



CURSO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

*A Visão da Ciência do Solo no Contexto
do Diagnóstico, Manejo, Indicadores de
monitoramento e Estratégias de Recuperação*



Centro de Treinamento da Petrobras, Rio de Janeiro - RJ
22 a 26 de setembro de 2008

ISSN 1517-2627

Novembro, 2008

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

Documentos 103

Curso de Recuperação de Áreas Degradadas A Visão da Ciência do Solo no Contexto do Diagnóstico, Manejo, Indicadores de Monitoramento e Estratégias de Recuperação

Embrapa Solos
Rio de Janeiro, RJ
2008

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1.024 Jardim Botânico. Rio de Janeiro, RJ

Fone: (21) 2179-4500

Fax: (21) 2274.5291

Home page: www.cnps.embrapa.br

E-mail (sac): sac@cnps.embrapa.br

Comitê Local de Publicações

Presidente: Aluísio Granato de Andrade

Secretário-Executivo: Antônio Ramalho Filho

Membros: Marcelo Machado de Moraes, Jacqueline S. Rezende Mattos, Marie Elisabeth C. Claessen, José Coelho de A. Filho, Paulo Emílio F. da Motta, Vinícius de Melo Benites, Elaine C. Fidalgo, Maria de Lourdes Mendonça Santos Brefin, Pedro Luiz de Freitas e Waldir de Carvalho Júnior.

Supervisão editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Revisor de Português: *André Luiz da Silva Lopes*

Normalização bibliográfica: *Marcelo Machado Moraes*

Editoração eletrônica: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Foto da capa: *Sílvio Roberto de Lucena Tavares*

1ª edição

1ª impressão (2008): online

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

T231c Tavares, Sílvio Roberto de Lucena.

Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação / Sílvio Roberto de Lucena Tavares ... [et al.]. -- Dados eletrônicos. -- Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008.

228 p.: il. - (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627 ; 103)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: <<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/publicacao.html>>

Título da página da Web (acesso em 18 jun. 2008).

1. Manejo do Solo. 2. Recuperação do Solo. I. Melo, Adoildo da Silva. II. Andrade, Aluísio Granato de. III. Rossi, Celeste Queiroz. IV. Capeche, Cláudio Lucas. V. Balieiro, Fabiano de Carvalho. VI. Donagemma, Guilherme Kangussú. VII. Chaer, Guilherme Montandon. VIII. Polidoro, José Carlos. IX. Macedo, José Ronaldo de. X. Prado, Rachel Bardy. XI. Ferraz, Rodrigo Peçanha Demonte. XII. Pimenta, Thais Salgado. XIII. Título. XIV. Série.

CDD (21.ed.) 333.7316

Autores

Sílvio Roberto de Lucena Tavares

Pesquisador B da Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico, 1024. CEP: 22460-000. Rio de Janeiro, RJ.
E-mail: stavares@cnps.embrapa.br.

Adoildo da Silva Melo

Assistente A da Embrapa Solos,
E-mail: adoildo@cnps.embrapa.br

Aluísio Granato de Andrade

Pesquisador A da Embrapa Solos,
E-mail: aluisio@cnps.embrapa.br

Celeste Queiroz Rossi

Doutoranda da UFRRJ
E-mail: celestegrossi@yahoo.com.br

Cláudio Lucas Capeche

Pesquisador B da Embrapa Solos,
E-mail: capeche@cnps.embrapa.br

Fabiano de Carvalho Balieiro

Pesquisador A da Embrapa Solos,
E-mail: balieiro@cnps.embrapa.br

Guilherme Kangussú Donagemma

Pesquisador A da Embrapa Solos,
E-mail: donagemma@cnps.embrapa.br

Guilherme Montandon Chaer

Pesquisador A da Embrapa Agrobiologia,
E-mail: gchaer@cnpab.embrapa.br

José Carlos Polidoro

Pesquisador A da Embrapa Solos,
E-mail: polidoro@cnps.embrapa.br

José Ronaldo de Macedo

Pesquisador A da Embrapa Solos,
E-mail: jrmacedo@cnps.embrapa.br

Rachel Bardy Prado

Pesquisador A da Embrapa Solos,
E-mail: rachel@cnps.embrapa.br

Rodrigo Peçanha Demonte Ferraz

Pesquisador B da Embrapa Solos,
E-mail: rodrigo@cnps.embrapa.br

Thaís Salgado Pimenta

Geóloga, Departamento de Recursos Minerais-DRM
E-mail: thais@drm.rj.gov.br

Apresentação

A gradativa evolução e cobrança da legislação ambiental ocorridas nas últimas décadas, especialmente a que trata da obrigatoriedade da recuperação de áreas degradadas, têm contribuído significativamente para o aperfeiçoamento da tecnologia pertinente e tem despertado o interesse de várias categorias profissionais. Pesquisadores, técnicos e empresas estão empenhadas na solução de diversos problemas, específicos da área.

Neste contexto, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, criada em 26 de abril de 1973, que tem como missão **viabilizar soluções para o desenvolvimento sustentável** do espaço rural e peri-urbano, por meio da **geração, adaptação e transferência de conhecimentos e tecnologias**, em benefício dos diversos segmentos da sociedade brasileira, viu-se obrigada pela natureza de suas pesquisas, pela área geográfica de sua atuação e pelo conhecimento e desafios acumulado na empresa e em seus quadros técnicos, a também contribuir de forma efetiva na investigação científica e geração de tecnologias para recuperação de áreas degradadas. A adoção da Recuperação de Áreas Degradadas (RAD) como ramo da ciência é um evento recente em nosso país, e como a maioria dessas áreas degradadas está em áreas com atividades ligadas ao setor agropecuário ou a cadeia produtiva em volta do agronegócio brasileiro, a Embrapa tem um papel de atuação essencial para gerar tecnologias mitigadoras destes impactos, que podem e devem ser adaptadas para outras situações de solos e recursos hídricos degradados por outras atividades.

A Petrobras, a maior empresa brasileira em valor de mercado, entende que em um cenário cada vez mais competitivo, a imagem das empresas está relacionada à conscientização de seus empregados de que o aprimoramento da qualidade, a minimização de impactos ao meio ambiente e a segurança do homem e do patrimônio são fatores decisivos para o aumento da produtividade. Por isso, a Companhia dedica igual atenção ao seu desenvolvimento tecnológico e aos aspectos de proteção ao meio ambiente.

Diante deste contexto, a Petrobras contratou uma das unidades de pesquisa do sistema Embrapa, o Centro Nacional de Pesquisa de Solos sediado no Rio de Janeiro para ministrar esse **Curso de Recuperação de Áreas Degradadas**, através da visão da Ciência do Solo no Contexto do Diagnóstico, Manejo, Indicadores de Monitoramento e Estratégias de Recuperação, visando o treinamento de parte dos seus quadros técnicos ligados à área de meio ambiente, utilizando ferramentas e conhecimentos específicos da Ciência do Solo, como contribuição técnica no sentido de aprimorar o enfoque multidisciplinar, necessário aos técnicos envolvidos em trabalhos de RAD.

Esperamos que as informações contidas nesta apostila e transmitidas em sala de aula e nas atividades de campo contribuam para ampliar os muitos conhecimentos já adquiridos e vividos pelos quadros técnicos da área de meio ambiente da Petróleo Brasileiro S.A.

Rio de Janeiro (RJ), Início da Primavera de 2008*

Fabiano de Carvalho Balieiro

Sílvio Roberto de Lucena Tavares

Coordenadores do Curso

* Coincidentemente, o **Equinócio da Primavera** do 2008º *Sol Invictus* da Era Cristã acontece às 12:44 h do dia do início do Curso.

SUMÁRIO

Capítulo 1 **Áreas Degradadas: Conceitos e Caracterização do Problema**

Sílvia Roberto de Lucena Tavares

1.1	Introdução	1
1.2	Área Degradada	3
1.3	Recuperação, Reabilitação e Restauração	5
1.3.1	Recuperação	6
1.3.2	Reabilitação	6
1.3.3	Restauração	6
1.4	Integração e Evolução dos Conceitos	7
1.5	Referências Bibliográficas	8

Capítulo 2 **Fundamentos de Morfologia, Pedologia, Física e Química do Solo de Interesse no Processo de Recuperação de Área Degradada**

Rodrigo Peçanha Demonte Ferraz
Guilherme Kangussú Donagemma
Celeste Queiroz Rossi
José Carlos Polidoro

2.1	Introdução.....	9
2.2	Solos.....	10
2.2.1	Conceitos e Definições.....	10
2.2.2	Importância e Função.....	10
2.3	Formação de Solos.....	10
2.3.1	Intemperismo e Formação dos Solos.....	11
2.3.2	Fatores de Formação dos Solos.....	11
2.2.3	Mecanismos de Formação dos Solos.....	14
2.3.4	Processos de Formação de Solos.....	15
2.4	Morfologia, Física, Química e Mineralogia dos Solos.....	17
2.4.1	Componentes e Fases dos Solos.....	17
2.4.2	Perfil do Solo.....	18
2.4.2.1	Horizontes e Camadas.....	18
2.4.2.2	Tipos de Horizontes ou Camadas.....	18
2.4.2.3	Transição entre Horizontes.....	20
2.5	Propriedades e Atributos Físicos.....	21
2.5.1	Cor do Solo.....	21
2.5.1.1	Conceito e Definição.....	21
2.5.1.2	Significado e Interpretação.....	21
2.5.1.3	Determinação da Cor do Solo.....	22
2.5.2	Textura do Solo.....	23

2.5.2.1	Conceito e Definição.....	23
2.5.2.2	Classificação da Textura.....	23
2.5.2.3	Significado e Interpretação.....	26
2.5.3	Estrutura do Solo	27
2.5.3.1	Conceito e Definição.....	27
2.5.3.2	Processos de Formação da Estrutura dos Solos.....	28
2.5.3.3	Classificação da Estrutura dos Solos.....	29
2.5.3.4	Significado e Interpretação.....	31
2.5.4	Cerosidade.....	32
2.5.4.1	Conceito e Definição.....	32
2.5.4.2	Significado e Interpretação.....	32
2.5.5	Porosidade.....	32
2.5.5.1	Conceito e Definição.....	33
2.5.5.2	Significado e Interpretação.....	33
2.5.6	Densidade do Solo (Ds) e das Partículas (Dp).....	34
2.5.6.1	Conceito e Definição.....	34
2.5.6.2	Significado e Interpretação.....	35
2.5.7	Consistência do Solo.....	36
2.5.7.1	Conceito e Definição.....	36
2.5.7.2	Significado e Interpretação.....	37
2.5.7.3	Curva de compressibilidade do Solo e intervalo Hídrico Ótimo	37
2.5.8	Retenção de água no solo.....	38
2.5.9	Componentes Minerais dos Solos.....	39
2.5.10	Componentes Orgânicos dos Solos.....	43
2.5.10.1	Conceito e Definição.....	43
2.5.10.2	Significado e Interpretação.....	43
2.6	Propriedades e Atributos Químicos.....	44
2.6.1	Origem das cargas elétricas no solo	44
2.6.2	Ponto de Carga Zero (PCZ).....	45
2.6.3	Complexo Sortivo e Troca Iônica dos Solos.....	46
2.6.4	Capacidade de Troca Catiônica – CTC	47
2.6.5	Reação do Solo – Acidez do Solo.....	48
2.6.6	Atividade da Argila	49
2.6.7	Reação do Solo – Acidez do solo e calagem	49
2.7	Classificação de Solos.....	51
2.7.1	Sistemas de Classificação de Solos.....	51
2.7.2	Classes de Solos do SBCS.....	52
2.8	Levantamento e Mapeamento de Solos.....	54
2.9	Aplicações do Conhecimento de Física do Solo em RAD.....	56
2.9.1	Prevenção da Degradação:.....	56
2.9.2	Diagnóstico de Áreas Degradadas.....	56
2.9.3	Selamento Superficial.....	56
2.9.4	Compactação e Adensamento.....	57
2.9.5	Tipo e Grau de Erosão.....	58
2.9.6	Planejamento da Recuperação.....	58
2.10	Referências Bibliográficas Citadas e Consultadas.....	59

Capítulo 3 Ciclos dos Nutrientes e sua Relação com a Nutrição de Plantas

*Celeste Queiroz Rossi
José Carlos Polidoro*

3.1	Introdução.....	64
3.2	Ciclos dos Nutrientes	65
3.2.1	Ciclo do Carbono.....	65
3.2.1.1	Efeito Estufa e as Queimadas.....	66
3.2.2	Ciclo do Nitrogênio.....	68
3.2.2.1	Nitrogênio e Agricultura.....	69
3.2.3	Ciclo de Fósforo.....	70
3.2.4	Ciclo do Enxofre.....	71
3.3	Nutrição de Plantas	72
3.3.1	Nutrientes Essenciais.....	72
3.3.2	Disponibilidade de Nutrientes.....	73
3.3.3	Macro e Micronutrientes: importância, funções e sintomas de deficiência	75
3.3.3.1	Nitrogênio	75
3.3.3.2	Fósforo.....	76
3.3.3.3	Potássio.....	77
3.3.3.4	Cálcio e Magnésio.....	79
3.3.3.5	Enxofre.....	80
3.3.3.6	Boro.....	81
3.3.3.7	Cloro.....	82
3.3.3.8	Ferro.....	83
3.3.3.9	Manganês.....	83
3.3.3.10	Zinco.....	84
3.3.3.11	Cobre.....	85
3.3.3.12	Molibdênio.....	86
3.4	Referências Bibliográficas.....	87

Capítulo 4 Caracterização de Substratos Para Fins de Recuperação de Áreas Degradadas

Fabiano de Carvalho Balieiro

4.1	Introdução.....	89
4.2	Exemplos de Solos e Substratos Degradados.....	90
4.3	Amostragem de Substratos Degradados	94
4.4	Atributos Físicos e Químicos mais Usados na Caracterização de Solos e Substratos Degradados.....	96

4.4.1	Atributos Químicos.....	97
4.4.2	Atributos Físicos.....	98
4.4.3	Atributos Biológicos.....	99
4.5	Considerações Finais.....	101
4.6	Referências Bibliográficas.....	102

Capítulo 5 Degradação do Solo e da Água: Impactos da Erosão e Estratégias de Controle

Cláudio Lucas Capeche
José Ronaldo de Macedo
Rachel Bardy Prado
Thaís Salgado Pimenta
Adoildo da Silva Melo

5.1	Introdução.....	105
5.2	Degradação do Solo.....	106
5.2.1	Erosão.....	106
5.2.1.1	Causas da Erosão.....	106
5.2.1.2	Tipos de Erosão.....	107
5.2.1.3	Conseqüências da Erosão.....	108
5.2.2	Recuperação e Estabilização de Voçorocas.....	108
5.2.2.1	Conceito.....	108
5.2.2.2	Relação do Ambiente e a Ocorrência de Voçorocas.....	110
5.2.2.3	Classificação das Voçorocas.....	111
5.2.2.4	Procedimentos Para a Recuperação ou Estabilização de Voçorocas.....	111
5.3	Degradação da Água.....	125
5.3.1	Conceitos Relacionados à Água.....	125
5.3.1.1	Ciclo Hidrológico.....	125
5.3.1.2	Distribuição e Uso da Água.....	126
5.3.1.3	Doenças de Veiculação Hídrica.....	127
5.3.2	Conflitos Gerados pelo Uso Múltiplo da Água.....	127
5.3.3	Unidade de Planejamento e Gerenciamento: Bacia Hidrográfica.....	128
5.3.4	Monitoramento dos Recursos Hídricos.....	128
5.3.5	Levantamento de Fontes Pontuais e Difusas de Poluição.....	129
5.3.6	Degradação dos Recursos Hídricos.....	129
5.3.6.1	Processos de Eutrofização.....	130
5.3.6.2	Interferência do Uso e Cobertura da Terra na Qualidade da Água.....	130
5.3.6.3	Ocorrência de Manejo Inadequado dos Recursos Naturais em Bacias Hidrográficas, Consideradas Fontes de Poluição Para o Meio Ambiente.....	131
5.3.6.4	Principais Conseqüências da Degradação Ambiental	131

5.4	Observadas em Bacias Hidrográficas.....	132
	Referências Bibliográficas.....	

Capítulo 6 Estratégias de Recuperação de Áreas Degradadas

*Cláudio Lucas Capeche
José Ronaldo de Macedo
Adoildo da Silva Melo*

6.1	Introdução.....	134
6.2	Recomendações Básicas de Sistemas de Manejo de Solos....	135
6.2.1	Preparo do Solo.....	135
6.2.1.1	Condições de Umidade no Solo.....	136
6.2.1.2	Sentido de Preparo do Solo.....	137
6.2.2	Sistemas de Cultivos.....	137
6.3	Manejo e Conservação dos Recursos Naturais.....	140
6.3.1	Planejamento Conservacionista.....	140
6.3.2	Método de Controle da Erosão.....	141
6.3.2.1	Nivelamento, Cálculo da Declividade e Determinação da Curva de Nível.....	141
6.3.2.2	Locação das Curvas de Nível.....	148
6.3.2.3	Terraceamento.....	151
6.3.2.4	Cobertura Vegetal/Cobertura Morta.....	162
6.3.2.5	Quebra-Ventos ou Cortinas Vegetais.....	163
6.3.2.6	Cordão Vegetal.....	163
6.3.2.7	Cordão de Pedra.....	164
6.3.2.8	Adição de Matéria Orgânica.....	164
6.3.2.9	Rotação de Culturas.....	171
6.3.2.10	Locação de Estradas e Caminhos.....	172
6.4	Referências Bibliográficas.....	173
6.5	Publicações Para Consulta.....	173

Capítulo 7 Revegetação de Áreas Degradadas

*Fabiano de Carvalho Balieiro
Sílvia Roberto de Lucena Tavares*

7.1	Introdução.....	174
7.2	Sucessão Primária e Secundária de Florestas.....	175
7.3	Estratégias de Revegetação com Vistas a RAD.....	176
7.4	Sistemas Agroflorestais (SAF's).....	177
7.4.1	Classificação dos Sistemas e Agroflorestais.....	177
7.4.2	Sistemas Agroflorestais como Alternativa a RAD.....	180

7.4.3	Como Implementar um Sistema Agroflorestal (SAF).....	181
7.5	Recuperação de Mata Ciliar.....	184
7.5.1	Recuperação de Mata Ciliar Usando Sistemas Agroflorestais...	187
7.6	Recuperação de Vegetação do Semi-Árido.....	191
7.7	Recuperação de Pastagens Degradadas.....	196
7.7.1	Degradação das Pastagens.....	198
9.7.2	Como Implantar um Sistema ILP.....	201
7.7.2.1	Vantagens e Cuidados na Integração Agricultura-Pecuária.....	204
7.8	Referências Bibliográficas.....	206

Capítulo 8 **Monitoramento de Áreas Recuperadas ou em Recuperação**

Guilherme Montandon Chaer

8.1	Introdução.....	212
8.2	Índices de Qualidade do Solo.....	213
8.3	Ordenações Multivariada.....	218
8.4	Considerações Finais.....	225
8.5	Referências Bibliográficas.....	226

Capítulo 1

ÁREAS DEGRADADAS: CONCEITOS E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Sílvio Roberto de Lucena Tavares

1.1. INTRODUÇÃO

Segundo o Banco Mundial, os solos agrícolas do mundo vêm se degradando a uma taxa de 0,1% ao ano, dados que corroboram com os estabelecidos pela FAO, que apontam a perda de cinco milhões de hectares de terras aráveis por ano devido a más práticas agrícolas, secas e pressão populacional, além de inúmeras ações antrópicas de exploração inadequada dos recursos naturais englobando o compartimento solo.

