só, o rendimento das culturas. As plantas necessitam água, minerais essenciais e ancoragem ao solo. Se a camada de solo que oferece impedimento mecânico não aumenta o estresse à planta, por não ocasionar escassez dos elementos

recém referidos em qualquer tempo entre a emergência e a maturação fisiológica, o impedimento mecânico não irá afetar a produtividade das culturas. Segundo, o efeito da camada de impedimento mecânico sobre o desenvolvimento radicular é dependente do teor de água no solo, uma vez que, com elevada umidade, o solo adquirirá plasticidade e, assim, oferecerá pouca resistência ao crescimento das raízes. Em adição, teores elevados de água no solo permitirão que as raízes apresentem maior turgência, o que dará a elas maior capacidade de vencer eventuais resistências no solo (BOWEN, 1981).

Outra conseqüência da compactação do solo é o favorecimento da erosão hídrica, uma vez que, conforme já discutido, em solos compactados ocorre diminuição da porosidade total e do tamanho de poros, bem como descontinuidade na arquitetura dos poros. Em razão disso, a infiltração, o movimento e o armazenamento de água no solo também são alterados. A redução da capacidade de infiltração de água do solo resulta em aumento do escoamento superficial, potencializando a erosão hídrica.

### 3.4 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO

Dois métodos têm sido muito utilizados para identificar camadas de solo que apresentem resistência mecânica que pode ser caracterizada como compactação, quais sejam, o método direto ou de observação das raízes das plantas e o método indireto ou da penetrometria.

O método direto, embora um pouco mais difícil de aplicação prática, é considerado o ideal para quantificar a resistência do solo à penetração. Ele consiste na abertura de uma pequena trincheira na lavoura, verificando-se a concentração de raízes nas diferentes camadas da mesma, se possível até a profundidade de 40 cm. Adicionalmente, recomenda-se também avaliar algumas características da estrutura do solo, como tamanho, forma e resistência dos seus agregados.

Normalmente, as estruturas de solo compactadas apresentam pouca quantidade de raízes no seu interior, evidência de baixa atividade biológica e ausência quase que completa de orifícios visíveis. Além disso, tais estruturas de solo, ao serem rompidas, evidenciam faces lisas no seu interior, ao contrário das não compactadas, as quais apresentam superfícies rugosas. Pode-se também avaliar a resistência do solo à penetração por meio do uso de um objeto pontiagudo, como, por exemplo, uma faca, impulsinando-a em diferentes camadas na trincheira. Este procedimento permite com relativamente boa certeza detectar se existe alguma camada compactada de solo no local em questão. É conveniente ainda coletar outras informações, que contemplem o histórico da produtividade da lavoura (TORRES e SARAIVA, 1999).

A penetrometria, um método indireto de avaliação da compactação do solo, consiste no emprego de instrumentos que podem diferir em tamanho e forma, porém todos avaliam o grau de resistência do solo de um mesmo modo, ou seja, por meio da introdução no solo de uma haste rígida, construída de metal, tendo na sua extremidade uma ponteira metálica em forma de cone. Os equipamentos utilizados na penetrometria podem ser divididos em três grupos principais, a saber: a) os que mensuram a pressão necessária para empurrar sua ponta a uma profundidade específica dentro de um volume de solo (denominados de penetrômetros tipo estático); b) os que mensuram a pressão ou força necessária para mover sua ponta através do solo em maior ou menor velocidade constante (chamados de penetrômetros de movimento) e c) os que registram o número de batidas necessário para introduzir sua ponta a uma profundidade específica no solo (chamados de penetrômetros de impacto) (BOWEN, 1981).

O Serviço de Extensão Rural do Estado do Paraná – EMATER/PR, possui penetrógrafos, os quais, por suas características, estão incluídos no

grupo “b” de instrumentos de medição da compactação do solo (penetrômetros de movimento). Estes equipamentos são denominados de penetrógrafos tendo em vista que eles registram o grau de compactação do solo em um gráfico. Recomenda-se que o usuário do penetrógrafo, bem como de qualquer outro tipo de penetrômetro de movimento, tome os seguintes cuidados ao avaliar o grau de compactação do solo:

- A) Evitar as condições extremas de umidade do solo (falta ou excesso de água), procurando, assim, realizar esta tarefa quando o solo estiver no estado de consistência friável. A consistência friável pode ser identificada a campo, tomando-se uma amostra de solo (pequeno torrão) ligeiramente úmido e verificando se ela é facilmente rompida sob pressão fraca a moderada entre o polegar e o indicador, sem, contudo, que se deforme a ponto de, sob essa pequena pressão, ficar nela impingidas as marcas dos dedos usados na compressão (LEMOS e SANTOS, 2002);
- B) Ao introduzir a ponteira da haste no solo, pressionar a mesma de forma constante, mantendo o equipamento sempre na posição vertical;
- C) Durante a operação, não apoiar a haste nas paredes do buraco formado no solo pela passagem do cone;
- D) Quando o equipamento é dotado de manômetro para registrar a presença da camada compactada, ao notar que ele está registrando um aumento de pressão, continuar introduzindo o cone de modo constante até que a pressão retorne aos seus níveis normais, quando então a medição é considerada finalizada, com a haste recebendo uma marca rente ao solo. Esta marca indicará a profundidade da camada compactada. No caso dos penetrógrafos, a camada compactada poderá ser localizada por meio do gráfico gerado pelo equipamento durante a descida de sua ponteira através do solo;

E) Repetir a operação em diversos pontos da lavoura para obter uma média representativa da medição. No caso de áreas extensas, é desejável que se proceda a divisão da lavoura em glebas homogêneas. Para tanto, pode-se levar em conta as características do solo de cada gleba, o sistema de manejo do solo sendo e o desempenho agrônômico das culturas.

A resistência do solo ao penetrômetro é um índice integrado da compactação de solo com outros fatores, principalmente o teor de água e a textura. Portanto, esta é uma determinação muito relacionada com o estado de consistência e a estrutura do solo. Tal método é válido para avaliar a resistência do solo à penetração de raízes oferecida por camadas compactadas do mesmo, apesar de haver diferença marcante entre uma raiz e um cone metálico (BENGHOUGH e MULLINS, 1990). As características de desenvolvimento das raízes, somadas à heterogeneidade do solo, sugerem que elas possuem vantagens mecânicas sobre os penetrômetros. Ao contrário das raízes, os penetrômetros, ao serem usados para avaliar a resistência do solo à penetração, são linearmente impulsionados, sem respeitar a orientação dos bioporos do solo. A diferença marcante entre os penetrômetros e as raízes, associada ao surgimento de grande quantidade de bioporos no sistema de semeadura direta, demonstram que, neste sistema de cultivo, não é válido considerar as medições efetuadas somente com equipamento mecânico para concluir que o solo está compactado. A presença e a frequência de canais, assim como o desenvolvimento de raízes, também são fatores importantes de serem considerados na avaliação da resistência mecânica do solo (TORRES e SARAIVA, 1999).

O grau de resistência do solo à penetração poderá apresentar grande variabilidade numa lavoura e, por conseqüência, as medições de

compactação do solo por meio da penetrometria também podem variar muito. Isto decorre do fato de que um dos maiores agentes de compactação do solo é o trânsito de máquinas e equipamentos agrícolas sobre o mesmo. No entanto, este trânsito não ocorre uniformemente em toda a extensão da superfície do solo, fazendo com que áreas que recebam maior tráfego sofram um processo de compactação maior do que áreas menos trafegadas. Outra razão para tal variabilidade diz respeito ao grau de consolidação das diferentes camadas de solo, o qual igualmente não é uniforme. Por último, o teor de água no solo não é estático, e seu volume varia tanto no espaço, pelo efeito do seu deslocamento no interior do solo, quanto no tempo, em razão do efeito da evapotranspiração. Tal variabilidade contribui para que ocorram diferenças entre os penetrômetros e o sistema radicular das culturas, o que dificulta o estabelecimento de uma boa correlação entre a pressão exercida pelas raízes e a resistência oferecida pelo solo à penetração, medida no mesmo local com o uso do penetrômetro. Assim, algumas dificuldades têm sido observadas no uso desses equipamentos, principalmente quando se quer definir um nível crítico de resistência do solo à penetração, a partir do qual possam ocorrer danos ao desenvolvimento radicular e à produtividade das culturas. É necessário ainda acrescentar que a diferença entre a pressão exercida pelas raízes e aquela exercida pelo penetrômetro é influenciada pela textura, sendo menor nos solos arenosos (menos coesivos) e maior nos solos argilosos (mais coesivos) (TORRES e SARAIVA, 1999).

Como referência para uso na penetrometria, usando a cultura da soja como planta teste, estabelecida sobre um Latossolo Roxo, valores de resistência mecânica do solo em torno de 2,5 MPa (solos no estado de consistência friável) podem ser considerados baixos para serem restritivos ao crescimento radicular da cultura. Valores de resistência mecânica na faixa de 3,5 a 6,5 MPa aparentemente são mais corretos para considerar

que um solo possivelmente esteja apresentando problemas de impedimento mecânico às raízes da cultura. Em resumo, valores de resistência mecânica em torno de 3,5 MPa podem ser usados como um indicativo de baixa compactação do solo, enquanto ao redor de 6,5 MPa de alta compactação (TORRES e SARAIVA, 1999).

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, M.I.N; PAULA, M.B. de. Planejamento conservacionista em microbacias. **Informe Agropecuário**, v. 21, p. 55-64, 2000.
- BENGHOUGH, A.G.; MULLINS, C.E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **J. Soil Sci.**, v. 41, p. 341-358, 1990.
- BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do Estado de Santa Catarina. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 24, p. 657-668, 2000.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Icone, 1999. 355 p.
- BOWEN, H.D. Alleviating mechanical impedance. In: ARKIN, G.F; TAYLOR, H.M. **Modifying the root environment to reduce crop stress**. St. Joseph: University Press of Virginia, 1981. p. 21-57.
- COGO, N.P. **Elementos essenciais em manejo e conservação do solo e da água para aumento da produtividade agrícola e preservação do ambiente**. Porto Alegre: Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 2002. 70 p. (Apostila de Curso).
- COGO, N.P.; LEVIEN, R. Erosion and productivity, human life. In: LAL, R. (ed.) **Encyclopedia of Soil Science**. New York: Marcel Dekker, 2002. p. 428-431.
- DNOCS. Departamento Nacional de Obras Contra Seca. **Manual de sistematização e mecanização**. 3. ed. Ceará: DNOCS, 1989. 18 p.
- FOLLETT, R.F.; STEWART, B.A. (eds.) **Soil erosion and crop productivity**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1985. 533 p.
- HUDSON, N. **Soil Conservation**. Ames: Iowa State University Press. 1995. 391p.
- LEMOS, R.C. de; SANTOS, R.D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 4. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. 83 p.
- LEPSCH, I. F. (coord.) **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4 aprox. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1991. 175 p.
- PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento. **Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo**. 2. ed. Curitiba: PARANÁ/SEAB, 1994. 372 p.

- RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; McCOOL, D.K.; YODER, D.C. **Predicting soil erosion by water: a guide conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)**. Washington: USDA, 1997. 384 p. (Agriculture Handbook, 703)
- RUFINO, R.L.; BISCAIA, R.C.M.; MERTEN, G.H. Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná, através de pluviometria: terceira aproximação. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 17, p. 439-444, 1993.
- SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento. **Manual de uso, manejo e conservação do solo e da água**. 2. ed. Florianópolis: EPAGRI, 1994. 338 p.
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Suscetibilidade a compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 24, p. 239-249, 2000.
- TIJINK, F.G.J. **Load bearing processes in agricultural wheel**: soil systems. Wageningen, 1988. 78 p. (Tese de doutorado) - Universidade de Wageningen.
- TORRES, E.; SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58 p. (Circular Técnica, 23).
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978. 58 p. (Agricultural Handbook, 537).