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), através do GLSOD (Global Assessment of Soil Degradation – Projeto de Avaliação Mundial da Degradação do Solo), registrou que 15% dos solos do planeta (aproximadamente 20 bilhões de ha) uma área do tamanho dos Estados Unidos e Canadá junto, estão classificados como degradados devido às atividades humanas. Do total desta área degradada, 5% encontram-se na América do Norte, 12% na Oceania, 14% na América do Sul, 17% na África, 18% na Ásia, 21% na América Central e 13% na Europa. Se considerarmos as áreas inabitadas do mundo, o percentual de solos degradados no planeta sobe de 15% para 24% (OLDEMAN, 1994). O maior problema que reside nestas constatações é que a maioria destes solos degradados ou em processo de degradação está nos países menos desenvolvidos. Estima-se que 39% da população da Ásia (1,3 bilhão de pessoas) vivam em áreas com tendências para desertificação, na África, 65% dos solos agrícolas estão degradados e na América Latina e Caribe, o

mau uso de produtos químicos e erosão degradaram 300 milhões de ha. Na Europa, dados de 2002 publicados pela Comissão Européia, estabelecem que 52 milhões de ha (16% da área agrícola total), estão afetados por algum processo de degradação (salinização, erosão, desertificação, ou excesso de urbanização).

Essa degradação ameaça a fertilidade das terras e a qualidade das águas. O solo perde a sua funcionalidade e o equilíbrio ecológico em geral. O problema é potencializado quando se leva em conta que a resiliência natural de determinadas propriedades solo é muito lenta. Estima-se sob um clima úmido, que são necessários cerca de 500 anos para que se formem uma camada de solo de 2,5 cm de espessura.

Ainda, segundo o projeto da avaliação mundial da degradação de solo do PNUD (OLDEMAN, 1994), 5 são os principais fatores de degradação dos solos listados a seguir (com os seus percentuais de participações nas áreas mundiais degradadas):

- 1) Desmatamento ou remoção da vegetação natural para fins de agricultura, florestas comerciais, construção de estradas e urbanização (29,4%);
- 2) Superpastejo da vegetação (34,5%);
- 3) Atividades agrícolas, incluindo ampla variedade de práticas agrícolas, como o uso insuficiente ou excessivo de fertilizantes, uso de água de irrigação de baixa qualidade, uso inapropriado de máquinas agrícolas e ausência de práticas conservacionistas de solo (28,1%);
- 4) Exploração intensiva da vegetação para fins domésticos, como combustíveis, cercas, etc., expondo o solo à ação dos agentes erosivos (6,8%); e
- 5) Atividades industriais ou bioindustriais que causam poluição do solo (1,2%).

No continente Sul Americano, segundo o GLSOD, tem-se 244 milhões de ha de solo degradado, sendo o desmatamento responsável por 41%, o superpastejo por 27,9%, as atividades agrícolas por 26,2%, a exploração intensa da vegetação por 4,9%. Os dados relativos de solos degradados na América do Sul em decorrência das atividades industriais são ínfimos por dois motivos: falta de levantamento sistemático e global no continente de sites contaminados e/ou degradados pelos processos industriais e a baixíssima industrialização dos países do continente quando comparado aos países desenvolvidos e industrializados. No Brasil não existe até o momento nenhum estudo conclusivo quanto a quantidade e distribuição dos solos degradados em escala nacional.

É importante ressaltar, que independente da ausência de avaliações exatas a respeito da extensão de áreas degradadas no Brasil, todas as estimativas apontam o desmatamento e as atividades agropecuárias como os principais fatores de degradação dos nossos solos. O impacto causado por obras de engenharia (estradas, ferrovias, barragens, etc.), por atividades de mineração a céu aberto e por algumas atividades indústrias, certamente sensibiliza a população de modo geral, que tende a atribuir a esses fatores a responsabilidade maior pela degradação dos solos. Essa impressão é plenamente justificável, uma vez que, são atividades altamente impactantes, pois deve-se lembrar que a degradação não pode ser avaliada apenas pela extensão, mas também por sua intensidade. No caso de impactos causados por atividades mineradoras podem resultar em uma área de influência muito maior que a área de lavra, proporcionando, por exemplo, a degradação de recursos hídricos, que vão refletir em toda a bacia, como é o caso clássico de minerações de carvão a céu aberto, onde a oxidação de sulfetos metálicos que acompanham o minério promove a ocorrência de

drenagem ácida e a solubilização de metais pesados, podendo trazer consequências danosas para uma área de influência muito além da área de lavra. No entanto, ao avaliar a extensão de degradação causada por estas atividades, verifica-se que ela é mínima, principalmente comparando-a ao desmatamento e ao superpastejo nos solos nacionais.

Aliado a essa crescente quantidade de terras agrícolas que estão em processo degradativo, que leva a perdas de produtividade dos sistemas de produção agrícola e a decretação por parte dos organismos internacionais como FAO e FMI, do início da “*Era da alimentos caros*” em virtude de vários fatores, entre eles: estoques mundiais baixos, alto preço do petróleo (que encarece os insumos e incentiva à produção de etanol à base de milho) e demanda crescente (principalmente da China que aumentou o seu consumo anual de cereais de 450 milhões de toneladas em 2001 para 513 milhões de toneladas em 2007 (STEFANO & SALGADO, 2008) e que representa hoje o maior importador de algodão e soja do mundo), além de uma previsão da população mundial para 8,3 bilhões de pessoas em 2030, é de se esperar que as políticas nacionais e internacionais de uso e manejo dos solos sejam direcionadas no caminho da sustentabilidade deste importante ecossistema chamado solo.

A complexidade dos processos de degradação e de recuperação de áreas degradadas deve-se aos inúmeros fenômenos biológicos e físico-químicos envolvidos. Por este motivo, a recuperação de áreas degradadas pode ser conceituada como um conjunto de ações idealizadas e executadas por especialistas das diferentes áreas do conhecimento humano, que visam proporcionar o restabelecimento das condições de equilíbrio e sustentabilidade existentes anteriormente em um sistema natural. O caráter multidisciplinar das ações que visem proporcionar esse retorno deve ser tomado, fundamentalmente, como o ponto de partida do processo. Assim, o envolvimento direto e indireto de técnicos de diferentes especializações permite a abordagem holística que se faz necessária (DIAS & GRIFFITH, 1998). O presente capítulo procura padronizar os termos, conceitos e definições empregados na descrição dos fenômenos de degradação e recuperação de áreas degradadas, visando facilitar aos leitores o entendimento do assunto.

1.2. ÁREA DEGRADADA

O conceito de degradação tem sido geralmente associado aos efeitos ambientais considerados negativos ou adversos e que decorrem principalmente de atividades ou intervenções humanas. Raramente o termo se aplica às alterações decorrentes de fenômenos ou processos naturais. O conceito tem variado segundo a atividade em que esses efeitos são gerados, bem como em função do campo do conhecimento humano em que são identificados e avaliados. De acordo com o uso atribuído ao solo, a definição de degradação pode então variar, como podemos verificar a seguir:

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da sua NBR 10703, a degradação do solo é apontada como sendo a “*alteração adversa das características do solo em relação aos seus diversos usos possíveis, tanto os estabelecidos em planejamento, como os potenciais*”. O conceito contempla o entendimento do solo enquanto espaço geográfico, ou seja, extrapola o sentido de

matéria ou componente predominante abiótico do ambiente. Além disso, ao citar a expressão “*alteração adversa*”, sugere a aproximação com o conceito de efeito ou impacto ambiental considerado negativo. Todavia, em outra norma, a NBR 13030 (específica para mineração), define-se áreas degradadas como “*áreas com diversos graus de alterações dos fatores bióticos e abióticos, causados pelas atividades de mineração*”, mantendo a noção de alteração, porém sem vinculação com o uso do solo.

Já o Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração do IBAMA, define que “*a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e o regime de vazão do sistema hídrico forem alterados. A degradação ambiental ocorre quando há perda de adaptação às características físicas, químicas e biológicas e é inviabilizado o desenvolvimento sócio-econômico*”.

Nas áreas das ciências biológicas e no campo geomorfológico e de paisagismo, são considerados os conceitos de *perturbação* ou *distúrbio*. No caso da área biológica, esses conceitos estão mais ligados aos aspectos relacionados à evolução de ecossistemas, onde essas alterações são resultantes de atividades humanas e que não podem ser corrigidas rapidamente. Essas podem ser divididas em três situações influenciadas pelo caráter temporal: os distúrbios súbitos e inesperados, como os decorrentes de acidentes ou falhas de origem tecnológica em processos industriais; os distúrbios que ocorrem em período de tempo significativo, mesmo que tenham sido detectados apenas recentemente, como os derivados de descargas de efluentes industriais; e os distúrbios planejados, como os de mineração em superfície. Já no campo geomorfológico e de paisagismo, esses conceitos assumem uma perspectiva espacial (“*land disturbance*”), correlacionando-o com os efeitos geomorfológicos produzidos na paisagem por diferentes atividades humanas como mineração em superfície, urbanização, pastagem, agricultura, usos recreativos e construção civil. Reconhecem que muitos desses distúrbios têm importância menor ou são transitórios e que a paisagem pré-existente pode ser recuperada para uma forma aceitável de produtividade e em conformidade com um plano de uso prévio.

Fundamentados em observações do campo agrônomo, LAL *et al.* (1989), diferenciam processos e fatores de degradação do solo. Os primeiros correspondem às ações e interações químicas, físicas e biológicas que afetam a capacidade de auto-depuração do solo e a sua produtividade. Os fatores compreendem os agentes e catalisadores naturais ou induzidos pelo homem, que colocam em movimento os processos e causam alterações nas propriedades do solo e nos seus atributos de sustentação da vida. Entre os processos de degradação induzidos pelo homem citam a compactação, a erosão acelerada, desertificação, salinização, lixiviação e acidificação. Entre os fatores, mencionam a agricultura, indústria e urbanização. Citam que as alterações produzidas pelos processos geram, entre outros aspectos, efeitos negativos sobre a qualidade ambiental, estabelecendo, então, a relação com o conceito de solo enquanto espaço geográfico (“*land*”) e, assim, o sentido amplo de degradação do solo (“*land degradation*”). Ainda no campo agrônomo, a degradação de terras agrícolas deve focar além dos processos de degradação citados acima, também os aspectos econômicos, uma vez que a perda de produtividade pode estar relacionada com a degradação do solo. Desta maneira, POWER & MYERS, citado por DIAS & GRIFFITH (1998), definem a qualidade de um solo como a sua capacidade de manter o crescimento vegetal, o que inclui fatores como agregação, conteúdo de matéria

orgânica, profundidade, capacidade de retenção de água, taxa de infiltração, capacidade tampão de pH, disponibilidade de nutrientes, etc.

Do ponto de vista da Engenharia Civil, certamente o conceito de solo degradado deve estar relacionado com a alteração da capacidade em se manter coeso e como meio físico de suporte para edificações, estradas, por exemplo. A densidade do solo é um atributo que ilustra bem exemplo. Em termos agronômicos, solos adensados ou compactados podem caracterizar um processo de degradação (redução de sua taxa de infiltração, limitação na circulação de oxigênio, impedimento físico para o crescimento das raízes, menor disponibilidade de nutrientes, etc.). Por outro lado, essa característica é desejável como meio de suporte para edificações, ferrovias, rodovias, etc.

Os exemplos citados anteriormente evidenciam o fato de que o conceito de degradação é relativo, embora esteja sempre associado à noção de alteração ambiental adversa gerada, na maioria das vezes, por atividades humanas.

1.3. RECUPERAÇÃO, REABILITAÇÃO E RESTAURAÇÃO

De maneira similar as conceituações de áreas degradadas e degradação, a literatura técnica e os textos da legislação ambiental brasileira em vários níveis também deixam dúvidas e contradições sobre as definições exatas dos termos recuperação, reabilitação e restauração, que em muitos casos são apontados como diferentes, e em outros, como sinônimos. Novamente, pode-se dizer que a literatura é relativamente vasta, com contribuições das diferentes áreas do conhecimento. Observa-se que os termos recuperação, reabilitação e restauração, têm sido usados não apenas nos aspectos que caracterizam suas execuções, mas principalmente em função dos seus objetivos e metas. De modo geral, os termos se referem ao caminho inverso à degradação e é importante para facilitar a comunicação entre os interessados na escolha do processo a ser adotado na área degradada.

1.3.1. Recuperação

A legislação federal brasileira menciona que o objetivo da recuperação é o *“retorno do sítio do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio-ambiente”* (Decreto Federal 97.632/89). Esse decreto vai de encontro ao estabelecido pelo IBAMA, que indica que a *recuperação* significa que o sítio degradado será retornado a uma forma e utilização de acordo com o plano pré-estabelecido para o uso do solo. Implica que uma condição estável será obtida em conformidade com os valores ambientais, estáticos e sociais da circunvizinhança. Significa também, que o sítio degradado terá condições mínimas de estabelecer um novo equilíbrio dinâmico, desenvolvendo um novo solo e uma nova paisagem. Procura sintetizar a definição do processo quando utilizado em Unidades de Conservação, GRIFFITH (1986), definiu recuperação como a reparação dos recursos ao ponto que seja suficiente para restabelecer a composição e a frequência das espécies encontradas originalmente no local.

1.3.2. Reabilitação

Segundo MAJER (1989) a reabilitação é o retorno da área degradada a um estado biológico apropriado. Esse retorno pode não significar o uso produtivo da área a longo prazo, como a implantação de uma atividade que renderá lucro, ou atividades menos tangíveis em termos monetários, visando, por exemplo, a recreação ou a valorização estético-ecológica. Exemplos de reabilitação para fins recreativos é a raia olímpica da Cidade Universitária da USP, instalada em uma antiga área de extração de areia em planície aluvionar do Rio Pinheiros; construção do parque esportivo Cidade de Toronto, instalado em área de antiga extração de areia; Centro Educacional e Recreativo do Butantã, instalado em área de antiga pedreira e o lago do parque Ibirapuera, instalado em antiga cava de extração de areia, todos esses exemplos foram realizados na cidade de São Paulo-SP.

1.3.3. Restauração

O termo restauração refere-se à obrigatoriedade do retorno ao estado original da área, antes da degradação. Esse termo é o mais impróprio a ser utilizado para os processos que normalmente são executados. Por retorno ao estado original entende-se que todos os aspectos relacionados com topografia, vegetação, fauna, solo, hidrologia, etc., apresentem as mesmas características de antes da degradação. Logo, trata-se de um objetivo praticamente inatingível, ou seja, fazer a restauração de um ecossistema, para conseqüentemente recuperar sua função, é técnica e economicamente questionável, embora alguns profissionais que atuam na área ambiental tenham equivocadamente essa meta, torna-se necessária uma nova conscientização dos mesmos sobre a inviabilidade deste processo.

1.4. INTEGRAÇÃO E EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS

Os conceitos de degradação, recuperação e congêneres geralmente são considerados de modo integrado. A perspectiva de classificação das condições de um ecossistema em face das reflexões sobre o desenvolvimento sustentável, segundo a União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN), o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e o Fundo Mundial para a Natureza (WWF), traz uma análise conceitual ampla, identificando primeiramente os sistemas naturais como os *“ecossistemas onde, desde a revolução industrial em 1750, o impacto do homem não foi maior do que o de quaisquer outras espécies nativas, e não afetou a estrutura do mesmo”*. Neste caso, a mudança climática foi excluída da definição, porque as mudanças climáticas causada pelo homem devem afetar todos os ecossistemas e eliminar todos os ecossistemas naturais como definidos aqui (BITTAR, 1997).

A partir deste ponto, a abordagem da UICN define, em seqüência, os sistemas modificados, sistemas cultivados, sistemas construídos e sistemas degradados, sendo estes últimos como os *“ecossistemas cuja diversidade, produtividade e condição para*

habitação foram enormemente reduzidas". A degradação dos ecossistemas da terra é caracterizada por perda de vegetação e de solo; e a dos ecossistemas aquáticos é freqüentemente caracterizada por águas poluídas que podem ser toleradas por poucas espécies. Assim, de acordo com esse conceito, os sistemas degradados são considerados insustentáveis, sendo que, somente a sua *recuperação* ou *reabilitação* permitiria levá-los à condição de potencialmente sustentáveis, situando-se, em seqüência invertida, nas categorias de sistemas construídos, cultivados ou modificados. Negligenciar ou abandonar a área pode levar tanto à recuperação espontânea do ambiente quanto a continuidade e a intensificação do processo de degradação. Ao considerar a associação em relação ao futuro, a abordagem incorpora o conceito de sustentabilidade ambiental à questão da recuperação de áreas degradadas.

Finalmente, é importante ressaltar que apesar de haver distinção por muitos autores e profissionais envolvidos na área ambiental dos conceitos anteriormente discutidos, realizando uma breve análise comparativa entre as diferentes abordagens do tema e suas aplicações às áreas degradadas, pode-se verificar uma evolução dos conceitos ao longo das últimas décadas. De maneira geral, observa-se uma passagem do objetivo amplamente difundido de procurar restabelecer as condições originais do sítio degradado, para a busca de situações em que a estabilidade do ambiente e a sua sustentabilidade sejam garantidas. Além disso, é notável a crescente abordagem de recuperação de áreas degradadas como um processo que deve ser realizado mediante um plano previamente elaborado e com objetivos bem estabelecidos e explicitados.