## CAPÍTULO XII

### USO, MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E ÁGUA: ASPECTOS AGRÍCOLAS E AMBIENTAIS

Nerilde Favaretto<sup>1</sup>, Neroli Pedro Cogo<sup>2</sup>, Oromar João Bertol<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Eng<sup>a</sup>. Agrônoma, Ph.D., Prof<sup>a</sup>. DSEA/UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, Juvevê, CEP 80035-050, Curitiba – PR. E-mail: nfavaretto@ufpr.br; <sup>2</sup>Eng<sup>o</sup>. Agrônomo, Ph.D. Prof. DS/FA-UFRRS (bolsista do CNPq). Porto Alegre – RS. E-mail: neroli@ufrrs.br; <sup>3</sup>Eng<sup>o</sup>. Agrônomo, Dr., EMATER-PR. Curitiba- PR. E-mail: geopro@emater.pr.gov.br

1 INTRODUÇÃO.....	294
2 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO AGRÍCOLA DAS TERRAS....	294
2.1 SISTEMA DE AVALIAÇÃO DA APTIDÃO DAS TERRAS.....	294
2.2 SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE USO DAS TERRAS .....	297
2.2.1 Grupos de capacidade de uso .....	297
2.2.2 Classes de capacidade de uso .....	298
2.2.3 Subclasses de capacidade de uso.....	299
2.2.4 Unidades de capacidade de uso.....	299
2.2.5 Métodos para determinação das classes de capacidade de uso ...	300
3 PRÁTICAS DE CONSERVAÇÃO DO SOLO .....	301
3.1 COBERTURA VEGETAL NO CONTROLE DA EROSÃO HÍDRICA .	302
3.2 TERRACEAMENTO NO CONTROLE DA EROSÃO HÍDRICA .....	305
3.3 CONTROLE DA COMPACTAÇÃO DO SOLO .....	307
4 QUALIDADE DA ÁGUA .....	310
5 PLANEJAMENTO CONSERVACIONISTA .....	316
5.1 GERENCIAMENTO DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA.....	320
5.2 DIAGNÓSTICO DO MEIO FÍSICO.....	320
5.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS PROPOSTAS DE USO E MANEJO DOS RECURSOS NATURAIS .....	332
6 ASPECTOS LEGAIS .....	334
6.1 RESERVA LEGAL E PRESERVAÇÃO PERMANENTE .....	334
6.2 CONSERVAÇÃO DO SOLO .....	336
6.3 QUALIDADE DA ÁGUA .....	337
REFERÊNCIAS .....	339

## 1 INTRODUÇÃO

Com base no Vocabulário de Ciência do Solo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (CURI et al., 1993), as seguintes definições foram julgadas importantes de serem aqui transcritas: a) *manejo do solo* - “a soma de todas as operações de cultivo, práticas culturais, fertilização, correção e outros tratamentos, conduzidos ou aplicados a um solo, que visam a produção de plantas”; b) *conservação do solo* - “a combinação de todos os métodos de manejo e uso da terra que protegem o solo contra o seu esgotamento ou deterioração por fatores naturais ou induzidos pelo homem” e c) *conservação da água* - “o controle físico, proteção, manejo e uso dos recursos hídricos para o máximo benefício da população, agricultura indústria, comércio e outros segmentos da economia”.

## 2 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO AGRÍCOLA DAS TERRAS

O uso da terra de acordo com o seu potencial é de fundamental importância para a conservação do solo e da água. A premissa básica de sustentabilidade é usar o solo de acordo com sua capacidade de uso ou aptidão agrícola. Existem vários sistemas de avaliação do potencial de uso agrícola das terras. No Brasil, dois deles, que serão apresentados neste capítulo, são os mais usados: Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras, também conhecido como Sistema FAO/Brasileiro de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (RAMALHO FILHO e BEEK, 1995; REZENDE et al., 1999) e Sistema de Classificação da Capacidade de Uso das Terras (LEPSHC, 1991; ALVARENGA e PAULA, 2002).

### 2.1 SISTEMA DE AVALIAÇÃO DA APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS

O sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras é um sistema metodológico baseado na interpretação do levantamento de solos, tendo como objetivo principal orientar o planejamento agrícola em grande escala

(regional, estadual ou nacional). Assim, a aplicação deste sistema em pequenas áreas exige adaptações. Ele foi desenvolvido no Brasil, no início da década de 60, numa iniciativa da SUPLAN, porém contando também com a colaboração da EMBRAPA, por meio do seu Centro Nacional de Pesquisa de Solos (antigo SNLCS), e da FAO. Esta metodologia, com seus aprimoramentos, encontra-se descrita em RAMALHO FILHO e BEEK (1995), tendo sido publicada já em sua terceira edição, pela EMBRAPA, por meio do seu Centro Nacional de Pesquisa de Solos.

Diferente do sistema de classificação da capacidade de uso das terras, o sistema de aptidão agrícola leva em consideração o aspecto sócio-econômico, ou seja, ele inclui na sua estrutura níveis de manejo diferenciados. Tais níveis de manejo refletem o nível tecnológico, o capital aplicado e a força de trabalho, sendo representados pelas letras A, B ou C, respectivamente significando nível primitivo, pouco desenvolvido e desenvolvido. No nível de manejo primitivo (A), enquadram-se os agricultores com baixo nível tecnológico, sem aplicação de capital e com força de trabalho principalmente braçal. No nível de manejo pouco desenvolvido (B), enquadram-se os agricultores com médio nível tecnológico, com modesta aplicação de capital e força de trabalho, principalmente provinda da tração animal. No nível de manejo desenvolvido (C), enquadram-se os agricultores com alto nível tecnológico, com aplicação intensiva de capital e uso da motomecanização nas diversas fases do processo de produção agrícola.

O sistema de classificação das terras em questão é constituído por grupos, classes e subgrupos de aptidão. O grupo de aptidão, representado por números que vão de 1 a 6, indica o tipo de utilização; a classe de aptidão, com as denominações boa, regular, restrita ou inapta, reflete o grau de intensidade das limitações, e o subgrupo de aptidão representa o tipo de uso, a intensidade das limitações e o desenvolvimento tecnológico,

ou seja, ele representa tanto o grupo e a classe de aptidão quanto o nível de manejo utilizado. Por exemplo, o subgrupo 1(a)bC significa que a área pode ser usada com culturas anuais, porém com aptidões restrita para o nível de manejo A e boa para os níveis de manejo B e C.

Para o enquadramento das terras no sistema de aptidão agrícola, cinco fatores de solo, considerados limitantes à produção agrícola, são levados em conta, a saber: a) deficiência de fertilidade, b) deficiência de água, c) deficiência de oxigênio, d) susceptibilidade à erosão e e) impedimento à mecanização. Para cada um destes fatores limitantes, em prosseguimento no sistema, são estabelecidos graus de limitação, de acordo com os seus desvios da condição ideal, assim definidos: nulo, ligeiro, moderado, forte e muito forte.

No enquadramento das terras em tal sistema de classificação das mesmas, o primeiro passo é definir as limitações e, em prosseguimento, fazer uma estimativa da diminuição das mesmas para os níveis tecnológicos médio e alto. Três limitações podem ser diminuídas aplicando-se técnicas de melhoramento do solo, quais sejam: deficiência de fertilidade, deficiência de oxigênio e susceptibilidade à erosão. Várias práticas agrícolas podem ser utilizadas para diminuir tais limitações. Por exemplo, para diminuir a limitação por deficiência de fertilidade, pode-se fazer calagem e adubação; para diminuir a susceptibilidade dos solos à erosão, podem-se utilizar rotações culturais, plantas de cobertura, terraceamento, semeadura direta, etc., enquanto que para diminuir a deficiência de oxigênio, podem-se fazer obras de drenagem. No entanto, a possibilidade de melhoria das limitações neste sistema de classificação das terras somente é possível com aqueles produtores rurais que adotam o nível de manejo pouco desenvolvido (B) ou desenvolvido (C), visto que tais técnicas de melhoramento exigem considerável investimento. Os produtores rurais que adotam o nível de manejo primitivo (A), não têm

condições de fazer melhoramento em nenhuma das limitações, uma vez que os mesmos não possuem capital para investimento, bem como não têm acesso às informações da pesquisa.

Após o estabelecimento das limitações e dos possíveis melhoramentos nas mesmas, quadros-guia são usados para estabelecer os subgrupos de aptidão agrícola. A descrição detalhada da metodologia utilizada no sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras encontra-se em RAMALHO FILHO e BEEK (1995).

## 2.2 SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE USO DAS TERRAS

O sistema de classificação da capacidade de uso das terras usado no Brasil é uma adaptação do sistema desenvolvido e usado pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos da América. Este sistema enfatiza muito as práticas de conservação do solo com vistas ao controle da erosão, sendo recomendado ao nível de propriedade ou de pequenas bacias hidrográficas. Ele exige um levantamento detalhado do meio físico, o que dificulta sua utilização em grandes extensões de terra.

São categorias ou componentes deste sistema: a) grupos de capacidade de uso (A, B e C), estabelecidos com base na intensidade de uso; b) classes de capacidade de uso (I a VIII), baseadas nos graus de limitação de uso; c) subclasses de capacidade de uso (Ile, Ille, IIIs, etc.), baseadas nos tipos de limitação de uso e d) unidades de capacidade de uso (Ile-1, IIIs-3, etc.), baseadas em condições específicas que afetam o uso e o manejo da terra.

### 2.2.1 Grupos de capacidade de uso

São três os grupos de capacidade de uso neste sistema de classificação das terras, como a seguir descritos.

*Grupo A* - terras passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagem e/ou reflorestamento e vida silvestre (comporta as classes I, II, III e IV).

*Grupo B* - terras impróprias para uso intensivo, mas ainda aptas para pastagem e/ou reflorestamento e/ou vida silvestre (comporta as classes V, VI e VII).

*Grupo C* - terras não adequadas para cultivos anuais, perenes, pastagem ou reflorestamento, porém apropriadas para proteção da flora e fauna silvestre, recreação ou armazenamento de água (comporta a classe VIII).

### 2.2.2 Classes de capacidade de uso

São oito as classes de capacidade de uso neste sistema de classificação, como a seguir descritas.

*Classe I* - terras cultiváveis, aparentemente sem problemas de conservação do solo.

*Classe II* - terras cultiváveis, com problemas simples de conservação do solo.

*Classe III* - terras cultiváveis, com problemas complexos de conservação do solo.

*Classes IV* - terras cultiváveis apenas ocasionalmente ou em extensão limitada, com sérios problemas de conservação do solo.

*Classes V* - terras em geral adaptadas para pastagem e, em alguns casos, reflorestamento, sem necessidade de práticas especiais de conservação do solo (no entanto, apresentam problemas de drenagem, pedregosidade e/ou adversidades climáticas muito sérias, especialmente riscos de inundação).

*Classe VI* - terras em geral adaptadas para pastagem e/ou reflorestamento, com problemas simples de conservação do solo.

*Classe VII* - terras em geral adaptadas para pastagem e/ou reflorestamento, com problemas complexos de conservação do solo.

*Classe VIII* - terras apropriadas apenas para proteção da flora e fauna silvestre, recreação ou para fins de armazenamento de água.

### 2.2.3 Subclasses de capacidade de uso

No sistema de classificação das terras em questão, são definidas quatro subclasses de capacidade de uso, como a seguir descritas.

*Subclasse e* - limitação por erosão aparente ou risco de erosão;

*Subclasse s* - limitação por condições adversas de solo;

*Subclasse a* - limitação por excesso de água no solo;

*Subclasse c* - limitação por condições adversas de clima.

### 2.2.4 Unidades de capacidade de uso

Estas são baseadas em condições específicas, que afetam o uso e o manejo da terra, como profundidade, pedregosidade, declividade, fertilidade, etc. São exemplos de classificação das terras ao nível de unidade de capacidade de uso:

*IIs-1* - terras cultiváveis, com problemas simples de conservação do solo, tendo como principal limitação condições adversas de solo, como, por exemplo, pedregosidade na sua superfície;

*IIIs-1* - terras cultiváveis, com problemas complexos de conservação do solo, tendo como principal limitação riscos de erosão, como, por exemplo, alta declividade do terreno.

### 2.2.5 Métodos para determinação das classes de capacidade de uso

Existem dois métodos para o enquadramento das classes de capacidade de uso no sistema de classificação das terras em questão: sintético e paramétrico. Ambos baseiam-se no afastamento das condições ideais de uso da terra, em função de limitações. O método de enquadramento sintético envolve a análise conjunta da natureza e do grau das limitações, observando-se os desvios da condição ideal. A vantagem deste método é que a caracterização das classes de capacidade de uso no mesmo é específica para condições e práticas locais, porém ele exige uma elaboração detalhada da mesma, além de ser subjetiva. Por sua vez, o método de enquadramento paramétrico envolve a análise individual das características diagnosticadas, dando-lhes pesos (desvios da condição ideal, para cada característica). A classe de capacidade de uso é determinada pelo fator mais limitante da gleba, por meio da elaboração de quadros-chave ou quadros-guia. A vantagem deste método é a sua objetividade, no entanto ele apresenta algumas desvantagens, como, por exemplo, ele não considera a interação entre os fatores limitantes.

A classificação das terras pelo sistema de capacidade de uso considera fatores determinantes mínimos e fatores limitantes específicos, caso eles existam. São fatores determinantes mínimos: profundidade efetiva do solo, textura, permeabilidade, declividade, erosão, etc. Por sua vez, são fatores limitantes específicos: inundação, pedregosidade, fertilidade, etc. Ao levantamento destes fatores é dado a denominação de levantamento do meio físico ou levantamento utilitário, o qual requer trabalho tanto de campo quanto de escritório. Informações detalhadas sobre o levantamento do meio físico e sobre a classificação das terras pelo sistema de capacidade de uso são encontradas em LEPSCH (1991) e ALVARENGA e PAULA (2002).

### 3 PRÁTICAS DE CONSERVAÇÃO DO SOLO

Como definida anteriormente, conservação do solo é a combinação de métodos que protegem o mesmo contra seu esgotamento ou perda. Várias são as práticas destinadas à conservação do solo e, fundamentalmente, todas elas visam o controle da perda de solo por erosão dentro dos níveis toleráveis, seja por meio da dissipação do impacto das gotas da chuva, seja por meio da redução do volume e da velocidade do escoamento superficial ou enxurrada (COGO, 2002). De acordo com BERTONI e LOMBARDI NETO (1999), as medidas ou práticas conservacionistas do solo sobre as terras agrícolas podem ser classificadas em três grupos: práticas de caráter edáfico, práticas de caráter vegetativo e práticas de caráter mecânico ou estrutural. As medidas não mecânicas (edáficas e vegetativas) têm por objetivo principal a proteção do solo contra a ação do impacto direto das gotas da chuva e, ao mesmo tempo em que elas aumentam a infiltração de água no solo, diminuem o volume e a velocidade do escoamento superficial. Por sua vez, as medidas mecânicas ou estruturais envolvem a construção de estruturas disciplinadoras do escoamento superficial, tendo como objetivo principal a redução do volume e da velocidade da enxurrada (COGO, 2002).

As práticas não mecânicas de controle da erosão do solo (práticas de caráter vegetativo) são relativamente bem mais eficazes do que as mecânicas, visto que elas atuam tanto na redução do impacto das gotas da chuva quanto na redução do volume e da velocidade da enxurrada. Porém, isto não diminui a importância das práticas mecânicas no controle da erosão, as quais, em algumas situações, são imprescindíveis e, até, devem ser pensadas e virem antes das medidas de caráter vegetativo. Deve-se ressaltar que o princípio a ser adotado na conservação do solo e da água sobre as terras agrícolas é o uso combinado de práticas conservacionistas (COGO, 2002).

São exemplos de práticas conservacionistas do solo: adubação e calagem, manejo da cobertura morta e de ervas daninhas, adubação verde, plantas de cobertura, rotação de culturas, cordões de vegetação permanente, preparo do solo e semeadura em contorno, culturas em faixas em contorno, terraceamento, subsolagem, escarificação, preparos conservacionistas de solo, reflorestamento, etc. Não foi planejado neste capítulo discutir cada uma destas práticas conservacionistas. No entanto, na busca de maiores informações sobre o assunto, sugerimos ao leitor as seguintes referências: DERPSH et al. (1991); MONEGAT (1991); COSTA (1993); SANTOS e REIS (2001); PARANÁ (1994); SANTA CATARINA (1994); GALETI (1984); RIO GRANDE DO SUL (1985) BERTONI e LOMBARDI NETO (1999), HUDSON (1995); TROEH et al. (1999).

### 3.1 COBERTURA VEGETAL NO CONTROLE DA EROSÃO HÍDRICA

A proteção do solo pela cobertura vegetal (viva ou morta) é um dos princípios básicos da conservação do solo sobre as terras agrícolas. Quanto maior a cobertura vegetal, tanto menor será a perda de solo por erosão. A cobertura do solo diminui a ação erosiva do impacto direto das gotas da chuva sobre o mesmo, evita a formação de selos superficiais, aumenta a infiltração de água e diminui o escoamento superficial. Em relação à cobertura do solo por resíduos culturais, a forma com que estes são manejados após a colheita das culturas tem grande influência não só na quantidade de solo perdida como também na de água. A Tabela 1 ilustra o efeito de tratamentos com queima dos resíduos culturais, incorporação dos mesmos ao solo e estando eles na superfície do solo (sem remoção e sem incorporação) nas perdas de solo e água por erosão hídrica. Claramente, observa-se que, tanto as perdas de solo quanto as de água, foram bastante reduzidas quando os resíduos culturais permaneceram na superfície do solo. Isto mostra que os resíduos culturais,

além de diminuir a ação de impacto das gotas da chuva e de reduzir a velocidade e o volume do escoamento superficial, aumentam a infiltração de água no solo. Em se buscando a maior eficácia possível de uma dada prática de conservação do solo e da água, recomenda-se manter os resíduos vegetais uniformemente espalhados na superfície do solo. Não sendo possível deixar a cobertura integral dos mesmos, recomenda-se, alternativamente, incorporá-los parcialmente, mas jamais queimá-los ou removê-los da lavoura (COGO, 2002). Como pode ainda ser observada na Tabela 1, a perda de solo no tratamento com os resíduos culturais queimados foi três vezes maior do que a do tratamento com os resíduos culturais deixados na superfície, enquanto a perda de solo no tratamento com os resíduos incorporados foi duas vezes maior do que a do tratamento com os resíduos deixados na superfície.

TABELA 1 - EFEITO DAS FORMAS DE MANEJO DOS RESÍDUOS CULTURAIS DE MILHO NAS PERDAS DE SOLO E ÁGUA POR EROÇÃO HÍDRICA (FONTE: BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999).

Tipo de manejo	Perda de solo	Perda de água
	(t/ha)	(% da chuva)
Resíduos queimados	20,2	8,0
Resíduos incorporados ao solo	13,8	5,8
Resíduos na superfície do solo	6,5	2,5

Para a semeadura ou plantio das culturas, normalmente torna-se necessário preparar o solo em algum grau. O preparo do solo pode afetar a erosão devido ao seu efeito não só na cobertura superficial do solo, mas também nas suas propriedades físicas. O método de preparo do solo conhecido como convencional diminui muito a cobertura superficial, devido à incorporação dos resíduos culturais pelo uso intensivo de arados e grades. Já os métodos de preparo do solo classificados como

conservacionistas deixam o solo com considerável cobertura superficial, devido ao menor número das operações de preparo e semeadura nos mesmos. De acordo com TROEH et al. (1999), são considerados preparos conservacionistas de solo aqueles que deixam, no mínimo, uma cobertura superficial com resíduo cultural igual a 30%, após terem sido realizadas as operações de preparo e de semeadura. A semeadura em solo não preparado causa apenas um pequeno revolvimento no mesmo e, ainda assim, somente na linha da semeadura, sendo este sistema também conhecido como plantio direto/semeadura direta. Tal sistema tem se mostrado o relativamente mais eficaz no controle das perdas de solo por erosão, e sua adoção pelos agricultores tem aumentado muito no Brasil, nos últimos anos. Na Tabela 2, são apresentados dados de perda de solo envolvendo diferentes métodos de seu preparo, compilados a partir de resultados extraídos de DERPSCH (1991).

TABELA 2 - EFEITO DO TIPO DE PREPARO DO SOLO NAS PERDAS POR EROSIÃO, EM DIFERENTES EXPERIMENTOS (FONTE: DERPSCH, 1991).

Experimento	Sem. direta (SD) (t/ha/ano)	Prep. convencional (PC) (t/ha/ano)	Relação PC/SD
1	3,11	2,50	1,24
2	40,14	13,39	3,00
3	19,00	5,50	3,45
4	3,35	0,24	13,96
5	1,99	0,09	22,11
6	57,70	2,10	27,48
7	8,72	0,21	41,52

Verifica-se que o sistema de semeadura direta foi o relativamente mais eficaz no controle da erosão. No entanto, é importante ressaltar que o quociente entre a perda de solo no preparo convencional e a perda de solo

na semeadura direta foi maior do que 1, porém com variações que foram de 1 a 42. Essas variações na eficácia relativa de controle da erosão pela técnica de semeadura direta ocorrem devido a uma série de fatores, mas principalmente o regime pluviométrico, tipo de solo, declividade do terreno, cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas de suporte.

Tendo em vista o controle mais completo da erosão hídrica, poderá ser necessária a utilização de práticas conservacionistas de suporte (práticas complementares de controle da erosão), mesmo sob o sistema de semeadura direta. Um dos possíveis problemas referentes à falta de práticas conservacionistas de suporte no sistema plantio direto/semeadura direta é o transporte de nutrientes do solo pela água de escoamento superficial. A perda de nutrientes por meio do escoamento superficial, sejam eles na forma solúvel ou adsorvido ao sedimento, pode ser reduzida pela utilização de práticas conservacionistas combinadas, as quais, então, irão minimizar a ação de impacto das gotas da chuva na superfície do solo e reduzir o volume e a velocidade da enxurrada, conseqüentemente diminuindo a poluição difusa nos cursos de água (SHARPLEY et al., 1994; SNYDER et al., 1998).

### 3.2 TERRACEAMENTO NO CONTROLE DA EROSÃO HÍDRICA

O uso de bem planejados e bem estabelecidos sistemas de terraceamento representa uma alternativa valiosa para se interceptar a enxurrada formada nas lavouras, resultante da água da chuva que não infiltrou no solo. Teoricamente, os terraços devem exercer a função que, por excelência, seria exercida pelas florestas, qual seja, a de promover a retenção, infiltração e o armazenamento da água no solo, oriunda da precipitação pluviométrica. Os terraços são considerados estruturas conservacionistas que exercem modificações morfológicas nas áreas onde eles são implantados, e têm a função principal de controlar a erosão

hídrica por meio do seccionamento ou segmentação da pendente. Ao seccionarem as pendentes, os terraços diminuem a velocidade da água de escoamento superficial, a qual vai se acumular nos seus canais, aumentando sua retenção e infiltração no solo, consequentemente diminuindo o volume de enxurrada. A contenção da enxurrada no canal do terraço, além de oportunizar a infiltração e percolação da água no solo, contribui para a regularização da vazão das nascentes e dos cursos de água, devido ao armazenamento natural da mesma no espaço poroso do solo (PARANÁ, 1994). Segundo PREVEDELLO (1996), proporcionar maior infiltração de água no solo, além de controlar a erosão, é requerimento muito importante na conservação do solo e da água, uma vez que ele permite a utilização do potencial de retenção de água no solo como agente de estocagem natural e de liberação lenta às nascentes e fontes dos cursos de água e lençóis subterrâneos.

Diante da conveniência de se reter a enxurrada na lavoura, dentro da estratégia utilizada para se melhorar a qualidade e quantidade de água nos mananciais, os sistemas de terraceamento têm se apresentado como alternativa tecnicamente viável. Recentemente, ao constatarem que as perdas de solo são grandemente reduzidas com a adoção do sistema de semeadura direta, muitos agricultores passaram a retirar, sem critérios técnicos, os terraços de suas lavouras. Para HERNANI et al. (1999), faz-se necessário associar aos diferentes sistemas de manejo do solo, inclusive os que adotam a técnica de semeadura direta, outras práticas conservacionistas de controle da erosão e do escoamento superficial (práticas complementares), como, por exemplo, o preparo do solo e a semeadura em contorno e os terraços agrícolas. Os autores afirmam haver necessidade de se proceder a uma análise técnica criteriosa antes de decidir sobre a eliminação dos terraços nas lavouras submetidas ao sistema de plantio direto/semeadura direta. No sistema de semeadura

direta, a enxurrada, embora praticamente translúcida (praticamente isenta de sólidos), normalmente apresenta taxas de nutrientes elevadas (especialmente o fósforo), bem mais do que as verificadas em outros sistemas conservacionistas de preparo do solo, podendo ocasionar problemas de eutrofização principalmente em lagos e reservatórios.