1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BITTAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo**. 1997. 185p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas, São Paulo, SP.
- DIAS, L. E. & GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: **Recuperação de Áreas Degradadas**, Dias, L. E. & de Mello, J.W. SOBRADE/FINEP, Viçosa, MG. p. 1-7, 1998.
- GRIFFITH, J. J. Recuperação de áreas degradadas em unidades de conservação. Viçosa, MG: UFV, 1986.
- LAL, R., HALL, G. F. & MILLER, F. P. Soil degradation. I Basic processes. In: **Land Degradation & Rehabilitation**, London, v. 1, n. 1, p. 51-69, jul/aug, 1989.
- MAJER, J. D. Fauna studies and land reclamation technology: review of the history and need for such studies. In: **Animals in primary succession: the role of fauna in reclaimed lands**. London: Cambridge University Press, p. 3-33, 1989.
- OLDEMAN, L. R. The global extent of soil degradation. In: Soil Resiliense and sustainable Land Use. GREENLAND, D. J. & SZABOCLS, I (Eds), **Cab International**, Wallingford, UK. p. 99-118. 1994.
- STEFANO, F. & SALGADO, E. O desafio de alimentar 6 bilhões de pessoas. **Revista Exame**. Edição 919, Ano 42 – N. 10, p. 124-131, 2008.

Capítulo 2

FUNDAMENTOS DE MORFOLOGIA, PEDOLOGIA, FÍSICA E QUÍMICOS DO SOLO DE INTERESSE NO PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA

Rodrigo Peçanha Demonte Ferraz

Guilherme Kangussú Donagemma

Celeste Queiroz Rossi

José Carlos Polidoro

2.1. INTRODUÇÃO

O presente Capítulo visa fornecer uma introdução à Ciência do Solo, destacando os conceituais que favorecerão o entendimento dos demais. O significado e a interpretação correta dos principais atributos e propriedades físicas, químicas e mineralógicas do solo, e, como estes se relacionam com a morfologia e o comportamento físico-hídrico e edáfico dos solos também será objeto desse Capítulo. Uma breve caracterização das principais classes de solo de ocorrência em nosso território será feita a partir dos conceitos previamente apresentados.

2.2. SOLOS

2.2.1. Conceitos e Definições

- Coleção de corpos naturais constituídos por parte sólida, líquida e gasosa, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais. Contém matéria viva e podem ser vegetados (EMBRAPA, 1999);
- “O solo é o resultante da interação de cinco fatores ambientais: material de origem, clima, relevo, organismos e tempo” (JENNY, 1941);
- A pedologia é a ciência que estuda a formação do solo, e foi iniciada na Rússia por Dokuchaiev no ano de 1880. Os solos correspondem a camada viva que recobre a superfície da terra, em evolução permanente, por meio da alteração das rochas e de processos pedogenéticos comandados por agentes físicos, biológicos e químicos.

2.2.2. Importância e Função

Recobrando a maior parte das terras emersas, os solos constituem sistemas complexos formados pela interseção da litosfera, biosfera e a atmosfera terrestres. Como componente básico das paisagens, os solos apresentam funções estruturais enquanto suporte físico dos ecossistemas, além de constituir diversas funcionalidades ecológicas, como a produção biológica e a regulação do ciclo hidrológico de superfície. Além disso, constituem um importante meio fixador de carbono e depurador de efluentes, minimizando possíveis impactos ambientais. Do ponto de vista antrópico, são considerados recursos naturais, fonte de matéria-prima para a construção e indústria cerâmica, e, fonte de nutrientes e água para as atividades agrosilvipastoris.

2.3. FORMAÇÃO DE SOLOS

Neste capítulo veremos quais são os fatores ambientais e os processos que concorrem para a formação dos solos. Ou seja, buscar-se-á responder como os solos se formam para que se entenda como eles se tornam sistemas complexos, com diversas características e propriedades das quais dependem as suas funcionalidades.

De forma didática, o assunto será abordado, a princípio, fazendo-se uma breve conceituação e discussão sobre os processos conhecidos como: pedogênese e intemperismo. Depois, serão discutidos os fatores ambientais que condicionam a pedogênese, introduzindo os conceitos de mecanismos de formação de solos e finalizando pela descrição sucinta dos principais processos de formação de solos.

2.3.1. Intemperismo e Formação dos Solos

A formação dos solos ou a gênese dos solos decorre de processos físicos, químicos e biológicos que transformam os materiais parental, mineral ou orgânica, que lhes dão origem, e, recebe o nome de “**pedogênese**” – do prefixo e sufixo gregos: “**pedon**”= solos + “**gênesis**” = criação. Portanto: criação ou **formação dos solos**.

Os processos físico-químicos de desagregação e decomposição mineralógica das rochas encontradas na superfície da crosta terrestre, a partir dos quais tem ocorrência a pedogênese, recebem o nome genérico de “**intemperismo**”. Deve-se ter em mente, no entanto, que o intemperismo e a pedogênese, não formam uma sucessão de fenômenos independentes de dinâmica linear, mas integram um gama de processos de transformação e reorganização de um novo sistema que tende a um estado de equilíbrio com as condições ambientais da superfície terrestre. No decurso da intemperização, as transformações e as neoformações dos minerais que ocorrem no ambiente de formação dos solos são condicionadas por diversos fatores físicos, químicos e biológicos.

2.3.2. Fatores de Formação dos Solos

Os solos, distribuídos na paisagem, através de sua morfologia e atributos químicos, físicos e mineralógicos, refletem as condições ambientais, “históricas”, a que tiveram submetidos durante o processo de desenvolvimento e formação pedogenética. Com este entendimento, JENNY (1941), estudando os fatores ambientais que condicionam a formação dos solos, postulou que a formação dos solos ocorre em função de cinco fatores principais: **material de origem, relevo, clima, tempo e organismos**.

O **clima** e os **organismos** constituem os fatores ativos, pois, provendo energia e matéria, exercem ações modificadoras sobre o **material de origem** que confere a diversidade de constituintes minerais passíveis de transformação, sendo considerado dessa um fator passivo. O **relevo** é considerado um fator controlador, pois, atua como condicionador do fluxo de matéria e energia. O **tempo**, no sentido cronológico, confere a duração em que os processos exercidos pelos fatores ativos, controlados pelo relevo, atuam sobre o material originário, permitindo maior ou menor grau de desenvolvimento (OLIVEIRA *et al.*, 1992).

O **clima** é sem dúvidas um dos fatores que mais exercem influência na formação dos solos, pois, condicionam os fluxos de energia e matéria necessários para os processos de intemperismo e os mecanismos e processos pedogenéticos que ocorrem na formação dos solos. Assim, os solos de regiões cujo clima confere temperaturas médias mais elevadas e farta disponibilidade de água pluvial, tendem a ter maior evolução pedogenética em comparação com os solos de regiões onde o clima apresenta deficiência de umidade (semi-aridez). Maiores volumes de água, infiltrando e percolando através dos perfis dos solos das regiões mais úmidas, promovem a hidratação dos constituintes e favorece a remoção de cátions liberados dos minerais por hidrólise acelerando os processos de transformação dos solos (OLIVEIRA *et al.*,

1992). Além da hidratação e hidrólise, a solução do solo é responsável por outros processos como a dissolução, oxidação e redução que atuam na transformação dos minerais do material parental. Com efeito, o volume de água que percola o perfil é responsável pelo transporte seletivo de elementos liberados dos compostos neoformados, ou seja, propicia a lixiviação dos solutos e sílica coloidal que podem ser translocados para outros horizontes ou definitivamente removidos do solo em questão. Contrariamente, se a lixiviação do perfil de um solo, em função da pequena disponibilidade de águas pluviais, é incipiente, as reações químicas e os processos físicos descritos são atenuados contribuindo para a preservação ou pouca transformação dos materiais minerais constituintes do solo. Assim em climas úmidos e quentes há uma aceleração dos processos pedogenéticos, tendendo à formação de solos muito intemperizados, evoluídos e profundos, com reação ácida e pobres quimicamente. São solos cuja mineralogia reflete uma predominância de minerais secundários como as argilas (caulinita) e óxidos de ferro e alumínio. Por outro lado, sob condições de clima com escassez de umidade ocorre uma atenuação da intensidade dos processos de transformação do material constitutivo, favorecendo a formação de solos pouco evoluídos, rasos ou pouco profundos, cascalhentos e/ou pedregosos, ricos em minerais primários pouco alterados ou com argila de elevada atividade coloidal. Podem ainda apresentar relativa riqueza química, pouca acidez ou ligeira alcalinidade e alta salinidade. Em síntese, pode-se deduzir que a variabilidade espacial e temporal do clima, considerando as diferentes condições de fornecimento de água e energia, exerce destacada influência na formação dos solos condicionado o grau de evolução pedogenética dos mesmos.

Outro fator considerado ativo, os **organismos vivos** (vegetação; microorganismos e mesofauna edáfica) também tem relevante papel na formação do solos, sobretudo pelos processos de adição de compostos orgânicos. Têm, também, efetiva ação de complexação de compostos químicos favorecendo translocações seletivas internas no perfil do solo. A atividade metabólica da biota do solo altera as condições químicas da solução edáfica e composição do ar do solo, afetando as reações de oxiredução e carbonatação, e, condicionando a solubilização dos compostos químicos inorgânicos derivados dos minerais das rochas. Atuam, ainda na mineralização da matéria orgânica e tem essencial influência na reciclagem de nutrientes (OLIVEIRA et al., 1992).

O **relevo**, por sua vez, é considerado um fator de controle, pois, sua ação se reflete sobre a dinâmica da água, tanto no sentido de infiltração e percolação dentro do perfil de solo quanto no controle da erosão pelo deflúvio pluvial. Ou seja, o relevo controla a partição da água que escorre superficialmente e a que penetra no perfil do solo, possibilitando, em maior ou menor grau, os processos descritos e discutidos anteriormente. Além disso, o relevo condiciona a orientação das encostas em relação ao posicionamento do sol, determinando uma incidência diferencial da radiação solar. Dentro de uma perspectiva regional, o relevo também exerce forte influência no clima, notadamente na temperatura e regime pluviométrico que, como vimos, são fatores importantes no processo de formação dos solos.

A natureza constitutiva do **material de origem**, de composição mineral ou orgânica, apresenta determinante influência nos resultados dos processos formação de solos, constituindo-se em um fator dos mais relevantes. Os materiais de origem são

provenientes do substrato rochoso ou sedimentos cuja natureza mineralógica influencia os processos de meteorização e intemperismo, conferindo a diversidade material da qual derivam os diversos tipos de solos. A natureza química e o grau de resistência das rochas e dos minerais aos processos intempéricos, relacionados a um determinado clima, em um dado período de tempo, determinam não somente o grau de transformação e evolução de um solo como também a sua riqueza química e disponibilidade de nutrientes. Assim, o material de origem, condiciona a morfologia dos solos, notadamente, deixando sua impressão na textura, na cor e na natureza químico-mineralógica dos constituintes minerais de um solo.

Por fim, como último fator, temos o **tempo**, no sentido de duração cronológica. Assim o tempo concorre como fator passivo através do qual os fatores ativos, clima e organismos, controlados pelo relevo, atuando sobre o material parental dão origem aos solos atualmente observados. Cabe mencionar que o grau de evolução de um determinado solo não, necessariamente, se relaciona simplesmente com o tempo cronológico, uma vez que outros fatores podem contribuir, retardando ou acelerando os fatores ativos.

Com efeito, cabe salientar que todos os solos resultam do condicionamento dos processos inerentes aos fatores ambientais em conjunto. Contudo, a importância relativa de cada fator de formação de solo, pode variar para cada tipo de solo. Na tabela 2.1, a seguir, apresenta-se uma síntese dos fatores de formação de solos discutidos neste subcapítulo.

Tabela 2.1. Fatores de Formação dos Solos.

FATORES AMBIENTAIS	TIPO DE FATOR	ATUAÇÃO
CLIMA	Fatores Ativos	Fornecem matéria e energia
ORGANISMOS		
RELEVO	Fator Controlador	Controla o fluxo de matérias: superfície: Erosão profundidade: Infiltração; Lixiviação e Translocação
MATERIAL DE ORIGEM	Fator Passivo	Diversidade do material constituente sobre o qual ocorrerá a pedogênese
TEMPO	Fator Passivo	Determina o tempo cronológico de atuação do processo

2.3.3. Mecanismos de Formação dos Solos

Como foi visto no item anterior, a pedogênese é dependente de fatores ambientais que controlam a formação dos solos na paisagem e que a água que perpassa o sistema, a matéria orgânica que é adicionada e transformada nos solos, bem como os processos de transformação química e de ordem mineralógica aos quais são submetidos o material mineral constituinte dos solos são importantes no contexto de formação dos solos.

Considerando um determinado solo que se encontra em uma dada posição, pode-se distinguir a atmosfera acima e abaixo do lençol freático. Dentro dessa perspectiva pode-se considerar quatro mecanismos básicos de formação dos solos que se referem a dinâmica da matéria que entra (**Adição**), que é transformada (**Transformação**), que é transportada, passando de um horizonte a outro (**Translocação**), ou, é perdida ou removida (**Remoção** ou **Perda**) ao sair do sistema solo considerado.

Deve-se ter em mente que os mecanismos de formação de solo agem de forma combinada em todos os diversos tipos de solo. Entretanto, a exemplo dos fatores de formação de solos a importância relativa dos mecanismos pode variar conforme o clima e a posição que os solos ocupam na paisagem. Por exemplo, ambientes com relevo esbatido ou mais suavizado, com drenagem desimpedida, em clima chuvoso, apresentam solos cujos mecanismos de formação, transformação e perda, predominam sobre os demais, em função da grande quantidade de água que perpassa o sistema. Por outro lado, ambientes de deposição como várzeas ou baixadas mal drenadas em climas úmidos, propiciam a formação de solos cuja gênese se associa a adição de materiais em suspensão, solutos ou matéria orgânica. Nessas mesmas condições, por exemplo, com clima, consideravelmente, mais seco pode haver a formação de solos halomórficos (salinos) a partir da concentração por adição de sais solúveis ou por minimização da perda destes, que se precipitam no perfil do solo. Em encostas com declividade mediana, em clima úmido ou sub-úmido, o mecanismo de translocação pode preponderar sobre os demais dando origem a solos, intermediariamente, desenvolvidos com gradientes texturais, a exemplo dos Argissolos. A tabela 2.2 apresenta uma síntese dos mecanismos de formação de solo.

Tabela 2.2. Mecanismos de formação de solos.

MECANISMOS	ATUAÇÃO
ADIÇÃO	Aporte de material do exterior do perfil ou horizonte do solo.
REMOÇÃO (PERDA)	Remoção de material para fora do perfil. Exemplo: lixiviação.
TRANSFORMAÇÃO	Transformação de material existente no perfil ou horizonte. Mudança da natureza química ou mineralógica. Exemplo: montmorilonita → caulinita.
TRANSLOCAÇÃO	Translocação de material de um horizonte para outro, sem abandonar o perfil. Exemplo: eluviação/iluviação.

2.3.4. Processos de Formação de Solos

Os processos de formação de solos que dizem respeito a condições pedogenéticas específicas onde determinados processos físico-químicos se desenvolvem levando a formação de determinadas classes de solos, horizontes diagnósticos e/ou conferindo caracteres especiais a determinados tipos de solo. A seguir destacaremos apenas alguns dos principais processos que ocorrem em ambientes tropicais.

- **Latolização ou Ferratização:** Consiste em um processo no qual se destaca o intemperismo químico e os mecanismos de transformação e remoção. Constitui assim em uma via de formação de solos na qual processos de hidrólise, oxidação e de lixiviação foram muito intensos ou atuaram durante um longo período de tempo, gerando uma acentuada dessilicação (remoção de sílica coloidal). Desta forma, dependendo do grau da dessilicação, os solos apresentam a fração argila com mineralogia, predominantemente, caulinitica (caulintia) ou oxídica (óxidos de Ferro e Alumínio). São solos muito desenvolvidos, pobres quimicamente, com reação ácida. O perfil geralmente se apresenta profundo e homogêneo sem gradiente textural significativo devido à estabilização dos argilominerais pelos óxidos.
- **Podzolização:** Constitui em um processo, no qual ocorre a dispersão, transporte e deposição de material coloidal inorgânico ou, por vezes, orgânico em associação, que se translocam a partir de um horizonte superior, chamado de horizonte de eluviação, para um outro horizonte subjacente, designado como horizonte de iluviação. Constitui um processo muito comum nas nossas condições tropicais, no qual o mecanismo de translocação é primordial, dando origem a gradientes texturais acentuados no perfil. Este processo é responsável pela formação do horizonte diagnóstico B textural, podendo ainda favorecer o

aparecimento do horizonte E, que é considerado um horizonte de máxima perda de material. Este processo faz referência à gênese de solos antigamente chamados de podzólicos, hoje Argissolos, dentre outras classes que podem apresentar horizonte B textural (EMBRAPA, 2006).

- **Gleização:** Consiste em um processo típico de ambiente no qual ocorre saturação permanente ou temporária de água durante a maior parte do tempo, que impõe condições de redução, havendo então uma redução intensa de Ferro e Manganês. Por outro lado, quando as condições são de excesso de água, falta de oxigênio, as populações de microrganismos aeróbios são substituídas por populações de anaeróbios, com menor eficiência na decomposição de materiais orgânicos gerando o aumento na concentração de agentes complexantes orgânicos. Como os principais agentes pigmentantes são os óxidos e matéria orgânica, os horizontes gleizados ficam com coloração acinzentada que constitui indicativo de drenagem lenta ou impedida.
- **Salinização:** Consiste em um processo típico de regiões semiáridas ou com estação seca muito pronunciada, onde ocorre uma acumulação de sais solúveis que por aumento de concentração se precipitam no perfil. Os sais solúveis são carregados pela água de áreas adjacentes ou ascendem por capilaridade e a água subindo pelo perfil, evapora, depositando os sais em superfície. Analiticamente podemos caracterizar este processo quando a condutividade elétrica do extrato é maior ou igual a 4dS/m, além da necessidade de análise quantitativa dos sais presentes (Definição de caráter salino; EMBRAPA, 2006).
- **Sodificação ou Solinização:** É um processo que resulta em uma expressiva saturação da CTC por sódio. De forma diferente da salinização, onde a presença de outros íons não desestabiliza a estrutura, o excesso de sódio dispersa os argilominerais gerando um horizonte diagnóstico característico, com gradiente textural, impermeável, designado como B nátrico. Este processo é caracterizado por saturação de sódio no complexo de troca maior ou igual a 15% e (Definição de caráter sódico; EMBRAPA, 2006).

Existem ainda muitos outros processos de formação de solos ou que conferem caracteres específicos: laterização, carbonatação, ferrólise paludização, pedoturbação; mas por se tratar de um texto introdutório, e estes serem facilmente encontrados na literatura especializada, não houve a preocupação em abordá-los.

Por fim, para concluir, vê-se que os fenômenos que concorrem para a formação dos solos podem ser divididos em fatores, mecanismos e processos de formação pedogenéticos. Contudo de maneira alguma deve-se ter o entendimento equivocado que constituem processos independentes ou, necessariamente, excludentes visto que a atuação conjunta dos fatores ambientais, condicionando os processos específicos que ocorre por meio dos mecanismos descritos, é que ocorre a diferenciação dos horizontes com características distintas que configura a base para a descrição morfológica dos solos, como adiante será apresentado. Assim, as classes de solo

decorrem da apreciação das similaridades da caracterização morfológica e dos processos genéticos envolvidos.