Informações mais detalhadas sobre terraceamento no sistema convencional de preparo do solo, no Estado do Paraná, podem ser encontradas em BUBLITZ e CAMPOS (1993). Quanto à questão sobre a necessidade ou não de terraceamento em sistemas conservacionistas de preparo do solo, entre eles o sem preparo ou semeadura direta, o leitor encontrará uma discussão bem detalhada em BERTOL e COGO (1996).

### 3.3 CONTROLE DA COMPACTAÇÃO DO SOLO

Sabe-se que a presença de camadas compactadas na maioria dos solos agrícolas não tem origem pedogenética, sendo elas o produto da ação de máquinas e implementos que, durante as operações usuais de preparo e cultivo do solo, promovem uma compressão no mesmo o suficiente para causar sua deformação, em graus variados. Contudo, este não é um fenômeno inevitável ou irreversível. Em razão disso, BEUTLER et al. (2001) enquadraram a compactação do solo no grupo de características do mesmo que podem ser alteradas, à semelhança do teor de matéria orgânica e do grau de permeabilidade do solo.

Entre as técnicas que podem ser utilizadas para evitar ou reverter a compactação do solo, estão o controle do tráfego, a realização das operações motomecanizadas com o solo no teor de água adequado, a utilização de culturas cujo sistema radicular é capaz de recuperar a estrutura do solo, o incremento dos níveis de matéria orgânica no solo e o uso de práticas mecânicas como a escarificação e a subsolagem. Uma das técnicas que tem sido bastante utilizada para minimizar a compactação do

solo é a utilização de faixas do terreno exclusivamente para o tráfego de máquinas e veículos de transporte. Para tanto, utiliza-se a estratégia de coincidir um mesmo traçado de pneu na lavoura para todos os tipos de tráfego. Assim, tais áreas tornam-se compactadas, porém, no restante da superfície do solo, fora da faixa compactada pelo tráfego intenso, a água e os nutrientes ficam melhor disponíveis às plantas (BOWEN, 1981).

O manejo da água no solo também pode ser utilizado como ferramenta para minimizar a restrição que a compactação do solo oferece ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas, uma vez que a entrada de água no sistema faz regredir o efeito da compactação. Quando a água é aportada ao solo, a resistência mecânica do mesmo diminui, aumentando a penetração de raízes no solo. Assim, medidas que proporcionam o armazenamento da água no solo poderão, não somente aumentar o suprimento da mesma para as plantas, mas também facilitar o crescimento das raízes através de uma camada de solo resistente (BOWEN, 1981).

Uma das formas de minimizar a compactação do solo pela ação de máquinas e implementos é realizar as operações agrícolas quando o teor de água no solo se encontra dentro do intervalo correspondente à consistência friável (RESENDE, 1997). A consistência friável, de acordo com LEMOS e SANTOS (2002), é caracterizada a campo quando uma amostra (torrão) de solo ligeiramente úmida esboroa-se facilmente sob pressão fraca e moderada entre o polegar e o indicador. O filme de água ao redor das partículas de solo exerce ação coesiva entre os agregados, dando-lhes maior estabilidade e, assim, protegendo-os melhor contra a compactação do solo (AKRAM e KEMPER, 1979).

A recuperação de solos com propriedades físicas degradadas pelo efeito da compactação pode ser conseguida por meio da ação das raízes das plantas. Assim, o sistema radicular de determinadas culturas, como a

aveia, pode contribuir na recuperação da estrutura do solo em virtude do seu sistema radicular bastante agressivo, com muitas raízes finas, capazes de explorar os agregados adensados (TORMENA e ROLOFF, 1996). Culturas de cobertura como o nabo forrageiro e o guandu apresentam sistema radicular pivotante e, por conseguinte, também conseguem penetrar camadas de solo compactadas.

A matéria orgânica é outro recurso que pode ser utilizado para evitar ou reduzir a compactação do solo, uma vez que ela confere maior estabilidade aos seus agregados. Em adição, a maior quantidade de moléculas de água retida ao redor das partículas de solo, nos solos com maior conteúdo de matéria orgânica, ajuda muito a evitar a compactação (STONE e EKWUE, 1993). Outro aspecto relacionado à capacidade de adsorção de água pela presença da matéria orgânica, refere-se ao período de tempo ideal para a mecanização do solo. Com o aumento dos níveis de matéria orgânica no solo, aumenta a demanda de água para que o solo alcance o conteúdo de umidade crítico para causar compactação. Isto faz com que o intervalo de friabilidade aumente, permitindo maior tempo de trabalho no solo na condição de umidade ideal, portanto diminuindo os riscos de compactação. No entanto, o efeito dos níveis de matéria orgânica na proteção do solo contra a compactação é dependente da textura do solo. Solos argilosos demandam mais matéria orgânica para preveni-los contra a compactação do que solos arenosos (STONE e EKWUE, 1993).

Um recurso largamente utilizado para eliminar camadas de solo compactadas é a escarificação. Esta prática consiste em romper mecanicamente o solo por meio de um equipamento dotado de hastes estreitas, denominado de escarificador. A ação dos implementos de haste, por terem movimento deslizante e ação frontal à secção de solo que mobilizam, rompem preferencialmente os pontos de fraqueza, o que tenderá a produzir fissuras. Em consequência, cria-se internamente um

grande volume de vazios, diminuindo a densidade do solo e melhorando a continuidade dos poros (STANFFORD, 1981). Assim, a operação de escarificação poderá significativamente contribuir para o aumento da infiltrabilidade do solo, por consequência reduzindo os riscos de erosão hídrica do solo (MUELLER et al., 1984).

#### **4 QUALIDADE DA ÁGUA**

A água pode ser utilizada de diversas formas, porém seu uso para abastecimento humano é o que mais afeta a população. Outras formas de uso da água incluem: abastecimento animal, abastecimento industrial, irrigação, pesca, aquicultura, recreação, navegação, geração de energia elétrica e diluição de efluentes.

A água é fundamental nas funções vitais dos seres vivos, incluindo o ser humano (cerca de 70% do corpo humano é constituído por água). Estima-se que uma pessoa necessita de, no mínimo, cinco litros de água por dia para beber e cozinhar e vinte e cinco litros para higiene pessoal. No entanto, o volume diário de água utilizado pelas pessoas, incluindo os consumos no interior da casa (água de beber, cozinhar, lavar, etc.) e fora dela (água de piscina e lavagem de quintal e carro), varia nos diferentes países e regiões. A título de ilustração, uma família média no Canadá consome cerca de 350 litros de água por dia, no Brasil 200 litros, na Europa 165 litros e na África 20 litros (TUNDISI, 2003).

Além do abastecimento doméstico, a água também é fundamental na agropecuária. Todos os alimentos, sejam eles de origem animal ou vegetal, necessitam de grandes volumes de água para serem produzidos. Considerando o período que vai do estágio inicial de crescimento das plantas até a chegada de seus produtos ao consumidor, estima-se que, para produzir um quilograma de cereal, necessita-se de 1.500 litros de

água, enquanto que para produzir um quilograma de carne fresca de bovino a necessidade da mesma é de 15.000 litros (TUNDISI, 2003).

Outro importante uso da água é a produção de energia hidroelétrica, a qual, no Brasil, representa cerca de 85% da energia total necessária (TUNDISI, 2003).

A água dos oceanos, mares, rios e lagos cobre mais do que 70% da superfície da crosta terrestre, porém a água doce representa apenas uma pequena fração desse total, tornando-se, assim, um recurso muito escasso (TROEH et al., 1999). Como apresentado na Tabela 3, estimativas mostram que 97% da água do planeta está localizada nos oceanos e mares, mas estas águas não podem ser diretamente utilizadas para os abastecimentos humano e animal e para a irrigação, devido serem salgadas. A água doce representa menos do que 3% do volume total da água existente no planeta, com a água superficial presente nos lagos, rios, solo, planta e atmosfera representando uma fração de, apenas, 0,008% do volume total desse tipo de água. Este quadro claramente mostra a importância de manutenção da qualidade da água doce no mundo, não só para a saúde da espécie humana, como também para a dos animais terrestres e aquáticos.

TABELA 3 - ESTIMATIVA DA QUANTIDADE TOTAL DE ÁGUA EXISTENTE NA TERRA, EM DIFERENTES FORMAS (FONTE: TROEH et al., 1999).

Forma	km <sup>3</sup>	% do total
Água em plantas e animais	1100	0.0001
Água na forma de vapor	13000	0.0009
Água em rios, lagos e reservatórios	100000	0.007
Água subterrânea (solo e rochas)	8300000	0.6
Água em geleiras e neve	27500000	2.0
Água em oceanos e mares	1350000000	97.4

A sustentabilidade ambiental vem crescentemente sendo discutida em todo o mundo, sendo que a degradação da qualidade da água encontra-se entre os principais problemas levantados. Estima-se que 65% das internações hospitalares no Brasil são devidas a doenças de veiculação hídrica, ou seja, consumo de água imprópria para o ser humano (TUNDISI, 2003).

A poluição da água pode ocorrer por excesso de matéria orgânica, organismos patogênicos, pesticidas, metais pesados, nutrientes e sedimentos na mesma, provenientes de diferentes fontes, tais como: efluentes domésticos, efluentes industriais e escoamento superficial de áreas agrícolas e urbanas. Basicamente, existem duas formas de poluição da água: pontual (direta) e não pontual (difusa ou indireta). Considera-se poluição pontual aquela em que o poluente é jogado diretamente no rio ou lago, como, por exemplo, esgoto e lixo domésticos, resíduo de indústria, esterco de animais, etc. Como fonte não pontual, considera-se aquela em que o poluente chega ao rio ou lago de forma difusa ou indireta. Um exemplo de poluição não pontual é a entrada de pesticidas e nutrientes na água via erosão. É considerada difusa porque os pesticidas e nutrientes são aplicados diretamente na lavoura e de lá são, então, transportados até os rios, lagos, reservatórios, etc. (PIERZYNSKI et al., 2000). A legislação ambiental brasileira tem estabelecido regras para o controle da poluição pontual, mas muito ainda precisa se fazer em relação à poluição difusa.

A poluição das águas superficiais e subterrâneas por nutrientes e pesticidas é tida como o principal impacto ambiental advindo da agricultura. Nos Estados Unidos, por exemplo, a agricultura é considerada a maior causa de degradação da qualidade da água dos rios e lagos, sendo que grande parte dos estados americanos considera a agricultura ainda como a principal fonte poluidora das águas subterrâneas (PARRY,

1998; USEPA, 1999). No Brasil, não se tem ainda quantificado a contribuição das atividades agrícolas na poluição das águas do país.

Altas concentrações de nutrientes na água têm causado problemas não somente ambientais como também de saúde humana e animal. Dentre as fontes poluidoras, os fertilizantes minerais e orgânicos aplicados na agricultura têm tido grande contribuição. No meio rural, além da poluição indireta, causada pelos processos de erosão e lixiviação, ocorre também a poluição direta, causada principalmente pela criação de animais em regime de confinamento (MERTEN e MINELLA, 2002). A suinocultura é a atividade que representa maior risco à contaminação da água, devido a grande produção de efluentes da mesma, os quais, se não lançados diretamente nos cursos de água sem tratamento prévio (poluição direta), são lançados no solo, gerando, dependendo de condições, elevado potencial de poluição difusa. Nos centros urbanos, as descargas de efluentes domésticos e industriais são as principais responsáveis pela poluição direta da água por nutrientes, organismos patogênicos, metais pesados e outras substâncias nocivas ao ser humano e à vida aquática.

Eutrofização é o termo empregado em relação à concentração excessiva de nutrientes na água, causando o crescimento acelerado de algas e plantas aquáticas, as quais, durante o processo de decomposição, irão reduzir o nível de oxigênio na água, causando a morte de peixes e de outros organismos aquáticos. O crescimento excessivo de algas em reservatórios de abastecimento doméstico pode causar problemas devido à alteração na cor e no sabor da mesma, bem como devido à liberação de algumas toxinas prejudiciais ao ser humano (TUNDISI, 2003). A redução do nível de oxigênio na água também pode ocorrer por descarga direta ou indireta de matéria orgânica na mesma, assim como por meio do esgoto doméstico, resíduo industrial e dejetos de animais.

A eutrofização na água doce é principalmente ocasionada pela concentração de fósforo. O nitrogênio também está relacionado com a eutrofização acelerada, mas, devido à capacidade de algumas plantas aquáticas de fixarem o nitrogênio atmosférico, maior atenção tem sido dada ao fósforo (CORRELL, 1998; DANIEL et al., 1998). Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos enfatizando as perdas de fósforo devido à erosão e drenagem superficial, em função da relativa imobilidade deste elemento no solo. No entanto, alguns trabalhos de pesquisa têm mostrado que perdas de fósforo via drenagem subsuperficial podem ocorrer em algumas situações, como, por exemplo, em solos com alta concentração de fósforo, devido à superfertilização ou excessivo uso de resíduos orgânicos (SIMS et al., 1998).

Outro problema relacionado à poluição de água por nutrientes diz respeito à concentração de nitratos na mesma. O nitrato é uma forma de nitrogênio que, quando em alta concentração, causa uma doença, principalmente em crianças, conhecida como metahemoglobinemia ou síndrome do bebê azul, a qual se caracteriza pela falta de transporte do oxigênio no sangue. Além disso, tem se discutido muito sobre o efeito dos nitratos como causador de câncer. No entanto, este aspecto não está sendo considerado na definição do limite máximo de nitratos permissível na água para consumo humano (USEPA, 1999).

Por ser o nitrato um elemento muito móvel no solo, a poluição da água pelo mesmo ocorre, principalmente, nas águas subterrâneas. O fósforo, por outro lado, é um elemento transportado predominantemente via erosão do solo, causando a poluição das águas superficiais, principalmente. No Brasil, de acordo com a Portaria nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000, do Ministério da Saúde, a concentração de nitrogênio na forma de nitrato ( $N-NO_3$ ) na água de consumo humano tem sido

limitada em 10 mg/l de N-NO<sub>3</sub> (aproximadamente 45 mg/l de NO<sub>3</sub>). Este mesmo limite é usado nos Estados Unidos da América (USEPA, 1999).

Embora o Brasil detenha uma das maiores reservas de água doce do mundo, a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433, de 1997) reconhece que a água é um recurso natural limitado e, em situações de escassez, o uso prioritário da mesma é para o abastecimento humano e animal. A disponibilidade de água no nosso planeta está diminuindo gradativamente, em função da degradação do meio ambiente, crescimento populacional e expansão da fronteira agrícola. Um exemplo claro de tal tipo de problema é o racionamento de água enfrentado em muitos centros urbanos, devido aos reservatórios de água não estarem conseguindo suprir as necessidades da população. Ainda que a água seja classificada como um recurso renovável, ela deve ser considerada um recurso escasso e finito, devendo, neste sentido, ser aproveitada de forma a afastar o perigo de seu esgotamento num futuro próximo (SETTI et al., 2002). Assim, o incentivo aos programas de desenvolvimento sustentável, voltados à utilização adequada dos recursos naturais água e solo, é uma medida a ser urgentemente considerada.

Como comentado anteriormente, a conservação da água depende diretamente da conservação do solo. A erosão é um dos principais agentes de degradação da qualidade da água, principalmente por meio da poluição difusa, a qual é mais dificilmente controlada. Outro importante aspecto relacionado à qualidade da água é o controle da poluição direta, principalmente em áreas urbana e industrial. A entrada dos esgotos doméstico e industrial diretamente no rio, sem passar pelo processo de tratamento dos mesmos, constitui um sério problema, principalmente com a urbanização acelerada. O licenciamento de atividades potencialmente poluidoras, como, por exemplo, a criação de animais em regime de confinamento, é executado no Estado do Paraná pelo Instituto Ambiental

do Paraná (IAP), por meio da Resolução nº 31/1998, da Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA. A fiscalização da qualidade da água também é efetuada pelo IAP, respeitando a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Cabe ressaltar que a resolução CONAMA nº 357/2005, revogou a resolução antiga que regia a qualidade de água, ou seja, a resolução CONAMA nº 20/1986.

Quando se fala em conservação da água, não se pode deixar de mencionar a importância da mata ciliar na mesma. Esta faixa de vegetação, localizada às margens dos cursos de água, funciona como uma espécie de filtro, evitando a entrada de diversos poluentes na mesma. No entanto, de acordo com ZAKIA (1998), “não se deve, todavia, concluir que a mera presença da mata ciliar seja suficiente para sanar todos os problemas da poluição decorrente da atividade agrícola em uma microbacia, a menos que outras medidas complementares de uso e manejo adequados do solo sejam tomadas”. Os aspectos de legislação em relação à reserva legal (RL) e áreas de preservação permanente (APP) são discutidos em item posterior.

## **5 PLANEJAMENTO CONSERVACIONISTA**

O planejamento e a execução de programas de conservação do solo e da água ao nível de bacia hidrográfica têm sido as estratégias utilizadas para enfrentar os problemas envolvendo o uso e o manejo inadequados dos recursos solo e água no meio rural. Entende-se por bacia hidrográfica “uma unidade física, bem caracterizada, referente a uma área de terra drenada por um ou vários cursos de água e limitada, perifericamente, pelo chamado divisor de águas” (BRASIL, 1983).

Experiências práticas têm demonstrado que os programas de conservação dos recursos solo e água são grandemente facilitados

quando se toma como unidade de trabalho a microbacia hidrográfica. Tais experiências evidenciaram alguns benefícios em conservação do solo e da água, os quais podem ser assim enunciados:

- a) Proporciona melhoria na qualidade das ações de intervenção, uma vez que o planejador, sob tal forma de trabalho, tem a possibilidade de visualizar a unidade geográfica objeto do estudo no seu todo;
- b) Permite o melhor entendimento, tanto do posicionamento geográfico dos fatores desencadeadores de degradação ambiental, quanto do efeito acumulado da ação de diferentes fatores, além do melhor entendimento da problemática do efeito das unidades produtivas, umas sobre as outras, no processo de degradação ambiental;
- c) Permite ao planejador identificar o real efeito de determinadas infra-estruturas, por exemplo, a viária, bem como mensurar a magnitude desse efeito nos problemas ambientais existentes na microbacia e, em adição, os pontos em que esses efeitos se fazem sentir em maior ou menor grau na mesma;
- d) Facilita a integração da equipe técnica envolvida no planejamento e na execução do projeto de recuperação e conservação ambiental. Sendo a microbacia a unidade geográfica para, num primeiro momento, atuar no planejamento e na implantação de medidas conservacionistas, favorece a integração das diferentes áreas do conhecimento que assessoram os produtores rurais na condução das atividades agropastoris desenvolvidas por eles no interior da microbacia;
- e) Amplia a eficácia de redução da erosão das práticas conservacionistas, particularmente as de caráter mecânico ou estrutural, uma vez que elas seccionam as encostas da microbacia, integrando as lavouras entre si e estas com a estrutura viária. A contenção do escoamento superficial em toda a extensão da microbacia facilita o seu gerenciamento, uma vez que são neutralizados os pontos que desencadeiam o mesmo, como

divisas de propriedades e estradas. A integração lavoura-estrada, por meio de práticas conservacionistas estruturais, também irá permitir a melhor conservação destas últimas, colaborando, assim, para a diminuição dos custos de manutenção da malha viária no meio rural;

- f) Evita que as vias de drenagem sejam alimentadas por superfície, pela enxurrada, em função da contenção do escoamento superficial na microbacia como um todo, em diferentes compartimentos de suas encostas. Tal medida, além de controlar enchentes e assoreamentos, cria condições para melhorar a qualidade e a quantidade da água que chega às nascentes e aos cursos de água, uma vez que, ao ser contida na encosta, a água de enxurrada tem possibilidade de infiltrar no solo. Este processo, pelo efeito de filtragem que ocorre na matriz do solo, evita a contaminação dos recursos hídricos da bacia e garante a recarga dos aquíferos de profundidade. Por outro lado, a disponibilidade de água nas nascentes é aumentada ao longo do intervalo entre as precipitações, já que as nascentes passam a ser alimentadas por subsuperfície, processo este mais duradouro do que quando a alimentação se dá predominantemente por superfície;
- g) Diminui os custos de implantação e o uso de obras de preservação ambiental, como abastecedouros comunitários de água e práticas mecânicas de conservação do solo, particularmente sistemas de terraceamento e de adequação de estradas. A locação e a construção desses tipos de obras, quando realizadas ao mesmo tempo e de forma conjunta pelos produtores rurais, cobrindo toda a área da microbacia, ampliam a capacidade operacional de máquinas e equipamentos agrícolas, bem como da estrutura técnica envolvida no projeto. Especificamente em relação aos abastecedouros comunitários, tal forma de trabalho permite uma distribuição espacial dos mesmos que facilita a maximização de seu uso;

- h) Desenvolve uma consciência de atuação coletiva nos produtores rurais localizados na microbacia, constituindo-se em estímulo para o surgimento de futuras organizações associativas no meio rural. Sabe-se que o associativismo tem contribuído grandemente para a fixação do homem no campo e para a viabilização da agricultura, particularmente a familiar;
- i) Proporciona melhoria na qualidade de vida dos produtores rurais e nas suas famílias, favorecendo a fixação do homem no campo em função dos seguintes aspectos: 1) melhoria na qualidade da água a qual é um dos principais agentes de promoção da saúde humana e animal; assim, havendo melhoria na qualidade da água, em decorrência das ações de recuperação e de preservação dos recursos naturais na microbacia, ocorrerá também melhoria nas condições de saneamento do meio rural; 2) a adequação da malha viária em bases conservacionistas garante melhor trafegabilidade, inclusive em períodos de condições climáticas adversas; tais condições resultam em diminuição dos custos de transporte, garantia de escoamento da produção, facilidade de contato e intercâmbio com novas tecnologias e com centros urbanos próximos, fatores estes que possibilitam o aumento do bem-estar e da renda do produtor rural; 3) o exercício da ação em grupo entre os moradores da microbacia no diagnóstico dos seus problemas, na participação e no planejamento das ações de recuperação e de preservação ambiental e na execução das medidas conservacionistas, poderá evoluir para outras iniciativas em conjunto, como a aquisição coletiva de máquinas, equipamentos e insumos e, também, a transformação e a venda dos seus produtos; iniciativas dessa natureza podem resultar no aumento de renda para o conjunto dos produtores da microbacia; 4) melhorias ambientais como contenção da erosão, recuperação de áreas degradadas, reposição de florestas e eliminação de riscos de poluição

por agrotóxicos e outras formas de poluição, aumentam o nível de confiança das pessoas no ambiente em que vivem e 5) a recuperação da capacidade produtiva dos solos presentes na microbacia melhora a renda líquida das propriedades rurais favorecendo a permanência das pessoas no meio rural.

### 5.1 GERENCIAMENTO DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA

O gerenciamento de uma microbacia hidrográfica, no que se refere à recuperação e preservação dos seus recursos naturais, pode ser dividido em três grandes fases ou etapas, a saber: a) *planejamento*, o qual, por sua vez, pode ser subdividido em duas etapas, quais sejam, a do conhecimento das características e das condições dos meios físico, biológico e sócio-econômico (diagnóstico da microbacia) e a do planejamento das ações a serem implementadas, em função das informações geradas no diagnóstico; b) *execução* das ações propostas na etapa do planejamento e c) *avaliação* dos resultados obtidos pelas ações implementadas e redirecionamento dessas ações, quando necessário. Neste capítulo, nos deteremos na apresentação, de forma sucinta, do diagnóstico do meio físico.