2.4. MORFOLOGIA E PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS

Apesar de em muitos textos especializados sobre o assunto não haver distinção entre as expressões “atributos” e “propriedades”, no presente texto, adotar-se-á uma distinção conceitual, considerando atributo como uma característica intrínseca e propriedade como uma característica comportamental. Assim, por exemplo: a porosidade é um atributo físico e a permeabilidade é uma propriedade; a saturação de alumínio é um atributo químico, a acidez é uma propriedade. Os atributos morfológicos, por sua vez, são aqueles que se expressam fisicamente e podem ser observados no exame da morfologia do perfil do solo. Assim características como a cor, textura ou estrutura são atributos físicos e morfológicos passíveis de serem verificados na observação de campo. Faz-se importante a compreensão que a morfologia de um solo, na verdade, consiste na expressão resultante de todos os atributos quer sejam eles de natureza física, química ou mineralógica, sendo, portanto, passíveis de serem inferidas pelo estudo da morfologia do solo. Contudo, existem atributos e propriedades que necessitam de procedimentos analíticos de laboratório para serem verificados, confirmados e quantificados.

2.4.1. Componentes e Fases dos Solos

Caracterizados como meios porosos, os solos constituem sistemas físicos que apresentam três fases distintas: uma fase sólida composta de material mineral e orgânico; uma fase líquida que se refere à água do solo ou solução do solo; e, uma fase gasosa que compõem o ar do solo.

A fase sólida formada de matéria inorgânica e orgânica é chamada de matriz do solo. Como veremos adiante a porção mineral do solo é constituída de partículas de dimensões variadas, chamadas de frações granulométricas, resultantes da desagregação e da decomposição das rochas que deram origem ao solo. Essas partículas inorgânicas possuem natureza mineralógica diversa, podendo ser divididas em minerais primários derivados das rochas por simples fragmentação que, dependendo da resistência ao intemperismo são encontrados em maiores ou menores proporções, e, os minerais secundários que são sintetizados ou neoformados nas condições ambientais de superfície.

A matéria orgânica tem sua origem, principalmente, no acúmulo dos resíduos dos tecidos vegetais, ocorrendo no solo em diferentes estágios de decomposição. Dependendo da natureza dos compostos orgânicos e das condições climáticas e de aeração e drenagem dos solos, diferentes vias de decomposição e estabilização podem sobrevir formando material humificado (ácidos húmicos, flúvicos, hêmicos) e turfoso.

As frações mais grosseiras sem propriedades coloidais (cascalho, areia e silte e parte de fração argila) da matriz sólida do solo é chamada de tessitura esquelética do solo, enquanto o material fino, orgânico ou inorgânico, de tamanho e natureza coloidal

compõem o plasma do solo. O arranjo tridimensional da matriz do solo gera os espaços porosos que em função de suas dimensões são chamados de micro e macroporosidade, ocupados pela água e/ou com ar do solo. O componente líquido, que é a água ou solução do solo, contém gases e sais solúveis em dissolução, cuja concentração e composição química, em um mesmo solo, é variável com as estações do ano, presença ou tipo de vegetação e organismos. O componente gasoso ou ar do solo possui aproximadamente a mesma composição qualitativa do ar atmosférico, entretanto devemos, assinalar as diferenças quantitativas em função dos processos de respiração dos organismos e raízes das plantas que alteram a concentração relativa dos gases atmosféricos. Assim o gás carbônico e oxigênio se encontram no solo em proporções, consideravelmente, superiores e inferiores das concentrações encontradas na atmosfera (KIEHL, 1979).

2.4.2. Perfil do Solo

Chama-se de **perfil** do solo a seção vertical que, partindo da superfície, aprofunda-se até o contato lítico ou rocha intemperizada, mostrando uma série de subseções dispostas paralelamente à superfície do terreno, chamadas de horizontes pedogenéticos que possuem atributos morfológicos resultantes dos efeitos combinados dos processos de formação do solo.

2.4.2.1. Horizontes e Camadas

Os **horizontes** são subseções do perfil do solo, aproximadamente paralelas a superfície do solo, que apresentam características morfológicas e atributos físicos, químicos e mineralógicos suficientemente distintos para individualizá-las segundo critérios morfogenéticos, que estabelecem a base conceitual dos horizontes. É bom lembrar que não, necessariamente, todos os solos possuem todos os horizontes possíveis e que, portanto, o número de horizontes e as especificidades diagnósticas destes, variam de acordo com os diferentes tipos de solo. Cabe ainda assinalar que na ciência da pedologia o termo “**camada**” é distintivo para uma seção do solo que se diferencia das demais em seus atributos morfológicos em função das características do material herdado em contraposição aos horizontes que se diferenciam em função dos processos pedogenéticos. A seguir, serão apresentados os principais horizontes pedogenéticos, segundo LEMOS e SANTOS (1984).

2.4.2.2. Tipos de Horizontes ou Camadas

- **O:** horizonte ou camada orgânica superficial, constituída por detritos vegetais e substâncias húmicas acumuladas na superfície em ambientes bem drenado;

- **H:** horizonte ou camada orgânica, superficial ou não, formada por acumulação de resíduos vegetais depositados sob condições de baixa aeração e saturação de água;
- **A:** horizonte mineral superficial adjacente à camada O ou H, onde ocorre grande atividade biológica e aporte de matéria orgânica o que confere coloração escurecida (melanização). Existem diferentes tipos de horizontes A: A Chernozêmico; A Proeminente; A Húmico; A Moderado; A Antrópico; A Fraco;
- **E:** horizonte mineral resultante de intenso processo de perda (eluviação) de argila, compostos de ferro e alumínio ou matéria orgânica subjacente ao horizonte A;
- **B:** horizonte mineral subjacente aos horizontes A ou E, constituindo o horizonte de maior desenvolvimento pedogenético com maior concentração de compostos de ferro e argilo-minerais e menor quantidade de matéria orgânica do que o horizonte;
- **C:** horizonte mineral com material inconsolidado, pouco afetado por processos pedogenéticos e com características morfológicas herdadas do material parental (material de origem);
- **R:** camada mineral de material consolidado, que constitui substrato rochoso contínuo ou praticamente contínuo;

A Fig. 2.1. apresenta um esquema resumindo os principais tipos de horizontes, incluindo os horizontes de transição que são horizontes intermediários, com características mescladas, entre os horizontes principais.

O, H	O - Camada orgânica pouco ou não decomposta (serrapilheira). H - Horizonte ou camada de constituição orgânica -Hidromorfismo.
A	Horizonte mineral de coloração escura - matéria orgânica.
E	Horizonte mineral de perda - mais claro.
AB ou EB	Horizonte transicional entre A ou E e B.
BA ou BE	Horizonte transicional entre B e A ou E.
B	Horizonte mineral com máxima expressão pedogenética.
BC ou CB	Horizonte transicional entre B e C ou C e B.
C	Horizonte ou camada mineral com pouca pedogênese.
R	Substrato rochoso.

Fig.2.1. Principais horizontes dos solos. **Nota:** Os horizontes de transição recebem como notação as duas letras correspondentes aos horizontes sobrejacente e subjacente, sendo a letra da frente designativa de maior similaridade morfológica.

2.4.2.3. Transição entre Horizontes

A transição dos horizontes refere-se à faixa de transição na separação entre os horizontes e é caracterizada observando-se o seu contraste e topografia. O contraste diz respeito à espessura da faixa de transição e pode ser classificada conforme LEMOS e SANTOS (1984):

- **Abrupta:** quando a linha que separa dois horizontes é traçada em menos de 2,5 cm;
- **Clara:** quando a linha de separação entre dois horizontes é traçada entre 2,5 e 7,5 cm;
- **Gradual:** quando a referida linha é traçada entre 7,5 e 12,5 cm;
- **Difusa:** quando a linha traçada separando ambos os horizontes, ocorre numa faixa superior a 12,5 cm.

A topografia da transição diz respeito à forma em que ocorre a transição entre os horizontes, sendo classificada, conforme a Fig.2.2 abaixo:

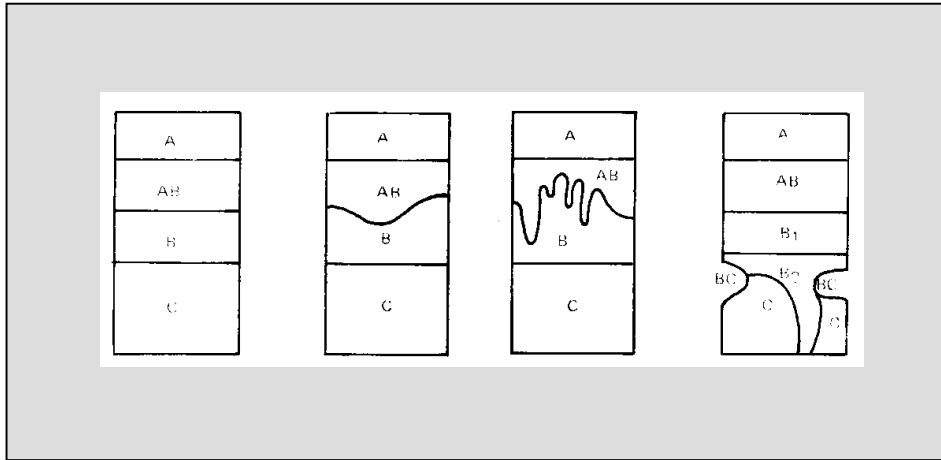


Fig. 2.2. Topografia da transição entre horizontes: (1) transição plana; (2) transição ondulada; (3) transição irregular; (4) transição descontínua.

Fonte: Figura adaptada de LEMOS E SANTOS (1984).

2.5. PROPRIEDADES E ATRIBUTOS FÍSICOS

2.5.1. Cor do Solo

2.5.1.1. Conceito e Definição

A **cor**, por definição, é a sensação visual causada pela reflexão da radiação eletromagnética, na faixa de comprimento de onda do visível (0,4 a 0,7 *mícrons*), que incide sobre um determinado corpo. O solo pode ser considerado uma mistura de partículas minerais e orgânicas que parcialmente absorvem e dispersam a luz incidente (BARRÓN & TORRENT, 1986). Por isso, no caso da cor do solo, deve-se ter em mente, que a cor percebida pela vista humana é resultante do conjunto de raios refletidos pelos diversos materiais minerais e orgânicos com diferentes cores que constituem o referido solo. Além disso, o teor de umidade encontrado no solo e o poder de revestimento e pigmentação de determinados constituintes minerais ou orgânicos, podem influenciar a cor do solo, mascarando a natureza dos constituintes do solo.

2.5.1.2. Significado e Interpretação

A cor é, não apenas, o mais evidente atributo físico observado no exame de um perfil de solo, mas, seguramente, consiste em um dos principais atributos, com valor

diagnóstico, usados para caracterizar e diferenciar os diversos solos. Com efeito, a cor constitui um atributo que é referência obrigatória para a descrição morfológica dos perfis de solo nos vários sistemas de classificação (BARRÓN & TORRENT, 1986). Este fato não se sustenta apenas na evidência de ser um atributo físico facilmente perceptível, mas na constatação que a cor se correlaciona com a maioria das características mineralógicas, físicas e químicas, permitindo estabelecermos inferências a respeito da natureza constitutiva do solo ou sobre as condições químicas as quais os constituintes estiveram ou ainda estão submetidos. É interessante notar que a cor em si, intrinsecamente, tem pouca ou nenhuma implicação com o comportamento do solo do ponto de vista edafológico (OLIVEIRA *et al.*, 1992). Contudo, como a cor consiste em um atributo intimamente relacionado à natureza dos constituintes dos solos e com as condições de formação do solo, o seu conhecimento nos permite fazer considerações a respeito do comportamento químico ou físico do solo em apreciação (OLIVEIRA *et al.*, 1992). Assim, importantes inferências sobre os teores de matéria orgânica, a natureza mineralógica dos solos e das condições de drenagem (oxiredução) dos solos podem derivar da observação da cor dos mesmos. A cor marrom, vermelha ou amarela dos perfis dos solos bem drenados é resultado da presença de óxidos de ferro, em maior ou menor intensidade, ou expressa a combinação desses minerais presentes no material constitutivo dos solos. A cor do solo constitui um indicador da presença de óxidos de Fe, permitindo a estimativa quantitativa destes minerais, além de fornecer informações a respeito das condições pedogenéticas e de outras importantes propriedades do solo (CORNELL & SCHWERTMANN, 1996). Deve-se ter cuidado, no entanto, com o exame dos horizontes mais superficiais, onde a cor pode ser mascarada pelo efeito da matéria orgânica, visto o grande poder pigmentante dos colóides orgânicos, processo este denominado de melanização (CORNELL & SCHWERTMANN, 1996). As condições de má drenagem interna dos solos, intermitente ou permanente, também são facilmente correlacionadas com as cores dos horizontes subsuperficiais, visto que o ferro em condições de redução se apresenta na forma química de Fe^{++} , exibindo cores menos cromadas, conferindo ao perfil cores escurecidas, acinzentadas, azuladas ou oliváceas, distintivas das condições de hidromorfismo ao qual o solo foi submetido (OLIVEIRA *et al.*, 1992).

A cor é um dos principais atributos considerados na classificação dos solos, indicando a riqueza em matéria orgânica e a natureza mineralógica dos óxidos de ferro presentes. No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), a cor tem valor diagnóstico e configura como classe taxonômica no 2º nível categórico (subordem) na distinção de importantes classes de solos, como: os Latossolos; Argissolos e Nitossolos.

2.5.1.3. Determinação da Cor do Solo

A identificação das cores dos solos é feita pela avaliação visual e comparação com uma escala de padrões de cores com o intuito de minimizar a subjetividade, conferindo assim certa uniformização na tomada da informação a respeito das cores dos solos. Assim, seja no campo, ou no laboratório, a determinação da cor é normalmente efetuada pela comparação visual de cores, usando a caderneta de

Munsell de cores para solos (Munsell Soil Color Charts, 1954; citado por OLIVEIRA *et al.*, 1992). Nela constam o **matiz**, o **valor** (ou tonalidade) e o **croma** (ou intensidade). O “matiz” refere-se a gama de cor do espectro solar, ou seja, ao comprimento de onda predominante da luz refletida pelo solo. O matiz é designado por letras (R; YR; Y) que se referem à combinação dos pigmentos vermelho (R), vermelho-amarelo (YR) e amarelo (Y) (do inglês Red e Yellow). Os matizes variam de 5R (100% de vermelho e 0% de amarelo) até 5Y (0% de vermelho e 100% de amarelo). Em casos de solos hidromórficos outros matizes são usados: oliva (GY); verde (G); ciano (BG) e azul (B). O “valor” indica a proporção de preto e de branco, e, o “croma” refere-se à contribuição percentual do matiz em relação ao valor.

Merece menção ainda a ocorrência sob determinadas condições pedogenéticas de cores mescladas, ou seja, perfis que apresentam coloração heterogênea ou policromática, padrão este que recebem o nome de mosqueado ou variegado. O mosqueado ocorre predominantemente em horizontes subsuperficiais e pode estar relacionado a drenagem imperfeita do perfil ou a características herdadas do material de origem. Define-se este padrão observando-se uma cor de fundo predominante com manchas de uma ou mais cores diferentes formando padrões vesiculares. No padrão variegado não há distinção de uma cor de fundo predominante e este padrão está mais relacionado com características herdadas do material de origem. Estes padrões de cores mescladas são descritos no campo na ocasião do exame do perfil e classificados em relação as cores exibidas (carta de Munsell), nitidez do contraste e tamanho das manchas existentes.

2.5.2. Textura do Solo

2.5.2.1. Conceito e Definição

O solo é constituído de partículas minerais de diferentes tamanhos, chamadas de frações granulométricas. A textura do solo consiste na proporção relativa das frações granulométricas existentes em um solo. Ou seja, o quanto se tem de areia, silte e argila em uma amostra de solo.

2.5.2.2. Classificação da Textura

O solo é constituído de partículas minerais de diversos tamanhos que se distribuem de forma contínua, variando desde dimensões coloidais como as argilas, extremamente finas, passando pelas areias até os cascalhos e calhaus que atingem dimensões centimétricas. Entretanto, para fins de determinação quantitativa as diferentes partículas são agrupadas em intervalos dimensionais conhecidos como frações granulométricas. Assim, dentre os vários sistemas existentes de classificação granulométrica, para a ciência do solo no Brasil as frações granulométricas seguem a classificação de Atterberg (OLIVEIRA *et al.*, 1992) que distingue: argila, silte, areia, cascalho, calhau, matacão, cujos intervalos dimensionais estão apresentado na Tabela 2.3

Tabela 2.3. Frações granulométricas do solo (Sistema de Atterberg).

Frações granulométricas	Intervalo dimensional
argila	< 0,002 mm
silte	0,002 - 0,05 mm
areia	0,05 - 2 mm
cascalho	2 mm - 2 cm
calhau	2 - 20 cm
matacão	> 20 cm

Fonte: OLIVEIRA *et al.*, 1992.

As classes texturais correspondem a grupos ou categorias nas quais as frações: areia; silte e argila, que compõem a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA); guardam certa proporção entre si e podem ser abstraídas do triângulo de texturas de 13 classes. As classes texturais fazem referência às frações menores ou iguais a 2mm - Terra Fina Seca ao Ar (TFSA)- acrescida de termos designativos de frações mais grosseiras quando presentes na composição da massa do solo. Ex: textura argilosa cascalhenta; textura franco argilosa com cascalhos, etc. Para fins de classificação as classes texturais do triângulo de treze classes são agrupadas em cinco grupamentos texturais, apresentado na Fig. 2.3.