### 5.2 DIAGNÓSTICO DO MEIO FÍSICO

Pode-se dizer que o êxito das ações desenvolvidas na microbacia dependerá, em parte, da qualidade das informações geradas na etapa de diagnóstico. Para que o diagnóstico do meio físico alcance a qualidade requerida, as características de determinados componentes ou atributos da microbacia deverão ser conhecidas. Os principais componentes ou atributos são: clima, geologia, geomorfologia, hidrografia, relevo, solo, uso do solo, potencial de uso agrícola das terras, conflito de uso e pontos críticos existentes na microbacia. As informações levantadas, além de

constarem no diagnóstico na sua forma descritiva, deverão ser materializadas em mapas, para permitir que as características de cada componente possam ser visualizadas quanto à distribuição espacial e abrangência na microbacia. A partir do diagnóstico, pode-se, então, gerar, no mínimo, seis mapas dos referidos componentes ou atributos, tais como: hidrografia, relevo, solos, uso atual dos solos, potencial de uso agrícola das terras e conflito de uso dos solos.

Para a elaboração dos mapas de cada atributo, tomando como tamanho médio de microbacia uma área de 2000 ha, pode-se considerar que 1:10000 seja uma boa escala. Os mapas poderão ser elaborados de forma manual, em papel, ou digitalizados, em computador. A elaboração de tais mapas sob a forma manual, em papel, no entanto, dificulta uma análise que combine as diversas informações contidas nos mesmos, gerando novas informações ou, então, aprofundando-as.

Com o desenvolvimento da tecnologia de informática tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento de uma ferramenta relativamente nova, denominada de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Esta ferramenta engloba os recursos do geoprocessamento e do sensoriamento remoto, possibilitando ainda contar com o apoio do Sistema de Posicionamento Global (GPS), o que permite georeferenciar as informações e, assim, localizá-las com precisão. Com tal ferramenta, é também possível automatizar a produção de documentos cartográficos, como mapas, além de localizar e quantificar cada gleba de terra e suas características particulares. Por definição, “geoprocessamento refere-se à área do conhecimento que utiliza recursos matemáticos e computacionais para o tratamento da informação”. Num país com dimensões como as do Brasil, com carência de informações para embasar o processo de tomada de decisão, particularmente no meio rural, o geoprocessamento constitui

um recurso de grande potencial, principalmente se, para sua execução, forem utilizadas tecnologias de custo relativamente baixo e a aquisição do seu conhecimento possa se dar localmente. O maior benefício do uso desta ferramenta é a possibilidade de se realizar análises complexas, integrando dados e mapas de diversas fontes, o que permite gerar informações não perceptíveis nos mapas integrados. Essas novas informações possibilitam, por exemplo, estabelecer a capacidade de uso do solo ou aptidão agrícola das terras, bem como os locais de conflito dentro da área de estudo, isto é, quais as áreas que estão sendo sub ou super utilizadas, em função das suas limitações e potencialidades. O Sistema de Informação Geográfica é particularmente de grande valia no gerenciamento e acompanhamento das ações desenvolvidas na microbacia, agilizando o processo de tomada de decisão na eventual necessidade de correção no planejamento, bem como na realização da análise temporal de evolução dos recursos naturais existentes na microbacia.

#### 5.2.1 Solos

O solo, por se constituir no recurso natural que dá suporte a todas as atividades agropastoris no meio rural, necessita ser detalhadamente estudado na microbacia. Assim, o mapa de reconhecimento de solos na escala de 1:600.000 serve apenas para dar uma idéia dos tipos de solo que ocorrem na área de estudo. Desta forma, será necessário gerar um mapa de solos que localize com a maior precisão possível todas as classes do mesmo que ocorrem na microbacia.

#### 5.2.2 Relevô

Pode-se afirmar que a declividade é o componente do relevo que mais influencia o processo de erosão do solo pela água da chuva. Assim, é

necessário diagnosticar e localizar na microbacia as glebas de terra que apresentem diferentes inclinações do terreno, agrupando-as em função dos intervalos ou classes de declividade em que se enquadram. As classes de declividade comumente utilizadas, inclusive no sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras (RAMALHO FILHO E BEEK, 1995), são as seguintes: 0 a 3% (plano), 3% a 8% (suave ondulado), 8% a 13% (moderadamente ondulado), 13% a 20% (ondulado), 20% a 45% (forte ondulado), 45% a 100% (montanhoso) e maior do que 100% (escarpado).

Embora no diagnóstico do meio físico a declividade do terreno seja o componente do relevo de maior peso na definição dos sistemas de manejo e das medidas de conservação do solo e da água a serem propostas, não se deve diminuir a influência de outros fatores, como o comprimento e a forma do declive. Destes, merece destaque o comprimento da pendente, por diretamente influenciar o fluxo acumulado de enxurrada, o qual exerce maior ação erosiva no terço final da encosta e, assim, adquire maior magnitude na medida em que o declive vai se alongando.

No estudo do relevo, a utilização do geoprocessamento tem se mostrado grandemente vantajosa. Por meio da utilização de isolinhas e da hidrografia da microbacia, as quais podem ser obtidas de cartas topográficas, os recursos do geoprocessamento permitem definir as diferentes classes de declividade existentes na microbacia, localizando-as no mapa deste atributo e expressando-as quantitativamente em tabela. Em adição, podem-se produzir outros tipos de mapas que complementem a análise do relevo da bacia em estudo, como a representação visual do comprimento e da forma da encosta, conseqüentemente da configuração do relevo.

### 5.2.3 Hidrografia

A hidrografia tem relação com características da microbacia, tais como relevo e tipos de solo. Sabe-se que uma rede de drenagem de elevada densidade indica solos pouco profundos ou pouco permeáveis e um relevo bastante descontínuo. Assim, torna-se necessário conhecer a hidrografia da microbacia, bem como os demais fatores que têm participação na quantidade e qualidade deste recurso. Portanto, é recomendável que seja levantada toda a rede hidrográfica constituinte da microbacia, bem como as condições em que ela se encontra no que diz respeito à proteção por mata ciliar e presença de poluição. A maneira mais prática e precisa para se realizar o levantamento da rede de drenagem é recorrer às cartas topográficas, porém com conferência a campo, para poderem-se corrigir eventuais linhas de drenagem não aparentes na cartografia.

O mapeamento da rede de drenagem a partir de cartas topográficas poderá ser feito manualmente ou utilizando-se o recurso da técnica de geoprocessamento. Esta última, além de possibilitar maior precisão, permite automatizar os cálculos para determinação do comprimento e da densidade da malha hidrográfica em relação à área total da microbacia. Ela possibilita ainda localizar e quantificar as áreas que, por exigência legal, deveriam ser ocupadas por mata ciliar. A partir disso, integrando tal tipo de informação com o mapa de uso atual dos solos da microbacia, pode-se verificar se existem pontos da rede hidrográfica que se encontram desprotegidos, bem como quantificar as áreas desprotegidas. Finalmente, com o auxílio da técnica do GPS, é possível localizar eventuais pontos de poluição existentes na microbacia e, assim, descrevê-los em relação à rede hidrográfica geral constituinte da mesma.

#### 5.2.4 Potencial de uso

Como discutido no item 2, o potencial de uso agrícola das terras pode ser avaliado por meio de dois sistemas, quais sejam, o sistema de aptidão agrícola das terras e o sistema de classificação da capacidade de uso das terras. Conforme descrito, o sistema de classificação da capacidade de uso das terras, por exigir maior número de informações, é mais apropriado para o planejamento ao nível de propriedade, enquanto o sistema de aptidão agrícola das terras é mais recomendado para o planejamento em áreas maiores. Portanto, ao nível de microbacia, normalmente utiliza-se o sistema de aptidão agrícola das terras, enquanto que ao nível de propriedade utiliza-se o sistema de classificação da capacidade de uso das terras. No entanto, é possível unir elementos dos dois sistemas e adaptá-los de acordo com a realidade local. A geração do mapa de potencial de uso das terras, independentemente do sistema de classificação utilizado, será extremamente importante no que se refere à identificação das potencialidades e limitações do meio físico.

#### 5.2.5 Uso atual do solo

A informação de como estão sendo utilizados os solos da microbacia é de grande importância, uma vez que o cruzamento da mesma com as demais informações relativas ao potencial de uso agrícola das terras permite identificar se há ou não ocorrência de áreas de conflito na mesma. Assim, no diagnóstico deste quesito, como nos demais, não é suficiente apenas descrever a realidade local. É também necessário espacialmente quantificar e localizar outras informações associadas, de modo tal que se possa promover a integração de dados e, assim, como no quesito em questão, identificar as áreas que estão sendo utilizadas para explorações agropastoris, mas, de acordo com o potencial de uso do solo,

não seriam recomendadas para tal finalidade e, por consequência, se enquadrariam numa situação de super utilização.

O uso atual do solo pode ser avaliado por meio de levantamento expedito ou, então, com o recurso do GPS, localizando-se no mapa pertinente os diferentes tipos de uso dos solos presentes na microbacia. No entanto, quando se dispõe de fotografias aéreas ou imagens de satélite recentes, com resolução que permita separar os diferentes tipos de uso dos solos na microbacia, a técnica de sensoriamento remoto tem permitido localizar e quantificar tal tipo de informação de forma mais rápida e mais precisa. Isto possibilitará, por meio da técnica de geoprocessamento, efetuar a integração deste quesito com os outros.

#### 5.2.6 Conflito de uso

A partir do cruzamento do mapa de potencial de uso agrícola das terras com o mapa de uso atual dos solos, pode-se definir ou gerar o mapa de conflito de uso, ou seja, representar em mapa as áreas na microbacia que estão sendo sub ou super utilizadas, bem como as que estão sendo adequadamente utilizadas. Nessa análise, é importante observar os aspectos legais de preservação permanente e de reserva legal, os quais não são levados em conta na elaboração do mapa de potencial de uso agrícola das terras.

#### 5.2.7 Pontos críticos

O processo de degradação ambiental numa microbacia, em muitas situações, se origina em locais específicos, a partir dos quais o problema se agrava. Assim, do ponto de vista de ocorrência da erosão, a má localização de uma estrada poderá se constituir num ponto crítico, a partir do qual o processo erosivo se propaga, removendo o solo superficial na forma de erosão em sulcos ou, até, voçorocas. Também, poderão se

constituir em pontos críticos as divisas entre propriedades, nas quais inicia-se o processo de erosão em função de uma lavoura estar descarregando sua enxurrada sobre a lavoura vizinha. Um outro ponto crítico que pode favorecer a erosão é o uso de determinadas glebas que não apresentam aptidão para as explorações agropastoris, em função de possuírem elevada declividade e/ou características de solo que facilitam a desagregação e o transporte do mesmo, como, por exemplo, uma textura arenosa. Tais limitações poderão fazer com que a gleba se torne um ponto irradiador do processo erosivo na microbacia. Podem, ainda, serem considerados pontos críticos na microbacia locais no terreno com baixa fertilidade do solo, áreas de preservação permanente que tenham sido incluídas no processo produtivo, e locais em que esteja sendo desenvolvida alguma atividade que cause poluição, como, por exemplo, o uso intensivo de agrotóxicos em determinados tipos de exploração agrícola ou, então, alguma atividade industrial promotora de poluentes que esteja sendo desenvolvida no interior da microbacia.

Tais pontos críticos na microbacia, depois de identificados, devem ser localizados em mapa pertinente, para que se possa ter uma idéia da sua distribuição espacial, sendo conveniente que os mesmos sejam associados às informações do relevo. A localização de pontos críticos na microbacia poderá ser feita por meio de caminhamento, posicionando-se os mesmos manualmente no mapa ou, então, utilizando o recurso do GPS. Este último apresenta a vantagem de permitir maior precisão na localização dos pontos críticos em questão, além de automatizar tal localização no mapa pertinente. Pode-se também substituir o levantamento a campo pelo uso do sensoriamento remoto, desde que os pontos críticos tenham magnitude que permita sua visualização em imagens de satélite. A experiência tem mostrado que fotografias aéreas recentes constituem um excelente recurso para esta finalidade. O uso do sensoriamento remoto

tem ainda a vantagem de tornar o trabalho mais preciso e menos demorado.

#### 5.2.8 Malha viária

A malha viária pode se constituir em importante fator de desencadeamento do processo de erosão do solo na microbacia se tanto a sua localização quanto sua construção não respeitar os pressupostos conservacionistas. Experiências têm mostrado que as estradas, quando não integradas às lavouras por meio de práticas conservacionistas de suporte, se transformam em fator desencadeador do processo erosivo pela água da chuva, constituindo-se, em muitos casos, em nascedouros de voçorocas. Estes problemas têm se tornado mais graves quando as estradas são traçadas no sentido da pendente. Assim, é importante realizar o levantamento de toda a malha viária existente na microbacia, considerando o tipo de pavimento, seu estado de conservação e sua localização em relação ao relevo, bem como a localização de pontos a partir dos quais a estrada poderá ser tornar elemento desencadeador de degradação ambiental (ponto crítico).

O levantamento da malha viária pode ser feito de forma expedita, percorrendo-a e localizando-a em mapa, ou retirando as informações necessárias de cartas topográficas. No entanto, o uso do GPS poderá tornar esse levantamento bem mais preciso, além de possibilitar, por meio dos recursos da técnica de geoprocessamento, a automatização tanto da produção de mapas quanto da quantificação da malha viária, bem como estimar o montante da área ocupada pela malha viária na microbacia. Por outro lado, a ferramenta de geoprocessamento permitirá relacionar as estradas com outros elementos da microbacia, como relevo e tipos de solo. Em relação ao relevo, haverá a possibilidade de avaliar se o traçado da estrada está ou não em acordo com os preceitos conservacionistas. Em

relação aos solos, será possível precisar sobre quais tipos de solo o leito da estrada se encontra e, assim, antever aspectos relacionados a sua conservação e à preservação do ambiente. A partir do relacionamento da estrada com o relevo e os tipos de solo da microbacia, decisões poderão ser tomadas sobre como readequar a malha viária ou diminuir sua densidade, de modo tal que se atenda da melhor forma possível aos pressupostos conservacionistas. Em relação ao uso do GPS, ele permitirá que o levantamento da malha viária possa ser feito inspecionando-a por meio de locomoção com veículo, além de indicar possíveis pontos críticos na microbacia, em função das estradas nela existentes.

#### 5.2.9 Estrutura fundiária

A posição geográfica das propriedades rurais dentro de uma microbacia, especialmente em relação ao relevo, pode se constituir em fator de desencadeamento de problemas ambientais na mesma, particularmente o favorecimento do processo de erosão hídrica do solo. As divisas das propriedades com certa frequência têm sido pontos de surgimento de voçorocas. Por outro lado, uma propriedade posicionada no início da encosta, poderá contribuir para o processo de erosão em outra propriedade, localizada à montante da encosta. A distribuição das propriedades em relação ao relevo poderá, ainda, influenciar a localização das estradas e a densidade da rede viária. Assim, a forma como o território da microbacia está subdividido pelas propriedades rurais que o compõem, deve ser representada em um mapa fundiário da mesma, de modo tal que se possa planejar as práticas de manejo e de conservação do solo de forma integrada, tanto entre propriedades quanto entre estas e as estradas.

A elaboração do mapa fundiário da microbacia poderá ser feita contando com a colaboração dos produtores rurais residentes na área de

estudo, utilizando-se cartas topográficas ou, então, apoiando-se no mapa fundiário da região, caso ele exista. No entanto, os recursos da técnica de geoprocessamento, mais o apoio do GPS, poderão facilitar muito esta tarefa e produzir informações bem mais precisas. O uso desses recursos permite ainda relacionar a estrutura fundiária existente na microbacia com outras informações desse tipo geradas, facilitando muito o planejamento e a localização das ações a serem implementadas na mesma.

#### 5.2.10 Diagnóstico físico da propriedade

Após todos os aspectos relevantes da microbacia terem sido diagnosticados, é necessário que se conheça as particularidades de cada propriedade, para que se possa, então, elaborar um plano de ação para cada uma das unidades produtivas da mesma que, na visão integrada de práticas e propriedades, formará o planejamento de ações para o conjunto da microbacia. O diagnóstico ao nível de propriedade é discutido com detalhes no capítulo III deste livro. De qualquer forma, e de modo geral, no diagnóstico do meio físico da propriedade é necessário levantar dados para cada gleba, a fim de possibilitar a avaliação do potencial de uso agrícola das terras. Como discutido no item 2 deste capítulo, normalmente, ao nível de propriedade, utiliza-se o sistema de classificação da capacidade de uso das terras de acordo com LEPSHC (1991) e ALVARENGA e PAULA (2002). No entanto, modificações podem ser feitas para melhor adaptação da realidade local. No estado de Santa Catarina, por exemplo, UBERTI et al. (1992) desenvolveram uma metodologia para classificação da aptidão agrícola das terras adaptada à pequena propriedade, a qual tem sido usada em levantamento e planejamento de propriedades rurais em microbacias. Esta metodologia encontra-se descrita em UBERTI et al. (1992) e SANTA CATARINA (1994) e baseia-se nos dois sistemas apresentados no item 2 deste capítulo, ou seja, no

sistema proposto por LEPSHC (1991) e no proposto por RAMALHO FILHO e BEEK (1995). Portanto, para efetuar o planejamento de propriedades rurais será necessário o levantamento de todos os fatores influentes para poderem-se classificar as terras de acordo com a metodologia escolhida. Em razão da importância da cobertura do solo na contenção da erosão e da matéria orgânica na melhoria das propriedades químicas e físicas do solo, é recomendável que os níveis dessas variáveis sejam observados com atenção. Além disso, nas áreas continuamente manejadas por meio do uso da motomecanização, é importante identificar se há ou não ocorrência de camadas de impedimento mecânico (compactação do solo).

Deve-se ainda levantar aspectos particulares da propriedade, já avaliados no diagnóstico geral da microbacia. Assim, em relação ao tipo de uso do solo, será necessário, por exemplo, conhecer o sistema de preparo do solo que vem sendo utilizado, se semeadura direta, preparo convencional, ou outro qualquer, bem como a rotação de culturas adotada. Em relação ao aspecto ambiental, deve-se avaliar a intensidade de uso de agrotóxicos, o destino sendo dado às embalagens dos mesmos, a presença de pontos críticos e o estado em que se encontram as áreas que, por lei, são consideradas como de preservação permanente. É necessário ainda verificar os recursos hídricos existentes na microbacia, especialmente no que tange à qualidade de suas águas, bem como os possíveis acessos à malha viária.

É importante ressaltar que, ao diagnóstico das propriedades, deve-se incorporar não somente os aspectos do meio físico e biológico, mas também as condições sócio-econômicas do produtor rural e de sua família, considerando, neste particular, toda a infraestrutura e os recursos humano e material disponíveis na propriedade. No entanto, uma discussão mais detalhada deste tema está fora do escopo deste capítulo.

### 5.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS PROPOSTAS DE USO E MANEJO DOS RECURSOS NATURAIS

Concluída a fase de diagnóstico, deve-se fazer a proposição das medidas julgadas necessárias para a recuperação e conservação dos recursos naturais existentes na microbacia. Estas medidas constituirão o plano técnico, o qual deve considerar, pelo menos, três premissas, a saber: a) as condições sócio-econômicas do produtor; b) a promoção do desenvolvimento econômico da propriedade com sustentabilidade e c) a promoção da integração das propriedades na aplicação de práticas conservacionistas.

Para o atendimento da primeira premissa, deve ser levada em conta a capacidade do agricultor de absorver e de aplicar novas tecnologias, considerando o seu grau de instrução e as suas condições financeiras. O nível tecnológico de manejo adotado pelo agricultor, discutido no item 2, também deve ser considerado, pois ele permitirá identificar a capacidade de melhoramento ou de superação de algumas das limitações de uso dos recursos naturais.

Em relação à segunda premissa, as práticas propostas, além de controlarem o processo de erosão do solo na unidade produtiva, deverão possibilitar a recuperação tanto das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo quanto das áreas degradadas, assim como propiciar proteção aos mananciais de água de superfície e racionalizar o uso de agrotóxicos. O controle da erosão deverá ser buscado por meio da diminuição dos processos de desagregação do solo pela ação de impacto das gotas da chuva, por meio da cobertura vegetal, e de transporte de solo pelo escoamento superficial, por meio do aumento da capacidade de infiltração de água do solo. As glebas consideradas inaptas para exploração agropastoril, desde que não sejam áreas de preservação permanente, poderão ser destinadas à exploração florestal. Por sua vez,

as áreas de preservação permanente, particularmente aquelas localizadas nas nascentes e ao longo dos cursos de água, e que necessitam ser recuperadas, deverão fazer parte de um plano de recomposição da mata ciliar na microbacia.

A alocação de práticas mecânicas de conservação de solo, como, por exemplo, os terraços, tão necessários para controlar a enxurrada, é um exemplo de medida que atende a terceira premissa. Os terraços deverão ser projetados e executados de forma continuada, cortando toda a microbacia, no sentido transversal à pendente, independentemente das divisas entre propriedades. Outro exemplo similar é o planejamento da rede viária. Quando houver a necessidade de relocação das estradas, estas preferencialmente deverão ser posicionadas nos divisores de água. Quando isto não é possível, elas deverão acompanhar os terraços, porém pelo seu lado de baixo. No entanto, se não restar alternativa outra que não a de construí-las no sentido da pendente, elas deverão ser integradas às lavouras por meio de práticas mecânicas, como, por exemplo, os terraços.

Para as áreas ocupadas com pastagem, uma das medidas de controle tanto da erosão do solo como da poluição da água é a divisão das mesmas em piquetes com fornecimento de água em cada um deles. Esta prática evita o caminhar do gado na busca de água no terço inferior da encosta.

Por fim, a implementação de obras destinadas à preservação ambiental, como reservatórios comunitários de água para abastecimento de pulverizadores bem como descarte das embalagens de agrotóxicos, deverão ser efetuados em locais apropriados, que atendam ao maior número possível de propriedades e, ao mesmo tempo, não representem risco de contaminação ambiental.

## 6 ASPECTOS LEGAIS

### 6.1 RESERVA LEGAL E PRESERVAÇÃO PERMANENTE

Por meio do Decreto Estadual nº 387, de 03 de março de 1999, o governo do Estado do Paraná instituiu o SISLEG - Sistema de Manutenção, Recuperação e Proteção da Reserva Florestal Legal e Áreas de Preservação Permanente no Estado do Paraná. Neste decreto, no seu Artigo 4º, são definidos os termos Reserva Florestal Legal e Preservação Permanente, como expostos a seguir.

*Reserva Florestal Legal* - as florestas e demais formas de vegetação representadas em uma ou várias parcelas em, pelo menos, 20% da área total da propriedade rural, com uso permitido apenas por meio de técnicas de manejo que garantam a sua perpetuidade.

*Preservação Permanente* - as florestas e demais formas de vegetação situadas em áreas elencadas nos Artigos 2º e 3º da Lei Federal nº 4.771/1965.

De acordo com a Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (Código Florestal Federal), no seu Artigo 2º, áreas de preservação permanente são florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

- a) ao longo dos rios ou de qualquer curso de água, desde o seu nível mais alto, em faixa marginal com largura mínima variando de 30 a 600 m, em função da largura do curso de água (30 m para os cursos de água com menos de 10 m de largura);
- b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios de água naturais ou artificiais;
- c) nas nascentes, ainda que intermitentes, e nos chamados "olhos de água", qualquer que seja sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 m de largura;
- d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;

- e) nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100%, na linha do maior declive;
- f) nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;
- g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas;
- h) em altitude superior a 1.800 m, qualquer que seja a vegetação.

Ainda de acordo com a Lei Federal nº 4.771/1965, no seu Artigo 3º, além das áreas de preservação permanente citadas anteriormente, outras são consideradas, quando assim declaradas por ato do Poder Público.

Sobre a reserva legal em pequenas propriedades, o Art. 16 do Decreto Estadual nº 387/1999 dispõe que em propriedades menores do que 50 hectares poderão ser incorporados na reserva legal “além da cobertura florestal de qualquer natureza (nativas, primitivas ou regeneradas), os maciços de porte arbóreo, sejam eles constituídos de frutíferas, ornamentais ou industriais, exceto quando a reserva florestal legal coincidir com área de preservação permanente”. Havendo necessidade de restauração da reserva legal em pequena propriedade rural ou posse rural familiar o Artigo 7º do Decreto Estadual estabelece que esta “...poderá ser feita, excepcionalmente, através de reflorestamento homogêneo com essências nativas e/ou exóticas, vedados o corte raso, o pastoreio e a utilização do fogo, sendo permitidos somente a adoção de desbastes ou cortes seletivos (...)”.