O **grupamento textural** é a reunião de uma ou mais classes de textura, e são usados como classe de solos no 5º nível categórico, conforme descrição lista a seguir (EMBRAPA, 2006):

- **Textura arenosa** - compreende as classes texturais areia e areia franca.
- **Textura média** - compreende classes texturais ou parte delas, tendo na composição granulométrica 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;

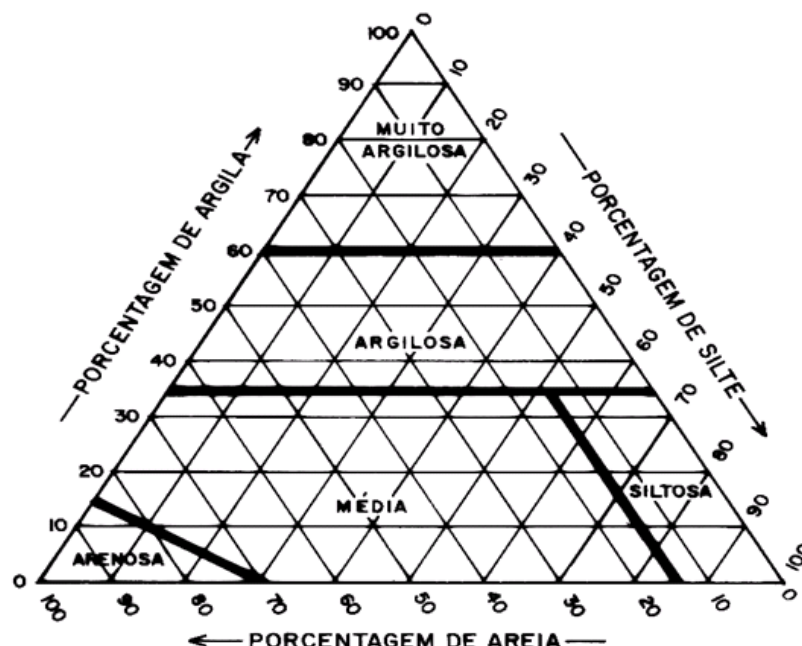


Fig. 2.3. Triângulo de grupamento textural.
Fonte: EMBRAPA, 2006.

O Box 2.1 apresenta de forma resumida a rotina de determinação da textura em laboratório.

Box 2.1.

No laboratório a análise utilizada para determinação da textura é a chamada análise granulométrica. Essa determinação envolve basicamente as seguintes etapas: pré-tratamentos, dispersão, separação e quantificação (RUIZ, 2005).

Os pré-tratamentos normalmente são utilizados para remoção dos agentes cimentantes do solo, no caso dos solos tropicais, basicamente matéria orgânica e óxidos de ferro e alumínio mal cristalizados e remoção de sais solúveis. Os pré-tratamentos na análise de rotina, em geral, não são utilizados por serem muitas vezes demorados e oneram mais a análise granulométrica e em alguns casos não são muito eficazes.

A dispersão constitui na individualização das partículas, uma vez que, solo natural se encontra de um modo geral floculado em maior ou menor grau. Existem dois tipos de dispersão basicamente, física e química. No caso da física as mais comuns são agitação rápida (10.000 a 12.000 rpm) usando coqueteleira e agitação lenta (50 rpm) utilizando agitadores mecânicos (vertical, horizontal, helicoidal entre outros). A dispersão química é feita utilizando dispersantes químicos. No Brasil, os dispersantes mais utilizados são o hidróxido de sódio (NaOH) utilizado para os solos mais intemperizados como Latossolos e Argissolos e o Hexametáfosfato de sódio ($\text{Na}_3\text{P}_6\text{O}_{18}$) para os solos salinos, e solos com presença carbonatos e gesso. Além disso, a mistura desses dispersantes também vem sendo empregada, como no caso do Instituto agrônomo de Campinas, conforme a metodologia da análise granulométrica publicada no Boletim 106 (CAMARGO *et al.* 1986).

A etapa de separação, para as frações grosseiras é por peneiramento e para as frações finas (Silte e Argila) é realizada por sedimentação considerando a lei de Stokes que pode ser encontrada em KHONKE, (1969).

A quantificação da areias é realizada por pesagem e a das frações finas em geral pode ser pelo método da pipeta, com posterior pesagem ou pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1997).

Na rotina dos laboratórios os resultados de análise granulométrica em geral são expressos em areia, silte e argila. Contudo, para pesquisa é comum determinar areia grossa e areia fina.

No caso de solos arenosos pode ser interessante separar a fração areia em cinco frações: Areia

2.5.2.3. Significado e Interpretação

A textura constitui em um dos atributos físicos mais importantes do solo, pois, possui a capacidade de influenciar a maioria dos atributos e propriedades físicos e químicos de um solo. A textura constitui uma característica física que em associação aos teores de matéria orgânica e a composição mineralógica das argilas determina em grande medida o comportamento do solo. Com efeito, as relações volumétricas como macro e microporosidade, superfície específica, e as densidades do solo e das partículas são fortemente influenciadas pela textura dos solos, e, por conseguinte condicionam as propriedades da aeração, infiltração, drenagem, retenção de água, consistência, etc. Contudo, cabe salientar, que em relação a porosidade e densidade do solo a estrutura do solo também apresenta, como será visto mais adiante, forte influência, podendo alterar essas relações em que pese também que o grau de desenvolvimento da estrutura também é bastante influenciado pela textura dos solos. Do ponto de vista químico, como a textura determina o conteúdo de plasma coloidal, influencia os processos de capacidade de troca catiônica, fixação de fósforo, absorção de água e de nutrientes, dentre outros.

A textura é um atributo físico que pode apresentar ou não grande variação ao longo do perfil ou, entre diversas classes de solos distribuídos na paisagem, entretanto, é o atributo que menos sofre alteração ao longo do tempo, a não ser em casos extremos de degradação dos solos, como fenômenos erosivos ou retirada ou adição de materiais terrosos por ação antrópica.

Sua importância para a compreensão do comportamento físico, hídrico e químico dos solos é muito grande com implicações diretas no manejo de solos no tocante as condições de suporte a vida vegetal como também para a correta interpretação da vulnerabilidade dos solos aos processos de degradação e/ou erosão. Assim, relações com a aeração, a retenção e disponibilização de nutrientes para os vegetais (fertilidade), a taxa de infiltração de água, a capacidade de retenção de água, consistência e facilidade de mecanização, a drenagem profunda, etc. são derivadas a partir da inferência da textura.

Para o estudo da morfológica do solo, a determinação da textura dos horizontes também assume grande relevância, não somente por seu valor como característica distintiva entre horizontes e ou camadas, mas também por suas relações com outros atributos descritivos e analíticos que se expressam na morfologia. Por isso, para fins de classificação de solos a textura constitui um atributo diagnóstico importante, muito embora, no primeiro nível categórico sua aplicação se resume apenas à distinção de determinados limites que definem determinadas classes pedológicas. Entretanto, em nível categórico mais baixo a textura é utilizada para discriminar subdivisões de diversas classes. Solos com texturas variáveis recebem uma designação binária; Ex: Textura média/Argilosa;/ arenosa/muito argilosa. E solos com proporções significativas de fragmentos grosseiros (diâmetro maior que 2mm) recebem além do nome da classe textural, uma designação especial; Ex: com cascalho, cascalhenta ou muito cascalhenta. Devemos dedicar especial atenção aos solos que apresentam variações ou gradientes de textura entre horizontes, visto que horizontes com texturas muito

contrastantes apresentam em relação aos processos de infiltração e permeabilidade diferenças marcantes. Assim solos com textura binária como as citadas a cima apresentam maior vulnerabilidade para a erosão devido as diferenças nas taxas de infiltração entre os horizontes superficial e o subjacente. Esta característica tem valor diagnóstico e recebe o nome de **mudança textural abrupta**, comum em solos com horizonte B textural sobposto a um horizonte A ou E. Outro atributo importante é a **relação silte/Argila**, dado pela razão: %silte/%argila que fornece uma estimativa do grau de transformação dos constituintes minerais de um solo. De forma geral, pode-se deduzir que quanto menor for esta relação mais intemperizado e desenvolvido pedogeneticamente é o solo em questão.

A textura influencia diretamente no escoamento superficial da água, no preparo do solo, na erosão hídrica entre outros. De um modo geral, solos arenosos são considerados mais leves para o preparo de solo, apresentam baixa capacidade de retenção de água, são bem drenados e apresenta elevada susceptibilidade a erosão. Já os argilosos, de um modo geral, apresentam propriedades opostas, são considerados mais pesados para o preparo de solo, apresenta elevada retenção de água e baixa susceptibilidade à erosão.

Os solos com elevada proporção de silte apresentam elevada susceptibilidade a formação de encrostamento superficial (LEMOS, 1996), que é o rearranjo de partículas após exposição direta ao impacto da gota de chuva e ciclos de umedecimento e secagem do solo, dispondo-se em forma de lâmina (RESENDE *et al*, 2002). Esse encrostamento reduz a infiltração de água no solo e dificulta a emergência de plântulas. Nos Latossolos Vermelhos férricos (Latossolos Roxo) do cerrado é comum se observar esse encrostamento (RESENDE *et al*, 2002). Como os Latossolos devido ao seu processo de gênese levam a terem baixas proporções de silte, a hipótese é que a fração argila em elevado grau de floculação está funcionando como silte e areia fina. Em laboratório, comprovou-se que a fração silte dos Latossolos é constituída por micro agregados de argila que resistem ao processo de dispersão empregado pelos métodos de análise granulométrica e ficam com tamanho de silte, esse micro agregados foram denominados Pseudo-silte (DONAGEMMA *et al.*, 2003). Ressalta-se também, que na recuperação de Taludes, o encrostamento do solo dificulta o estabelecimento das sementes de plantas, constituindo dessa forma, um limitador ao sucesso de técnicas como a hidro-semeadura.

2.5.3. Estrutura do Solo

2.5.3.1. Conceito e Definição

Foi visto que os solos são compostos de partículas minerais primárias de vários tamanhos - areia, silte e argila - e material de natureza orgânica em vários estágios de estabilização que, em função de fenômenos físicos, químicos e biológicos, dão origem a partículas secundárias resultantes da aglutinação das partículas primárias, formando agregados. Os agregados, portanto, são compostos por partículas de areia e silte que se mantêm unidas pela ação das argilas e da matéria orgânica que atuam como

agentes cimentantes, formando unidades individualizadas mais ou menos estáveis. Por conseguinte, a matriz sólida dos solos composta, quer seja por partículas simples ou agregados, se estrutura em unidades individualizadas, chamadas de unidades estruturais, que se comportam como porções fisicamente separadas, delimitadas uma das outras por superfícies de fraqueza. Assim sendo, a estrutura do solo consiste na organização ou arranjo tridimensional das partículas sólidos, primárias ou secundárias (agregados) dos solos (OLIVEIRA *et al.*, 1992).

2.5.3.2. Processos de Formação da Estrutura dos Solos

Os processos que induzem a formação da estrutura de um solo podem, a princípio, ser divididos em dois processos básicos, entre aqueles que promovem a aproximação entre as partículas e entre os que concorrem para a estabilização dos agregados por se constituir em agentes cimentantes. Fundamentalmente a aproximação das partículas ocorre através da agregação por floculação de colóides e por processos de expansão-contração das partículas do solo. A estabilização dos agregados, por sua vez, ocorre em função de processos da química coloidal de constituintes orgânicos e minerais. Entretanto, cabe assinalar o caráter complementar desses diversos processos. Assim, desta-se os principais:

- **Agregação por floculação das argilas:** Fenômeno relacionado a neutralização das cargas eletrostáticas das partículas coloidais (argilas) que induz a diminuição da repulsão e aumento da tendência de união entre elas;
- **Expansão-contração:** Processo relacionado ao umedecimento e secagem do solo, provocando expansão e contração da massa do solo e aproximação entre as partículas simples ou agregadas, determinando os planos de fraqueza e as unidades estruturais;
- **Matéria orgânica:** A matéria orgânica do solo (Polissacarídeos, Ac. Húmicos, etc.) possui forte ação cimentante das partículas do solo dando origem a agregados organominerais estáveis;
- **Sistema radicular:** a desidratação e a ação mecânica de compressão do sistema radicular em crescimento tende a “trabalhar” a massa do solo auxiliando na formação da agregação e/ou das unidades estruturais;
- **Organismos:** a ação biológica dos diversos organismos promovem a produção e exudação de compostos orgânicos (vegetais, microrganismos, mesofauna) contribuindo assim para a estabilização dos agregados e formação da estrutura do solo. Notadamente, cita-se a ação mecânica das hifas de fungos e ação das oligoquetas (minhocas) que ingerem a massa do solo para retirar as substâncias orgânicas das quais se alimentam e excretam o solo (coprólitos) com um muco que atua como um agente cimentante;
- **Agentes cimentantes minerais:** O tipo e a quantidade de minerais de argila, presença de cátions no complexo de troca, bem como de óxidos de Fe e Al,

notadamente, goethita, hematita e gibbsita, também exercem forte influência nos processos de agregação e estruturação de solos.

2.5.3.3. Classificação da Estrutura dos Solos

A classificação da estrutura dos solos mais difundida e adotada para fins de descrição morfológica dos perfis de solo no Brasil, deriva dos critérios do *Soil Survey Manual* (ESTADOS UNIDOS, 1951 citado por OLIVEIRA *et al.*, 1992) que constitui na avaliação da **forma, tamanho e grau de desenvolvimento** das unidades estruturais. A forma define o que se chama **Tipo** de estrutura, enquanto que o tamanho e o grau de desenvolvimento são definidos como **Classe** e **Grau** da estrutura, respectivamente. A estrutura pode ainda ser definida como macroestrutura e microestrutura e os seus limites são arbitrários e se baseiam na possibilidade de observação das estruturas à vista desarmada. Contudo, cabe salientar que no estudo morfológico de campo o que é avaliado é a macroestrutura, a partir dos critérios a seguir apresentados:

Tipos de estrutura: Reconhecem-se quatro tipos fundamentais de estrutura (Fig. 2.4):

- **Laminar:** As partículas sólidas se dispõem segundo um plano, horizontal, formando unidades estruturais com dimensões horizontais mais desenvolvidas que as verticais (a);
- **Prismática:** As partículas sólidas arranjadas em unidades estruturais cuja dimensão vertical é mais desenvolvida: Podem ocorrer dois subtipos: (ba) Prismática: a porção superior da unidade estrutural é plana; (bb) Colunar: a parte superior da unidade estrutural é arredondada;
- **Blocos:** As partículas sólidas são arranjadas unidades estruturais onde as três dimensões são aproximadamente iguais. Conforme as faces e vértices formados ocorrem dois subtipos: (ca) Blocos angulares: as unidades apresentam faces planas ou ângulos cortantes. (cb) Blocos subangulares: unidades com faces planas, recurvadas ou mistas e com vértices arredondados;
- **Granular:** As partículas sólidas se dispõem em torno de um ponto, formando unidades estruturais de mesma grandeza nas três dimensões com forma esferoidal. Ocorrem dois subtipos: (d) Granular:- as unidades são pouco porosas; (d2) Grumosa: as unidades são muito porosas.

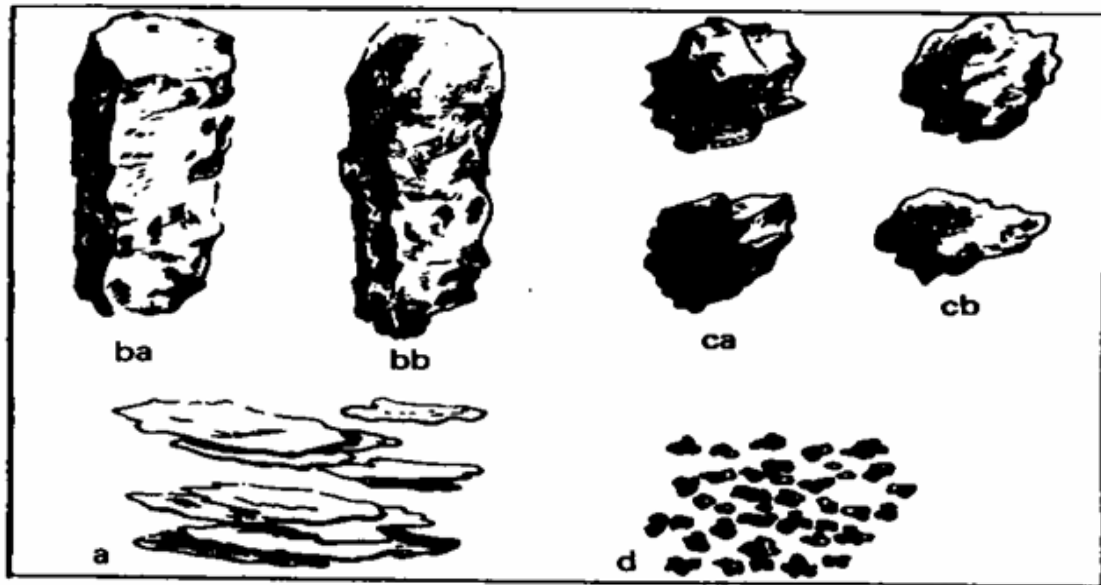


Fig. 2.4. Tipos de estrutura: (a) laminar; (bb) prismática; (ba) colunar; (ca) blocos angulares, (cb) blocos sub angulares; (d) granular.

Fonte: Figura adaptada de EMBRAPA (2006).

Grau da estrutura: O grau da estrutura, diz respeito ao grau de desenvolvimento da estrutura que é decorrente da manifestação das forças que agregam as partículas sólidas primárias e secundárias (agregados) e da intensidade do efeito de cimentação. O grau da estrutura exprime a coesão das partículas na unidade estrutural e a aderência entre estas. No exame de campo, o grau de estrutura é avaliado procurando-se remover as unidades estruturais presentes no horizonte do solo em análise, observando-se a proporção entre o material agregado, unidades estruturais inteiras, e o material não agregado derivado do rompimento das unidades estruturais fracamente coesas. Reconhecem-se quatro graus de estruturação:

- maciça: condição para a qual não se observa agregação entre as partículas sólidas que ocorrem reunidas formando massa compacta;
- grãos simples – quando as partículas sólidas ocorrem soltas, individualizadas;
- Fraco: estrutura pouco desenvolvida, muito material solto ou desagregado com poucas unidades estruturais pouco resistentes;
- Moderado: estrutura bem definida, muitas unidades estruturais moderadamente resistentes e pouco ou nenhum material desagregado;
- Forte: estruturação muito bem definida e evidenciada no perfil do solo, ocorrendo muitas unidades estruturais com praticamente nenhum material desagregado.

Classes de estrutura: A classe de estrutura é determinada em função das dimensões das unidades estruturais. Os limites de tamanho variam segundo a forma e arranjo das unidades estruturais. Assim, as unidades estruturais quer sejam granulares, prismáticas, colunares ou em blocos são classificadas segundo o tamanho em: muito pequena; pequena; média; grande; muito grande. Para mais detalhes e dimensões vide LEMOS e SANTOS (1984).

No Box 2.2. encontra-se comentários sobre a metodologia de laboratório de avaliação do estado de agregação do solo. A partir dessa metodologia, estima-se o Diâmetro Médio Geométrico e Ponderado dos agregados, assim como os Índices de Estabilidade de Agregados do Solo, parâmetros muito utilizados na pesquisa de monitoramento da evolução de práticas de manejo do solo.

Box 2.2.

A estrutura do solo é avaliada no laboratório através da sua estabilidade de agregados utilizando amostras indeformadas. A mesma é realizada via seca ou via úmida. Na avaliação via seca uma definida quantidade de solo indeformado é colocado em jogo de peneiras submetido à agitação com definida rotação e tempo.