Com relação à inclusão da preservação permanente na reserva legal, o Artigo 7º do Decreto Estadual nº 3.320/2004 de acordo com a Lei Federal nº 4.771/1965 estabelece que quando localizada no próprio imóvel “a vegetação nativa existente em áreas de preservação permanente poderá ser computada no cálculo do percentual para a composição da reserva legal, desde que não implique em conversão de novas áreas para uso alternativo do solo e quando a soma da vegetação nativa em área de

preservação permanente e reserva legal exceder a 25% da pequena propriedade rural ou posse rural familiar e 50% das demais (...).”

De acordo com definições do Decreto Estadual nº 3.320/2004 “pequena propriedade rural ou posse rural familiar é aquela explorada mediante o trabalho pessoal do proprietário ou posseiro e de sua família, admitida a ajuda eventual de terceiro e cuja renda bruta seja proveniente, no mínimo, em 80%, da atividade agroflorestral ou do extrativismo, cuja área não supere 30 ha”.

No que se refere a compensação da parte faltante da Reserva Legal, independente do tamanho da propriedade, a legislação ambiental no estado do Paraná, permite que esta seja feita em outro imóvel, desde que observadas algumas condições. Para maiores detalhes deve-se consultar o Decreto Estadual nº 387, de 03 de março de 1999, que instituiu o SISLEG, e o Decreto Estadual nº 3.320, de 12 de setembro de 2004, que aprovou os critérios, normas, procedimentos e conceitos aplicáveis ao SISLEG.

Para maiores informações referentes à legislação nacional sobre reserva legal e preservação permanente o leitor deverá analisar o Código Florestal Federal (Lei 4.771/1965 com suas alterações). Em cada estado, existem legislações próprias que devem ser consultadas, no caso do estado do Paraná deve-se analisar a Lei Florestal Paranaense nº 11.054/1995 e os Decretos Estaduais nºs 3.320/2004 e 387/1999.

## 6.2 CONSERVAÇÃO DO SOLO

A Lei Estadual nº 8.014, de 14 de dezembro de 1984, dispõe sobre a preservação do solo agrícola no Estado do Paraná, a qual foi regulamentada e complementada pelos Decretos Estaduais nº 6.120, de 13 de agosto de 1985, e nº 5.509, de 08 de agosto de 1989, e pela Resolução Estadual nº 158, de 24 de novembro de 1993. Esta legislação é

usada pela Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Paraná (SEAB) como instrumento legal na fiscalização do uso do solo para fins agrícolas. Para maiores detalhes sobre os aspectos legais relacionados à conservação do solo, sugerimos o estudo minucioso da legislação acima referida.

### 6.3 QUALIDADE DA ÁGUA

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986, separava as águas em nove classes (cinco classes de água doce, com salinidade inferior a 0,05%, duas classes de água salobra, com salinidade entre 0,05% e 0,03%, e duas classes de água salgada, com salinidade superior a 0,3%). Esta mesma resolução estabelecia limites máximos permitidos de poluentes, considerando os diferentes usos da água. Com a publicação da Resolução do CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, que revoga a Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986, uma nova classificação dos corpos de água, bem como padrões de qualidade, deve ser considerada. Com relação à separação entre águas doces, salinas e salobras, continua-se com o mesmo critério, no entanto, ao invés de serem divididas em nove classes de acordo com a resolução antiga (Resolução nº 20/1986), agora as águas são divididas em treze classes de qualidade, sendo cinco classes de água doce, quatro classes de água salobra e quatro classes de água salgada. De acordo com a Resolução nº 357/2005, as classes de água doce são divididas em classe especial e classe 1 a 5. A classe especial é destinada, entre outros, ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção. As classes 1, 2 e 3, também são destinadas ao abastecimento para consumo humano, entre outros, no entanto somente após tratamento simplificado (classe 1) e tratamento convencional (classes 2 e 3). As águas

de classe 4 podem somente ser destinadas à navegação e à harmonia paisagística.

As exigências em termos de padrões de qualidade de água para cada classe em função de seus usos preponderantes são estabelecidas agora pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. No entanto a norma de qualidade de água para consumo humano é definida pelo Ministério da Saúde, na sua Portaria nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000, sendo de uso obrigatório em todo o território nacional. A potabilidade da água para consumo humano é estabelecida considerando parâmetros físicos, químicos e biológicos.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, criada pela Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, tem como objetivo, entre outros, assegurar à atual e futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos. Dentre as principais inovações introduzidas pela Lei nº 9.433/1997, está a outorga de direitos de uso e a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Por meio da Lei Federal nº 9.984, de 17 de julho de 2000, foi criada a Agência Nacional das Águas (ANA), sendo esta a responsável pela implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos no país.

A Lei Estadual nº 12.726, de 26 de novembro de 1999, instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos no Estado do Paraná, sendo regulamentada por vários decretos, dentre eles o Decreto nº 4.646, de 31 de agosto de 2001, que dispõe sobre o regime de outorga de direitos de uso dos recursos hídricos, e o Decreto nº 5.361, de 26 de fevereiro de 2002, que regulamenta a cobrança pelo direito de uso dos recursos hídricos.

## REFERÊNCIAS

- AKRAM, M.; KEMPER, W.D. Infiltration of soil as affected by the pressure and water content at the time of compaction. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 43, p. 1080-1087, 1979.
- ALVARENGA, M.I.N.; PAULA, M.B. de. Planejamento conservacionista em microbacias. **Informe Agropecuário**, v. 21, p. 55-64, 2000.
- BERTOL, I. COGO, N. **Terraceamento em sistema de preparo conservacionistas de solo: um novo conceito**. Lages: NRS-SBCS, 1996. 41 p. (Boletim Técnico, 2).
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Icone, 1999. 355 p.
- BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Resistência a penetração e a permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistema de manejo na região dos cerrados. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 25, p. 167-177, 2001.
- BOWEN, H.D. Alleviating mechanical impedance. In: ARKIN, G.F.; TAYLOR, H.M. **Modifying the root environment to reduce crop stress**. St. Joseph: University Press of Virginia, 1981. p. 21-57.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria de Recursos Naturais. **Manejo e conservação do solo e água: informações técnicas**. Brasília: Ministério da Agricultura, 1983. 66 p.
- BUBLITZ, U.; CAMPOS, L. de C. **Adequação de estradas rurais: especificações de projeto e serviços**. Curitiba: EMATER-PR, 1993. 70 p.
- COGO, N.P. **Elementos essenciais em manejo e conservação do solo e da água para aumento da produtividade agrícola e preservação do ambiente**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 70 p. (Apostila de curso)
- CORRELL, D.L. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: a review. **J. Environ. Qual.**, v. 27, p. 261-266, 1998.
- COSTA, B.B (Coord.) **Adução verde no sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346 p.
- CURI, N. (coord.) **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: SBCS, 1993. 89 p.
- DANIEL, T.C.; A.N. SHARPLEY; J.L. LEMUNYON. Agricultural phosphorus and eutrophication: a symposium overview. **J. Environ. Qual.**, v. 27, p. 251-257, 1998.
- DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N. KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: GTZ/IAPAR. 1991, 272 p.
- GALETI, P.A. **Práticas de controle à erosão**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. 1984, 278 p.
- HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA, W.M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 23, p. 145-154, 1999.
- HUDSON, N. **Soil Conservation**. Ames: Iowa State University Press. 1995. 391 p.
- LEMOES, R.C. de; SANTOS, R.D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 4. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. 83 p.

- LEPSCH, I. F. (coord.) **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4 aprox., Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175 p.
- MERTEN, G.H.; MINELLA, J.P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecol. e Desenvol. Rur. Sustent.**, v. 3, p. 33-38, 2002.
- MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades**. Chapecó: C. Monegat, 1991. 336 p.
- MUELLER, V.F.; WNDT, R.C.; DANIEL, T.C. Soil and water losses as affected by tillage and manure application. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 48, p. 896-900, 1984.
- PARANÁ. Secretária de Estado da Agricultura e Abastecimento. **Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo**. 2. ed. Curitiba: PARANÁ/SEAB, 1994. 372 p.
- PARRY, R. Agricultural phosphorus and water quality: a U.S. Environmental Protection Agency perspective. **J. Environ. Qual.**, v. 27, p. 258-261. 1998.
- PIERZYNSKY, G.M.; SIMNS, J.T.; VANCE, G.F. **Soils and environmental quality**. 2. ed. New York: CRC press, 2000. 459 p.
- PREVEDELLO, C. L. **Física do solo: com problemas resolvidos**. Curitiba: C.L. Prevedello, 1996. 446 p.
- RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65 p.
- RESENDE, J.O. Compactação e adensamento do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Resumos**. Rio de Janeiro: SBCS, 1997. (CD-Rom)
- RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B. de; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 3 ed. Viçosa: NEPUT, 1999. 338 p.
- RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Agricultura. **Manual de conservação do solo**. 3. ed. Porto Alegre, 1985. 287 p.
- SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento. **Manual de uso, manejo e conservação do solo e da água**. 2. ed. Florianópolis: EPAGRI, 1994. 338 p.
- SANTOS, H.P. dos; REIS, E.M. **Rotação de culturas em plantio direto**. Passo Fundo: EMBRAPA. 2001, 212 p.
- SETTI, A.A; LIMA, J.E.F.W.; CHAVES, A.G. de M.; PEREIRA, I.de C. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 3. ed. Brasília: ANEEL/ANA, 2002. 326 p.
- SHARPLEY, A.N.; CHAPRA, S.C.; WEDEPOHL, R.; SIMS, J.T.; DANIEL, T.C.; REDDY, K.R. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: issue and options **J. Environ. Qual.**, v. 23, p. 437-451, 1994.
- SIMS, J. T., R.R. SIMARD, AND B.C. JOERN. Phosphorus loss in agriculture drainage: historical perspective and current research. **J. Environ. Qual.**, v. 27, p. 277-293, 1998.
- SNYDER, N.J.; MOSTAGHIMI, S.; BERRY, D.F.; RENEAU, R.B.; HONG, S.; McCLELLAN, P.W.; SMITH, E.P. Impact of riparian forest buffers on agricultural nonpoint source pollution: **J. Amer. Water Resour. Assoc.**, v. 34, n. 2, p. 385-395, 1998.

- STANFFORD, J.D. Application of critical state soil mechanics: the performance of rigid tine. **J. Agric. Eng. Res.**, v. 26, p. 384-401, 1981.
- STONE, R.J.; EKWUE, E.I. Maximum bulk density achieved during soil compaction as affected by the incorporation of three organic materials. **Transactions of the ASAE**, v. 36, p. 1713-1719, 1993.
- TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência a penetração de um solo sob plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 20, p. 333-339, 1996.
- TROEH, F.R.; HOBBS, J.A.; DONAHUE, R.L. **Soil and water conservation**: productivity and environmental protection. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 610 p.
- TUNDISI, J.G. **Água no século XXI**: enfrentando a escassez. São Carlos: RIMA, 2003. 248 p.
- UBERTI, A.A.A.; BACIC, I.L.Z.; PANICHI, J.A.V.; LAUS NETO, J.A.; MOSER, J.M.; PUNDEK, M. CARRIAO, S.L. **Metodologia para classificação da aptidão de uso das terras do estado de Santa Catarina**. Florianópolis: EMPASC/ACARESC, 1991. 19 p. (Documentos, 119).
- USEPA- Unites State Environmental Protection Agency. **National primary drinking water standards**. USEPA Rep. 816-F-99-018. Washington:USEPA-Office of Water. 1999. Disponível em: <<http://www.epa.gov/safewater/mcl.html>> Acesso em: 11 de junho de 2004.
- ZAKIA, M.J.B. **Identificação e caracterização da zona ripária em uma microbacia experimental**: implicações no manejo de bacia hidrográfica e na recomposição de floresta. São Carlos, 1998. 99 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.