No caso da estabilidade de agregados em água a amostra indeformada de solos é colocada em jogo de peneiras e submersa em água segundo uma rotação e tempo definido utilizado o chamado equipamento de YODER (1936).

No método preconizado pela Embrapa os agregados são separados em 5 classes: 4-2mm; 2-1mm; 1-0,5mm; 0,5-0,25mm e < 0,25 mm (EMBRAPA, 1997).

Os resultados são expressos em porcentagem. Também pode-se calcular índices de agregação, os mais comuns são: Diâmetro médio ponderado (DMP), Diâmetro médio geométrico (DMG), Índice de estabilidade de Agregados (IEA). Os cálculos desses índices podem ser encontrados em KEMPERS & ROSENAU, (1986).

Esses índices apresentam em geral, relação estreita com a erosão hídrica, quanto maiores os valores dos índices de agregação maior resistência à erosão hídrica. Essa resistência varia com tipo de solo.

A resistência à erosão segue de um modo geral a seguinte ordem: Solos argilosos oxídicos > Solos argilosos cauliniticos > Solos arenosos.

2.5.3.4. Significado e Interpretação

A estrutura do solo constitui um dos atributos morfológicos mais importantes do ponto de vista pedogenético e a sua observação e correta caracterização permite fazer inferências a respeito da textura, atividade da argila, mineralogia da argila e se aplica na distinção dos horizontes do perfil dos solos. Apesar da sua importância pedogenética, a estrutura é um atributo morfológico pouco empregado como critério diagnóstico diferencial para fins de classificação dos solos (OLIVEIRA *et al.*, 1992).

Por outro lado, do ponto de vista da física de solo, considerando o manejo de solo, a avaliação da estrutura dos diferentes horizontes permite fazer inferências a respeito do comportamento físico-hídrico de um perfil de solo, pois, a estrutura se relaciona com propriedades e atributos tais como: aeração; densidade do solo; resistência mecânica à penetração; infiltração de água, drenagem do perfil, etc. Assim, um solo bem estruturado apresenta uma macroporosidade e aeração adequadas, além de uma boa drenagem do solo o que propicia um bom desenvolvimento radicular. Entretanto, a

estrutura e a porosidade constituem os atributos físicos que mais são alterados em função do mau manejo e uso incorreto dos solos. Assim sendo, a degradação da estrutura ocorre em função do preparo intensivo do solo nos sistemas de plantio convencional e do tráfego intenso de máquinas com umidade inadequada. A retirada ou a queima dos resíduos orgânicos ou a dispersão química dos colóides também tem influência na desestruturação do solo. Como consequências observáveis da degradação da estrutura podemos enumerar a diminuição da porosidade e o aumento da densidade do solo, causando dificuldade de infiltração, drenagem e penetração das raízes. A resistência à desagregação que os agregados apresentam quando submetidos a forças externas (ação implementos agrícolas e impacto gota chuva) ou forças internas (compressão de ar, expansão/contração) que tendem a rompê-los, oferece uma medida da do grau de resistência aos referidos processos de degradação.

2.5.4. Cerosidade

2.5.4.1. Conceito e Definição

Constituem filmes de material inorgânico iluviado, muito fino de natureza coloidal, que se assenta orientadamente revestindo as superfícies dos elementos estruturais conferindo um aspecto lustroso, facilmente reconhecível quando acentuado.

2.5.4.2. Significado e Interpretação

A cerosidade é uma característica morfológica que é usada como critério diagnóstico, para caracterizar o horizonte diagnóstico B textural, pois evidencia um mecanismo de formação de solos conhecido como eluviação -iluviação que constitui na translocação de material coloidal de um horizonte de perda (A e E) para o referido horizonte B textural. Este processo confere as unidades estruturais um brilho ceroso, justificando o nome de cerosidade e se apresenta tanto mais evidente quanto mais intenso for o processo de translocação de material coloidal revestindo as estruturas. É descrito e classificado segundo o seu grau de desenvolvimento, quantidade e distribuição. O desenvolvimento confere a nitidez observada e classificada em: fraca; moderada e forte. A quantidade é classificada como: pouca; comum ou abundante. E, a distribuição pode ser: contínua; descontínua ou fragmentária. O exame de campo pode ser feito a vista desarmada ou com o auxílio de uma lupa de geólogo.

2.5.5. Porosidade

2.5.5.1. Conceito e definição

Porosidade é uma grandeza física dada pelo volume do espaço poroso, construído pelo arranjo dos componentes da parte sólida do solo e que, em condições naturais, é ocupada por água e ar. Apesar da distribuição dos tamanhos dos poros seja uma função contínua, distingue-se, conceitualmente, a **macroporosidade** e a **microporosidade**, como subdivisão da **porosidade total** de um solo. Esta divisão se baseia no fato que a retenção de água ocorre principalmente nos microporos, ficando a macroporosidade responsável pela movimentação da água e do ar. Assim, a definição da porosidade total é dada pela proporção percentual de poros em relação ao volume de solo, e desta as proporções de micro e macroporos, definem a microporosidade e macroporosidade.

2.5.5.2. Significado e Interpretação

Anteriormente foi discutido que os solos constituem-se sistemas com três fases físicas, composto de uma matriz sólida e as fases líquida e gasosa. Assim sendo, a avaliação da composição volumétrica de um solo depende da estimativa das proporções relativas dos volumes ocupados por cada uma das fases mencionadas. No tocante as fases líquida e gasosa, a porosidade do solo apresenta especial importância, posto que, a quantidade, a entrada e a movimentação da fase fluida do solo (água e ar) são por esta condicionadas. Assim, não somente a porosidade total, mas, sobretudo, o conhecimento das proporções de micro e macroporosidade de um solo, são de fundamental relevância para a compreensão do comportamento físico-hídrico do solo e as suas condições edáficas para o adequado desenvolvimento dos vegetais superiores. Muitos estudos foram feitos para verificar a proporção volumétrica ideal entre as fases o solo, o que significa dizer a proporção entre a porosidade (macro e microporosidade) e a matriz sólida do solo, no sentido da condição ideal de aeração e retenção de água para o desenvolvimento das plantas. Apesar de certa divergência, a maioria admite que a composição volumétrica ideal estaria em torno de 50% de porosidade total, sendo 1/3 e 2/3 do volume dos poros divididos em macro e microporosidade, ocupados, teoricamente, com ar e água, respectivamente. Entretanto, cabe assinalar que as fases fluidas, ar e água, são fisicamente excludentes. Ou seja, em condições de saturação de água, esta expulsará o ar ocupando inclusive, total ou parcialmente, a macroporosidade, e, em contraposição, em caso de deficiência hídrica, o ar ocupará um maior volume.

A porosidade de um determinado solo, tanto em sentido de volume total quanto da distribuição da dimensão dos poros, é dependente de muitos atributos físicos, mas, principalmente, podemos destacar o papel da textura e da estrutura dos solos. Assim, a partir do conhecimento da textura e da estruturação do perfil do solo pode-se deduzir relações comportamentais quanto a capacidade de drenagem interna e retenção de água de um perfil, condições de aeração dentre outras. Com efeito, os solos mais arenosos apresentam a tendência de reter menos água, uma vez que a macroporosidade permite a drenagem livre da água infiltrada. Por outro lado, os solos argilosos possuem, relativamente, maior microporosidade, adsorvendo grandes

quantidades de água que, contra a força de gravidade, ficam retidas e se chama água capilar. Contudo é bom saber que apesar dos solos argilosos possuírem maior capacidade de retenção de água que os solos de textura arenosa, nem toda a umidade retida está disponível para as plantas em crescimento. Visto que, solos muito argilosos ou com argilas de alta atividade (OBS: conceito que será discutido em capítulo posterior), podem reter tão fortemente parte da água, que excede a capacidade das plantas de extraí-la. A esta porção de água retida pelos colóides do solo e indisponível para as plantas dá-se o nome de água higroscópica. Por outro lado, muitos solos das regiões tropicais, a exemplo dos Latossolos sob cerrado, apesar dos altos teores de argila apresentados, comportam-se, em termos de retenção de água, de forma similar aos solos arenosos, visto que apresentam argilas de baixa atividade (caulinita e sesquióxidos), com estrutura microgranular que os torna altamente porosos. De qualquer modo, em qualquer situação, a porosidade do solo apresenta íntima correlação com a infiltração, a permeabilidade e a condutividade hidráulica dos solos, propriedades estas que definem o comportamento do solo relativo a drenagem do perfil e a sua capacidade de armazenamento de água, também conhecida como capacidade de campo.

2.5.6. Densidade do Solo (Ds) e das Partículas (Dp)

2.5.6.1. Conceito e definição

Como já vimos, os solos são compostos de diversos minerais e matéria orgânica em diferentes estágios de decomposição, que apresentam, em função da natureza física, densidades diferentes. Faz-se lógico deduzir que, a diversidade dos componentes minerais e orgânicos, bem como a proporção entre estes, existentes em um solo, determinam a densidade do material do solo. Desta forma, define-se a “**densidade das partículas dos solos**” (**Dp**), que é, justamente, expressa pela relação entre a massa e o volume que ocupam as partículas do solo, desconsiderando o volume dos poros. Por outro lado, tem sido discutido que o solo constitui um sistema onde as relações volumétricas são de grande relevância, logo uma outra grandeza extremamente importante é a “**densidade do solo**”, ou seja, a densidade considerando a relação entre a massa e o volume real, considerando os volumes da matriz sólida e da porosidade total. Em outras palavras, é a densidade de uma amostra indeformada de solo, onde se preserva a estrutura e a porosidade real do solo. Assim, a densidade das partículas e densidade do solo são dados por:

$$\text{Densidade do solo } D_s = M/V_s \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$\text{Densidade da partículas } D_p = M/V_p \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Onde: *M* é a massa em gramas; *V_s* volume do solo (Anel volumétrico); *V_p* das partículas (volume do líquido deslocado).

A densidade do solo pode ser estimada por meio de três metodologias (Box 2.3.)

Box 2.3.

Densidade do Solo

o método mais usual é do anel volumétrico ou anel de kopeck (EMBRAPA, 1997), que consistem em utilizar um cilindro de aço com um bixel na sua extremidade inferior e cravá-lo no solo com auxílio de um batedor. Em geral tem sido confeccionado com volume 100 cm³. Obtém-se então a amostra indeformada com volume conhecido. Toma-se em geral o cuidado de vedar a amostra com a tampa ou papel filme para não perder umidade e haver contração do solo. A amostra é levada para o laboratório, retirada do anel e levada pra secar em estufa em definida temperatura e tempo, posteriormente é pesada a massa de solo seco e calculada a densidade do solo conforme a fórmula previamente mostrada.

Outro método que pode ser utilizado é o do torrão parafinado, que consiste em separar um torrão indeformado arredondá-lo com auxílio de uma faca. Pesa-se o torrão seco e, posteriormente, o envolve com parafina (EMBRAPA, 1997). Em seguida, o torrão parafinado é colocado em um becker de volume conhecido e é completado o volume com água. Então se calcula o volume do torrão pela diferença do volume total e o volume aplicado com água, sendo descontado o volume de parafina gasto. Esse método também pode ser feito com a chamada resina Saram. Contudo, torna o método bem mais caro. O método do torrão parafinado é interessante, pois na coleta do solo não tem aplicação de “pancada” como no caso do anel volumétrico. Entretanto, é mais trabalhoso e deve-se ter muito cuidado com o ponto ótimo da parafina para revestir o torrão. Um outro método de se fazer a densidade do solo é o método da proveta (EMBRAPA, 1997). Esse método é utilizado para solos pouco estruturados como arenosos, é realizado com estrutura deformada e dessa forma tem menor precisão.

Densidade de Partícula

A determinação da densidade das partículas normalmente é realizada nos laboratórios pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997). Onde se pesa no balão uma definida quantidade de solo e completa o volume do balão com álcool etílico, e por diferença do volume total e o volume gasto de álcool para completar o volume do balão, obtém-se o volume do solo. Assim, utilizando a massa de solo empregada na análise e dividindo-se pelo volume de solo encontrado obtém-se a densidade das partículas.

2.5.6.2. Significado e Interpretação

Da definição apresentada, pode-se concluir que a densidade das partículas é um atributo cuja variação se relaciona com a natureza intrínseca dos componentes do solo, da textura e da mineralogia das frações granulométricas que derivam da natureza do material de origem. É um atributo, portanto, estável as alterações ocasionadas pelo manejo do solo. Por outro lado, a densidade do solo constitui um atributo naturalmente variável, variando entre solos de classes diferentes em função da sua textura, teores de matéria orgânica, estrutura e mineralogia. Dentro de um mesmo solo, normalmente, a densidade do solo aumenta em profundidade em função do adensamento ocorrido pela pressão exercida pelas camadas superiores sobre as subjacentes e dos mecanismos de eluviação de argila que concorrem para a diminuição da porosidade. Além disso, constitui um atributo significativamente instável, dependente do grau de compactação e de desestruturação causado pelo manejo do solo relacionado ao sistema de cultivo

empregado (KIEHL, 1979). Com efeito, a densidade do solo e a porosidade são atributos altamente correlacionados, e por isso, de acordo com CAMARGO e ALLEONI (1997), a densidade do solo se constitui na medida quantitativa mais direta da compactação do solo. Tanto a porosidade como a densidade do solo são parâmetros que controlam as relações volumétricas entre as fases, água e ar, e indicam as condições para o desenvolvimento e penetração das raízes, servindo de orientação para o manejo do solo. Entretanto, como assinala KIEHL *et al.* (1972), a correta interpretação dos resultados da densidade do solo, outras informações se fazem importantes como a densidade de partículas, a distribuição de macro e microporosidade, teor de matéria orgânica e grau de agregação. Além das avaliações a respeito das alterações na estrutura e porosidade, a densidade do solo é um parâmetro importante para calcular a porosidade total, a massa solo da camada arável e para converter a massa em volume de água. Segundo KIEHL *et al.* (1972), nos solos minerais com a porosidade total varia na faixa de 40 a 60%, e, como a densidade das partículas fica em torno de $2,65 \text{ g/m}^3$, os valores da densidade do solo oscilam entre 1,1 a $1,6 \text{ g/m}^3$.

A densidade das partículas do solo é importante na determinação da textura no laboratório, uma vez que influencia a velocidade de sedimentação das partículas. Nesse sentido é utilizada para calcular o tempo de sedimentação da argila para quantificação da mesma pelo método da pipeta. Nesse sentido, no método da EMBRAPA (1997), utilizam-se à densidade das partículas com valor fixo de 2,65 que é a densidade do quartzo, e considerando que a densidade das partículas do solo em geral esteja próxima a esse valor. Em geral é verdade, porém os solos com maior proporção de óxidos de ferro, sobretudo hematita, apresentam valores de densidade das partículas mais elevados (Tabela 4.5). Dessa forma, a partícula de argila desce a uma velocidade maior do que a de densidade 2,65, podendo levar a erros na determinação da textura desses solos e a não consideração do valor real da densidade das partículas.

Ressalta-se que valores elevados de densidade do solo podem constituir impedimento mecânico para o crescimento de raízes e conseqüentemente do desenvolvimento das plantas. Já existem limites estabelecidos de densidade do solo em solos de acordo com a cultura, que indicam às condições em que a cultura não se desenvolveria ou teria muita dificuldade. Essa informação é muito importante na seleção de espécies para recuperação de áreas degradadas.

2.5.7. Consistência do Solo

2.5.7.1. Conceito e Definição

A consistência do solo diz respeito ao comportamento do material constituinte em função da variação da umidade. Altamente correlacionada com a textura e atividade da fração argila, a consistência ocorre por atuação das forças de adesão e coesão entre as partículas do solo, que variam com o grau de umidade do solo. Assim, podemos observar a consistência para o solo seco, úmido e molhado que determinam,

respectivamente, as propriedades da **dureza** ou **tenacidade**, da **friabilidade** e da **plasticidade** e **pegajosidade**. A pegajosidade e a plasticidade são propriedades relacionadas a aderência e a capacidade do material em ser moldado sob compressão em condições próximas a saturação de água. A tenacidade diz respeito a capacidade de resistência a ruptura do material seco. A friabilidade é o comportamento deste em condições intermediárias de umidade (OLIVEIRA *et al.*, 1992).

2.5.7.2. Significado e Interpretação

A consistência do solo é uma propriedade altamente relacionada com a textura e com o conteúdo e natureza mineralógica dos argilo-minerais.

A avaliação da consistência do solo da forma descrita acima é importante na descrição dos perfis de solo. Além disso, principalmente a consistência úmida nos informa a condição do solo para ser preparado seja com máquinas e implementos agrícolas ou no preparo de covas; assim como a vulnerabilidade a erosão e movimento de massa. Em geral a condição ideal para o preparo do solo é quando está na consistência friável, nessa condição gasta-se menor energia no preparo e menor é o risco de compactação. Essa condição é muito influenciada pela umidade, textura do solo e tipo de argila. Solos arenosos apresentam uma faixa de umidade ótima para trabalho, e os argilosos uma faixa ótima menor. Nesse sentido, é interessante monitorar a umidade ótima para preparo do solo.

2.5.7.3. Curva de Compressibilidade do Solo e Intervalo Hídrico Ótimo

A curva de compressibilidade é obtida pelo ensaio de proctor, submetendo as amostras indeformadas a diferentes pressões com definida umidade. E obtém-se a partir da curva a chamada pressão de pré-consolidação, que é a máxima pressão que solo suporta antes de ter uma deformação que não retorna facilmente num curto espaço de tempo. Essa pressão de pré-consolidação tem sido usada como indicadora da qualidade do solo e para previsão do momento ótimo de umidade para preparar o solo sem que ele compacte. Empresas florestais já têm utilizado no planejamento de colheita dos talhões, visando evitar a compactação do solo, já que a máquina de colheita tem peso muito elevado.

O intervalo hídrico ótimo é um indicador de qualidade do solo que é baseado na resistência a penetração, densidade do solo, e na umidade que mantenha ainda pelo menos 10 % de aeração. Envolve três fatores críticos. Também tem sido utilizado para planejamento do preparo do solo sem que haja a compactação. Nesse indicador é importante considerar a planta se nesse intervalo ótimo de umidade ela consegue produzir ou não, sendo verificado a campo. Ressalta-se que são análises caras e demoradas, contudo estão sendo feitos esforços para relacionar esses parâmetros com indicadores de fácil medida e mais baratos.

2.5.8. Retenção de Água no Solo

2.5.8.1. Conceito e Definição

A retenção de água está ligada à capacidade do solo em reter a água, podendo ser influenciada pela textura e estrutura do solo.

2.5.8.2. Significado e Interpretação

A textura influencia na presença maior ou menor de cargas no solo para reter a água. Solos argilosos apresentam mais cargas que os arenosos, assim retêm maior teor de água. O tipo de argila também influencia: argilas 2:1 apresentam mais cargas e retêm a água com maior energia. Além disso, a estrutura influencia a retenção de água no solo. Solos com estrutura em blocos, para proporção de argila semelhante apresentam maior proporção de microporos que solos com estrutura granular e dessa forma retêm mais água.

O teor de matéria orgânica do solo é outro fator que influencia bastante a retenção de água no solo. A matéria orgânica apresenta elevada capacidade de retenção de água. Solos com elevados teores de matéria orgânica tendem a ter uma capacidade de retenção de água elevada.

Solos compactados retêm água com mais energia e em menor quantidade de modo geral, que solos com estrutura natural.

Para entendimento do desenvolvimento das plantas nos solos é necessário compreender alguns conceitos de retenção de água nos solos, como Capacidade de Campo (CC), Ponto de Murcha Permanente (PM) e Água Disponível (AD). A capacidade de campo é a quantidade de água retida pelo solo após a drenagem ter ocorrido ou cessado em um solo previamente saturado por chuva ou irrigação. O ponto de murcha permanente é o ponto em que a água está retida com elevada energia que a planta não consegue absorver e perde sua turgidez, ou seja, murcha. A água disponível é a água retida entre a capacidade de campo e ponto de murchamento.

A CC varia com o tipo de solo, já o ponto de murcha e a água disponível variam com o tipo de solo e também depende da planta.

No laboratório a determinação da água no solo é feita pela chamada curva característica de retenção de água no solo. O procedimento utilizado é o seguinte: o solo saturado submetido às tensões: 0,01; 0,033; 0,1; 0,5; 1,5 Mp.

O ideal é fazer com amostra indeformada, para elevadas tensões não faria diferença, mas para as baixas faz.

Operacionalmente é definido que a tensão de 0,033 Mp corresponde à capacidade de campo e 1,5 MP ao ponto de murcha permanente. Assim, esses pontos e a água disponível podem ser determinados pela curva característica de retenção de água.

A outra medida da retenção de água no solo é o equivalente de umidade. O equivalente de umidade (EU) é a umidade determinada em resposta ao equilíbrio de amostras saturadas submetidas a definida força centrífuga em um determinado tempo de acordo com o método de análises.

O equivalente de umidade é determinado em amostras peneiradas de solos, previamente saturadas com água, que são submetidas a uma força centrífuga de mil vezes a gravidade, durante 30 min. Essa força, em centrífuga com rotor específico, equivale a um potencial de -33 kPa (CASSEL & NIELSEN, 1986). Em geral é uma determinação fácil de se fazer, rápida e barata. Além disso, em geral, tem uma relação estreita com a capacidade de campo. A quantidade de água retida no solo determinada pelo EU aproxima-se da CC, em solos de regiões temperadas, com presença predominante de argilas de atividade alta (CASSEL & NIELSEN, 1986). Nos solos característicos das regiões tropicais e úmidas, o critério clássico, que fixa o potencial matricial da CC em -33 kPa, deve ser alterado para potenciais maiores, da ordem de -10 a -6 kPa (REICHARDT, 1988).

A determinação da retenção de água no solo é importante para a irrigação, na determinação da lâmina de água. Nesse sentido, solos com baixa retenção de água, de acordo com a cultura, vão necessitar uma lâmina maior e ou menor turno de rega (período de tempo entre uma irrigação e outra).

2.5.9 Componentes Minerais dos Solos

A composição mineralógica do solo constitui um atributo fundamental que influencia a maioria dos fenômenos físicos e químicos que ocorrem no solo (Fig. 2.5). Assim sendo, a composição mineralógica do solo possibilita o entendimento da evolução pedogenética e da morfologia desta decorrente, posto que, os minerais são indicadores dos processos de intemperismo e pedogênese que tem atuado para a formação das paisagens atuais (COELHO & VIDAL-TORRADO, 2003).

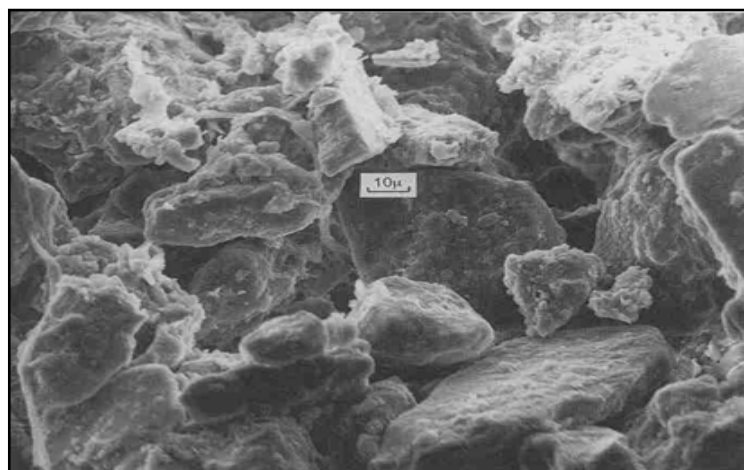


Fig. 2.5. Fotografia por microscopia eletrônica das frações minerais do solo.

Nota: Original photos by J. R. Glasmann, Union Oil Research. Diagram published in Brady, *The Nature and Properties of Soils*, 9th Edition, Macmillan Publishing Co, 1984.

Considerando a mineralogia das frações granulométricas, observaremos que a natureza mineral das frações areia e silte é constituída, em geral, por minerais resistentes ao intemperismo, como quartzo, além de outros minerais primários em quantidades variáveis dependendo da diversidade do material que deu origem ao solo, como olivinas, anfibólios, piroxênios, feldspatos e micas (BUCKMAN & BRADY, 1989). Os minerais primários componentes das frações areia e silte dos solos, principalmente os silicatados, com a exceção do quartzo e da muscovita, podem se intemperizar rapidamente em condições de elevada disponibilidade de água (ANAND e GILKES, 1984), transformando-se em minerais secundários da fração argila. Cabe assinalar, entretanto, que nas areias, sobretudo em solos tropicais, o mineral mais abundante é o quartzo que, além de ser o mineral mais resistente ao intemperismo, é também inerte eletrostaticamente. Por sua vez, o silte em ambientes tropicais, apesar de ser a fração granulométrica encontrada, normalmente, em menores proporções, possui uma natureza mineralogia mais diversa que as areias e pode liberar nutrientes para a solução do solo, constituindo-se em uma reserva mineral, natural, do solo.

Por outro lado, os constituintes minerais mais ativos dos solos são os componentes coloidais da fração argila. A fração argila é constituída, além de traços de minerais primários, por minerais neoformados, de natureza secundária, resultantes dos processos de alteração física e químico-mineralógica (FONTES, 2002). Desta forma a fração argila é composta de minerais secundários denominados de minerais de argila que são silicatos hidratados de alumínio, quando cristalinos, e, alofanitas, quando amorfos KIEHL (1979). Além destes, os óxidos, hidróxidos de ferro, alumínio e titânio constituem importantes minerais da fração argila, pois, representam neoformações secundárias indicadoras de extrema evolução pedogenética. Portanto, a composição mineral das frações mais finas pode ser usada para estabelecer o estágio de intemperização de um solo, em função da espécie mineral na argila e silte (ESSINGTON, 2004). Neste sentido, um parâmetro muito usado em estudos pedológicos que refletem o grau de intemperização, são as relações moleculares referentes a proporção quantitativa média dos constituintes minerais secundários da terra fina seca ao ar (TFSA). Assim, destaca-se o **Índice “Ki”** que expressa a relação molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Como os solos, com o avanço dos processos de intemperismo, tendem a perder sílica (SiO_2) e concentrar óxidos de alumínio (Al_2O_3), quanto menor for o valor do índice “Ki” tanto mais adiantado o estado do intemperismo. O índice ki constitui um critério distintivo de classes de solo, como é o caso dos Latossolos que admitem, como limite superior, um valor máximo de Ki igual a 2,2 (OLIVEIRA *et al.*, 1992).

Os minerais de argila cristalinos são aqueles que apresentam um arranjo atômico tridimensional regular, normalmente, disposto em camadas de lâminas superpostas e estratificadas de forma diversa, cuja estrutura mineral básica consiste em tetraedros de silício ou octaedros de alumínio e magnésio. De maneira resumida, das diversas combinações de lâminas compostas de tetraedros de silício com lâminas de octaedros de alumínio e magnésio, resultam as várias estruturas cristalinas dos diferentes minerais de argila silicatados. Para ciência do solo os mais importantes são os filossilicatos que possuem estrutura laminar estratificada. Da estrutura mineral derivam importantes propriedades como a superfície específica, definida como a área

da superfície por unidade de volume, que confere aos colóides do solo apresentar até mil vezes, aproximadamente, mais superfície de contato que o mesmo volume de frações mais grosseiras como as areias. Além disso, em função de substituições isomórficas que ocorrem nas faces imperfeitas desses minerais, ocorre a geração de cargas negativas ou positivas responsáveis pelo fenômeno de adsorção iônica. Assim as cargas negativas permitem a adsorção de cátions definindo a capacidade de troca catiônica (CTC), e, em contraposição, as cargas positivas conferem ao material capacidade de troca aniônica (CTA) que são importantes propriedades eletroquímicas dos solos responsável pela retenção de bases e nutrientes para as plantas, assunto que será tratado mais adiante. Os minerais de argila podem ser classificados conforme a sua cristalinidade, estrutura e composição química. As argilas amorfas, isto é sem estrutura cristalina, formam o grupo das alofanitas. As argilas cristalinas, usualmente são divididas entre aquelas que possuem duas camadas (grade 1:1), destacando-se os grupos da caulinita (equidimensionais) e da halosita (alongadas), e, aquelas com três camadas (grade 2:1). Dentre estas, algumas, a exemplo do grupo das montmorilonitas, são expansíveis quando permitem adsorção de água entre as suas camadas e, outras, como o grupo das ilitas, que não possuem esta propriedade. Cabe menção ainda as de camadas mistas como o caso das argilas do grupo das cloritas. A caulinita é um mineral de argila muito encontrado nos solos tropicais e como salientado a cima possui grade 1:1 composta de uma camada de sílica e outra de alumínio, não expansível devido as ligações de OH-O entre estas. São argilas muito encontradas em solos de regiões de clima quente e úmido, resultantes da intemperização química de feldspatos sódio-potássicos e micas hidratadas em condições de pronunciada lixiviação de bases. Portanto, em cotejo a outros tipos de argila, possuem baixa retenção de água e de nutrientes devido a sua, relativa, baixa capacidade de troca catiônica. Com menor superfície específica e atividade eletroquímica possuem, menores coesão, dilatação e plasticidade do que a maioria das demais argilas. Com um comportamento contrastante, podemos citar as montmorilonitas, que são minerais de argila com grade 2:1, expansíveis, com lâminas tetraédricas e octaédricas, ambas com substituições isomórficas que lhes conferem grande superfície específica e acentuada capacidade de troca catiônica. Os solos ricos em montmorilonita possuem grande capacidade de dilatação e contração, retenção de água, e, apresentam consistência bastante dura quando secos e expressiva plasticidade e pegajosidade quando molhados. A montmorilonita pode sofrer, determinadas condições ambientais, degradação em sua estrutura cristalina, dando origem a outros tipos de argilas silicatadas, notadamente a caulinita ou, quando há de íons de potássio, a illita (Fig.2.6).

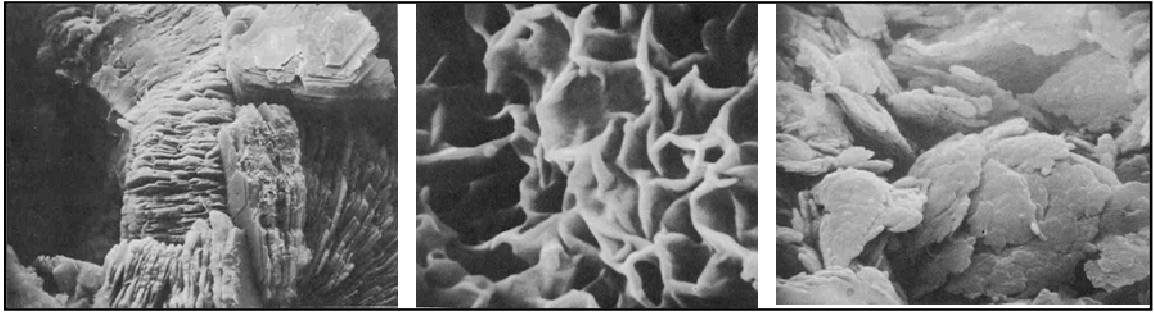


Fig. 2.6. Fotografia por microscopia eletrônica de argilo-minerais, da esquerda para a direita: caulinita; montmorilonita; illita.

Nota: Original photos by J. R. Glasmann, Union Oil Research. Diagram published in Brady, The Nature and Properties of Soils, 9th Edition, Macmillan Publishing Co

Em condições subtropicais e tropicais, o intemperismo de rochas básicas ricas em minerais como olivina, piroxênio e feldspato plagioclásio pode originar solos argilosos com elevado conteúdo em óxidos, hidróxidos e oxi-hidróxidos de ferro e alumínio. Os óxidos, como genericamente são denominados, são minerais não-silicatados que sob a forma de materiais amorfos até minerais altamente cristalizados. A abundância desses minerais secundários nos solos bem como a sua diversidade em grau de cristalinidade confere considerável influência nas propriedades físicas e químicas dos solos.

Compreendendo vários minerais, os óxidos de Fe constituem minerais secundários de grande importância na formação pedogenética dos solos tropicais, notadamente para os solos brasileiros, cujo teor é usado, inclusive, como característica diferencial entre Latossolos (POMBO *et al.*, 1982). Entre os óxidos de ferro dos solos e dos sedimentos podemos destacar a hematita e a goethita como os mais abundantes e comuns (SCHWERTMANN, 1985). A formação desses óxidos de Fe é influenciada pelas condições ambientais, cuja concentração está relacionada com a natureza mineralógica do material de origem, com a intensidade dos processos de intemperização e processos pedogenéticos de acumulação ou remoção. Altas temperaturas favorecem a formação da hematita, enquanto pH baixo, alta umidade e alto carbono orgânico favorecem a formação da goethita KAMPF (1981). Mesmo em concentrações baixas no solo, os óxidos de Fe, podem influenciar, de forma significativa, muitas propriedades e atributos físico-químicos dos solos. Esses minerais têm alto poder de pigmentação, influenciando na coloração dos solos de maneira bem nítida. Típicas dos solos brasileiros, as cores vermelhas, amareladas e intermediárias se devem em grande medida a esses minerais. A Goethita ocorre em quase todos os tipos de solos e regiões climáticas e é responsável pela cor amarelada dos solos. Em solos avermelhados, a goethita, normalmente, encontra-se associada à hematita que é o segundo óxido de ferro mais abundante nos solos. A hematita, mesmo em baixa concentração, possui grande efeito pigmentante tanto maior quanto mais finamente estiver dispersa. Devido ao exposto, desde que se considerarmos o estado de dispersão, a cor do solo constitui um indicador da constituição mineralógica desses solos oxidicos (FONTES, 2002). Além da cor, os óxidos de Fe podem conter microelementos essenciais às plantas e adsorver ânions, principalmente os fosfatos, ou metais pesados devido a sua natureza química e elevada superfície específica, sendo, portanto, de grande importância agrícola e

ambiental. Possuem ainda, os óxidos de Fe, considerável poder cimentante ajudando na formação e estabilização de pequenos agregados típicos desses solos ricos nesses minerais. Os principais óxidos de Fe encontrados nos solos são a hematita ($X\text{-Fe}_2\text{O}_3$), goethita ($X\text{-FeOOH}$), magnetita (Fe_3O_4), maghemita ($X\text{-Fe}_2\text{O}_3$), lepidocrocita ($X\text{-FeOOH}$) e ferridrita ($5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) (Fontes, 2002).

Outros minerais secundários de grande importância são os óxidos de alumínio, como a **gibbsita** ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) cuja ocorrência natural nos solos reflete processos de intensa intemperização originando solos ácidos, formados em clima quente e úmido com alta precipitação e boa drenagem. Apresenta ainda importante na formação de agregados.

2.5.10 Componentes Orgânicos dos Solos

2.5.10.1. Conceito e definição

São aqueles constituídos por materiais orgânicos, originários de resíduos vegetais em diferentes estágios de decomposição, fragmentos de carvão finamente divididos, substâncias húmicas, biomassa meso e microbiana, e outros compostos orgânicos naturalmente presentes no solo, associados a material mineral em proporções variáveis. O material do solo será considerado como orgânico quando o teor de carbono for igual ou maior que 80 g/kg, avaliado na fração TFSA, tendo por base valores de determinação analítica conforme método adotado pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Solos (EMBRAPA, 2006)

2.5.10.2. Significado e interpretação

O conteúdo de matéria orgânica depende além do aporte e natureza da matéria orgânica, de diversas condições ambientais como o clima e as características físico-químicas dos solos como textura, aeração, mineralogia da argila, presença de cátions, pH etc.

Do ponto de vista pedogenético o solo ou horizonte para poder ser considerado orgânico o conteúdo de constituintes orgânicos tem que impor preponderância de suas propriedades sobre os constituintes minerais dos mesmos.

Do ponto de vista do manejo e fertilidade do solo a matéria orgânica e os colóides orgânicos dos solos são de imensa importância para inúmeras propriedades dos solos como: a estabilidade de agregados e estrutura do solo, retenção de água, CTC, reciclagem de nutrientes, dentre outras. A reciclagem de nutrientes e os efeitos da matéria orgânica nos solos serão melhor tratados no capítulo 5 desta apostila.

2.6. PROPRIEDADES E ATRIBUTOS QUÍMICOS

2.6.1 Origem das cargas elétricas no solo

As superfícies das partículas dos solos desenvolvem carga elétrica de duas maneiras principais: (i) através de substituição isomórfica (Cargas Negativas Permanentes) e (ii) através de reações entre os grupos funcionais das superfícies com os íons da solução do solo (Cargas Negativas Variáveis).

2.6.1.1. Cargas Negativas Permanentes

As cargas permanentes são produtos das substituições iônicas isomórficas nas estruturas minerais e sempre se manifestam em qualquer pH dos solos. Esta carga é inerente ao mineral e pode também ser chamada de carga estrutural. As substituições iônicas isomórficas, simplificada e chamadas de substituições isomórficas, ocorrem nos minerais primários, na sua diferenciação magmática, e nos secundários na sua formação no solo ou pela herança de minerais primários. Mas elas produzem carga significativa apenas nos minerais argilosos silicatados do tipo 2:1 e em alguns poucos minerais primários, tipo mica, quando esses atingem tamanho pequeno o suficiente para compor a fração argila dos solos. SMITH & EMERSON (1976) afirmam que a caulinita (argila do tipo 1:1) também possui carga negativa permanente, em adição à carga variável, mas que ela é pequena e de pouca expressão. Teoricamente, a carga permanente pode ser negativa ou positiva, contudo, em função de tamanhos iônicos, a substituição se faz, normalmente, por um elemento de menor valência substituindo o de maior valência ($\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Si}^{4+}$, $\text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Al}^{3+}$), o que leva a um déficit de carga positiva na estrutura cristalina e a manifestação de carga negativa na superfície do colóide (GAST, 1977). TESSENS & ZAUZYAH (1982) postulam a existência de carga permanente positiva em solos altamente intemperizados e relacionam essas cargas à substituição de Fe^{3+} por Ti^{4+} na estrutura dos óxidos de Fe.

2.6.1.2. Cargas Negativas variáveis

Cargas variáveis são aquelas originárias da adsorção de íons na superfície dos colóides do solo, sendo a carga líquida determinada pelo íon que é adsorvido em excesso. Íons capazes de interferir na carga ao serem adsorvidos são chamados íons determinantes de potencial. Como os principais íons determinantes de potencial na solução do solo são H^+ e OH^- , esses colóides são também chamados de colóides de carga dependente do pH. Se levar em consideração que outros íons podem atuar como determinantes de potencial o termo mais genérico colóides de carga variável deve ser preferido (UEHARA & GILLMAN, 1981). Caulinita, goethita, hematita e gibbsita são os principais minerais do solo que apresentam essa característica.

Na matéria orgânica, a carga variável é negativa e têm sua origem na dissociação de hidroxilas e apresentam os seguintes grupos funcionais:

Grupos carboxílicos: $R - \text{COOH} + \text{OH}^- \leftrightarrow R - \text{COO}^- + \text{H}_2\text{O}$; fica uma carga negativa para absorver um cátion.

Grupos fenólicos: $R - \text{OH} + \text{OH}^- \leftrightarrow R - \text{O}^- + \text{H}_2\text{O}$

Grupos alcoólicos: $R - \text{CH}_2\text{OH} + \text{OH}^- \leftrightarrow R - \text{CH}_2\text{O}^- + \text{H}_2\text{O}$

Os grupos carboxílicos são os mais importantes como fontes de cargas negativas, sendo os alcoólicos de menor importância pela baixa capacidade de ionização (SPOSITO, 1989). Essas cargas desenvolvem-se a valores de pH bem mais baixos do que nos óxidos, sendo menos provável a ocorrência de cargas positivas nestes materiais, nas condições de pH do solo. Quanto menor o valor do pH em água as cargas positivas são mais abundantes e o inverso ocorre quando aumenta o valor do pH porque aumenta a quantidade de cargas negativas.

2.6.1.3. Cargas Positivas

As cargas positivas normalmente ocorrem em menor quantidade que as cargas negativas, mas prestam importante função, uma vez que, são responsáveis pela adsorção de ânions (muitos dos quais são nutrientes). São sempre dependentes do pH, aumentando à medida que este diminui. Tem as seguintes origens:

- Superfície de óxidos de Fe e Al.
- Ionização de grupos Al-OH, nas arestas quebradas de argilominerais, ou seja, nas extremidades da camada octaédrica, a baixo pH.
- Matéria orgânica - a matéria orgânica apresenta grupos amínicos (NH_2) que, a baixo pH, podem se ionizar originando cargas positivas.

2.6.2. Ponto de Carga Zero (PCZ)

2.6.2.1. Conceito e Definição

Valor de pH para o qual a carga superficial de um sistema reversível de dupla camada é zero, sendo determinado por um valor particular de atividade dos íons determinantes de potencial na fase sólida. Esta definição foi usada por RAIJ & PEECH (1972), ESPINOZA et al. (1975) e ARNOLD (1977), entre outros, sendo também complementada por LAVERDIÈRE & WEAVER (1977), que acrescentaram que neste ponto o potencial elétrico superficial é também nulo. Entretanto, eles representaram este atributo como pH_{pcz}. HENDERSHOT & LAVKULICH (1978) complementaram que a carga líquida total da fase sólida no PCZ é nula, seja ela oriunda de cargas dependentes de pH, associadas com superfícies de óxidos hidratados, seja da matéria orgânica. De acordo com SPOSITO (1989), a condição do PCZ é obtida experimentalmente no valor de pH nas quais as partículas do solo não se movem num campo elétrico aplicado ou quando ocorre assentamento ou floculação delas. Este ponto aparece quando o valor da densidade de cargas dissociadas é zero ($\sigma_D = 0$). Quando medido eletrocineticamente, ele é igual ao ponto isoelétrico. É bom lembrar

que o PCZ geralmente representa o pH de máxima aglomeração de partículas e o menor potencial de solubilização do mineral (PARKS & DE BRUYN, 1962).

2.6.2.2. Significado e Interpretação

Diferentes minerais do solo apresentam PCZ a diferentes concentrações de H^+ , ou seja, a diferentes valores de pH que variam de pH 2 a 4 para alguns óxidos de Si e Mn até pH 8 a 10 para alguns óxidos de Fe e Al. Por definição os minerais apresentam PCZs baixos ou altos conforme possuam pontos de carga zero a baixo pH (alta atividade de H^+) ou a alto pH (baixa atividade de H^+), respectivamente. A variação dos valores de PCZ dos vários minerais do solo parece depender essencialmente da natureza ácida dos diversos grupamentos OH que aparecem em suas superfícies.

Sistemas de manejo conservacionistas, como o plantio direto caracteriza-se por uma maior adição de ânions orgânicos e inorgânicos no solo, os quais podem aumentar a carga negativa líquida superficial, devido à troca de ligantes, aumentando assim a capacidade do solo em reter cátions. Em solos tropicais, segundo COUTO et al. (1979), este aspecto pode ser de grande importância, devido à naturalmente reduzida capacidade de troca de cátions e as condições de baixos valores de pH, como é o caso de muitos destes solos. Nos solos, os ânions orgânicos reagem adsorvendo-se as superfícies carregadas positivamente e, em menor extensão, aos componentes orgânicos. Estes são importantes no solo por causa de seu envolvimento no ciclo do carbono e como fontes de energia para microrganismos. Por causa de suas propriedades quelantes e acídicas, são importantes para o aumento da disponibilidade de formas insolúveis de nutrientes de plantas, tais como fósforo e íons metálicos (KPOMBLEKOU e TABATAI, 1994).

2.6.3. Complexo Sortivo e Troca Iônica dos Solos

2.6.3.1. Conceito e Definição

Vimos anteriormente, que os solos são constituídos de componentes de origem mineral ou orgânica e que parte desses componentes apresenta natureza coloidal com atividade eletroquímica em função da geração de cargas elétricas negativas e/ou positivas que permitem a absorção e troca iônica. Quando o solo apresenta predominância de cargas eletronegativas temos a capacidade de troca catiônica (CTC) e quando as cargas são positivas o solo apresenta capacidade de troca aniônica (CTA). A este sistema de adsorção e trocas iônicas, dá-se o nome de complexo sortivo, complexo de troca ou permuta iônica, ou simplesmente complexo coloidal do solo.

2.6.3.2. Significado e Interpretação

Diversas propriedades e atributos químicos dos solos derivam do complexo sortivo dos solos que, portanto, se reveste de singular importância para a compreensão das relações de causa e efeito relativas à saturação de bases, acidez do solo, a capacidade de troca iônica, a disponibilidade de nutrientes dentre outras que no decorrer do subcapítulo serão discutidas.

2.6.4. Capacidade de Troca Catiônica –CTC

2.6.4.1. Conceito e Definição

A capacidade de troca catiônica (CTC) constitui um fenômeno relacionado a química de superfície dos colóides minerais (minerais de argila, a sílica coloidal) e orgânicos (húmus), principalmente devida à superfície específica e às cargas eletronegativas inerentes ou acidentais desses colóides. A CTC ocorre em função de uma reação de dupla troca ocorre entre os íons adsorvidos em superfícies diferentes dos constituintes da fase sólida ou entre estes e os que estão em solução na fase líquida de forma instantânea e reversível. Essas relações de troca de cátions do complexo coloidal ou sortivo do solo ocorrem em função de fatores intrínsecos relativos a natureza eletroquímica de cada catiônio. Assim, os principais fatores são a valência, o raio iônico, o estado de hidratação e a concentração do cátion na solução do solo. Então, os catiônios que estão em maior concentração e que apresentam maior valência, raio iônico e menor hidratação, possuem maior poder de desalojar outros cátions adsorvidos na superfície dos colóides do complexo sortivo. Quantidade total de cátions que um solo, ou algum de seus constituintes, pode adsorver e trocar a um pH específico, em geral pH 7,0 (EMBRAPA, 2006).

Desta forma, por definição, a capacidade de troca catiônica (CTC), ou valor T do solo, constitui na soma total de cátions que um solo pode adsorver, sendo expressa em cmol_c/kg de material seco em estufa. Os principais cátions trocáveis são: Ca²⁺; Mg²⁺; K⁺; Na⁺; NH⁴⁺, que são considerados as bases do solo e o Al³⁺ e o H⁺, são responsáveis pela acidez do solo. Calcula-se o valor de do valor T (CTC) pela expressão: $T = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+} + Al^{3+} + H^{+}$, em cmol_c/ kg solo (EMBRAPA, 2006).

2.6.4.2. Significado e Interpretação

O fenômeno de adsorção e troca cátions próprio dos minerais de argilas e da matéria orgânica, ou seja, a capacidade de troca catiônica apresentada pelos colóides do solo, constitui uma das mais importantes propriedades dos solos, justamente, pelo fato de determinar o armazenamento e a disponibilização de elementos nutrientes para as plantas. A CTC se relaciona com muitos atributos físicos, químicos e mineralógicos dos solos, notadamente com a textura, mineralogia da argila, teores de matéria orgânica, etc.

2.6.5. Saturação de Bases do Solo (valor T; S; V% e $Al^{3+}\%$)

2.6.5.1. Conceito e Definição

Refere-se à proporção (taxa percentual, $V\% = 100 \cdot S/T$) de cátions básicos trocáveis em relação à capacidade de troca determinada a pH7. A expressão alta saturação se aplica a solos com saturação por bases igual ou superior a 50% (Eutrófico) e baixa saturação para valores inferiores a 50% (Distrófico) (EMBRAPA, 2006).

2.6.5.2. Significado e Interpretação

Como visto a soma total de cátions que um solo pode adsorver é conhecida como **valor T** representando a soma dos cátions trocáveis: Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; K^+ ; Na^+ ; NH_4^+ ; Al^{3+} e o H^+ , expressa em cmol_e/kg de solo. Vimos também que os cátions Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; K^+ ; Na^+ ; NH_4^+ , são considerados as bases do solo, logo a **saturação de bases (valor S)** é definida como a soma desses cátions expressa em cmol_e/kg de solo, existentes no complexo de troca. O íon amônio, por vezes é desprezado no cálculo do “valor S” devido a sua natureza efêmera no solo. Por fim, a relação percentual da saturação de bases (valor S) no complexo sortivo (valor T) recebe o nome de **valor V**, expresso por $V\% = 100 \cdot S/T$, determinada a pH 7. Ou seja, com outras palavras, a saturação de bases (valor S) refere-se ao total de cátions básicos trocáveis e o valor V refere-se a proporção em relação a capacidade total de troca (valor T) ocupada com as bases. Calcula-se o valor de saturação por bases (V), expressa em porcentagem, dividindo-se a soma de bases (S) pela capacidade de troca de cátions (T ou CTC), ou seja: $100 \cdot S/T$ onde $S = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+$, e $T = S + Al^{3+} + H^+$, em cmol_e/ kg solo.

Em contraposição, a saturação por Al^{3+} se refere à proporção de alumínio trocável em relação a soma e cátions básicos trocáveis mais os teores de alumínio, definida como CTC efetiva, dada pela expressão $Al^{3+}\% = 100 \cdot Al^{3+} / (S + Al^{3+})$. A saturação por alumínio maior que 50% definia a antiga propriedade álica, critério este hoje, segundo EMBRAPA (2006), substituído pelo caráter alítico e aluminico que além da proporção de saturação estipula um valor mínimo de teor de alumínio extraível maior ou igual a 4cmol_e/kg de solo associado a atividade de argila menor e maior ou igual a 20 4cmol_e/kg de solo, respectivamente.

Os valores de saturação por bases (V%) e saturação por alumínio ($Al^{3+}\%$) servem para indicar o potencial nutricional dos solos. Além disso, desta propriedade decorrem dois atributos mutuamente excludentes, chamados de eutrofismo e distrofismo, que constituem critérios diagnósticos importantes para a caracterização e distinção de solos. O solo é dito eutrófico ou com saturação alta de bases, quando o seu valor V for igual ou superior a 50%, e, em contraposição é dito distrófico ou de baixa saturação, quando o valor V for inferior a este limite. Assim, a princípio, solos eutróficos são considerados mais férteis do que os distróficos. Entretanto, cabe salientar que como o valor V é uma relação percentual, devemos ter o cuidado de

verificar a CTC total do solo, ou seja, o Valor T, antes de inferir sobre a real capacidade quantitativa do solo em disponibilizar elementos. Visto que o solo pode ter uma alta proporção de saturação de bases (Valor V), mas apresentar uma capacidade total de retenção troca de cátions muito baixa (valor T). A saturação com alumínio se relaciona a acidez extraível em KCL 1N que virtualmente corresponde ao Al^{3+} na maioria dos solos (OLIVEIRA et al., 1992). Calcula-se o valor da saturação por alumínio ($Al^{3+}\%$), expresso em porcentagem, dividindo-se o valor de Al^{3+} pela soma de bases + Al^{3+} , ou seja: $100 \cdot Al^{3+} / (S + Al^{3+})$.

2.6.6. Atividade da Argila

2.6.6.1. Conceito e Definição

Refere-se à capacidade de troca de cátions correspondente à fração argila, calculada pela expressão: $T \times 1000/g.kg^{-1}$ de argila. Atividade alta (Ta) designa valor igual ou superior a 27 cmol_c/kg de argila, sem correção para carbono e atividade baixa (Tb), valor inferior a 27 cmol_c/kg de argila, sem correção para carbono. Este critério não se aplica aos solos das classes texturais: areia e areia franca (EMBRAPA, 2006).

2.6.6.2. Significado e Interpretação

A atividade de argila constitui um critério distintivo de solos onde alguns solos têm, por definição, apenas argilas de atividade alta ou baixa enquanto outros são indiferentes, aos quais a atividade de argila acrescenta uma repartição da classe. Do ponto de vista de manejo dos solos com argila de atividade alta apresentam maior capacidade de retenção de água e consistência mais dura quando secos e mais plásticos e pegajosos do que os de atividade baixa quando molhados.

2.6.7. Reação do Solo – Acidez do Solo e Calagem

2.6.7.1. Acidez: Conceito e Definição

A acidez do solo pode ser dividida em acidez ativa e acidez potencial. A acidez potencial é dividida em acidez trocável e acidez não trocável. Denomina-se acidez ativa a parte do hidrogênio que está dissociada, ou seja, na solução do solo, na forma de H^+ e é expressa em valores de pH. A acidez trocável refere-se aos íons H^+ e Al^{3+} que estão retidos na superfície dos colóides por forças eletrostáticas. A quantidade de hidrogênio trocável, em condições naturais, parece ser pequena. A acidez não trocável é representada pelo hidrogênio de ligação covalente, associado aos colóides com carga negativa variável e aos compostos de alumínio. A acidez potencial corresponde à soma da acidez trocável e da acidez não trocável do solo. Este assunto será abordado com maiores detalhes no capítulo 5.

2.6.7.2. Significado e Interpretação

A acidez apresenta sérias implicações para o desenvolvimento do sistema radicular e nutrição mineral das plantas. Este assunto será abordado com maiores detalhes no capítulo 5.

Do ponto de vista pedogenético, os solos podem ser naturalmente ácidos ou seja, apresentar acidez devido falta de bases em função da natureza mineralógica dos minerais do material de origem, ou a processos pedogenéticos de formação que favorecem a remoção de elementos básicos como K, Ca, Mg, Na, etc,. Ou seja, a acidificação ocorre devido à remoção de bases da superfície dos colóides do solo. Nos solos tropicais, sob clima quente e úmido, muito desenvolvidos e transformados, onde os mecanismos de remoção atuaram de forma acentuada apresentam a tendência de reação ácida em função justamente da perda de bases e enriquecimento relativo de alumínio. Destaca-se assim dois processos químicos principais que provocam a acidificação do solo. O primeiro ocorre naturalmente pela dissociação do gás carbônico: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$. O H^+ transfere-se então para a fase sólida do solo e libera um cátion trocável, que será lixiviado com o bicarbonato. O outra causa importante da acidificação dos solos reside na hidrólise do alumínio, a qual produz íons H^+ , de acordo com a reação: $\text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$

Em termos de caracterização e classificação de solos as seguintes classes de reação do solo são admitidas: (Tabela 2.4):

Tabela 2.4. Classes de reação do solo.

CLASSES	PH (SOLO/AGUA 1:2,5)
Extremamente ácido	< 4,3
Fortemente ácido	4,3 – 5,3
Moderadamente ácido	5,4 -6,5
Praticamente neutro	6,6 – 7,3
Moderadamente alcalino	7,4 – 8,3
Fortemente alcalino	> 8,3

Fonte: Embrapa, 2006.

2.6.7.3. Calagem: Conceito e Definição

A calagem é a prática mais comumente utilizada para neutralizar a acidez, aumentar a disponibilidade de nutrientes, diminuir o teor de elementos tóxicos, melhorar o ambiente radicular e restaurar a capacidade produtiva dos solos (CAIRES *et al.*, 2005). O calcário, quando misturado ao solo e com água, dissolve-se e o carbonato de cálcio dissocia-se (QUAGGIO, 2000). Os produtos da dissolução do calcário reagem com os colóides do solo e, nessa reação, elevam o pH, os teores de Ca e Mg e a saturação por bases, e diminuem o Al e o Mn trocáveis no solo. Segundo RAIJ *et al.* (1996), a reação do calcário é restrita a uma pequena distância do local da aplicação, assim o benefício máximo é obtido com a aplicação antecipada, distribuição uniforme e

a incorporação profunda. No entanto, a incorporação do calcário ao solo, mediante revolvimento com arações e gradagens, altera as características físicas do solo, diminuindo a porosidade, a distribuição de tamanho e a estabilidade dos agregados, além de destruir os canais resultantes do crescimento radicular e da atividade biológica, o que prejudica a infiltração de água, aumentando o escoamento superficial e facilitando a erosão (HERMANI *et al.*, 1999).

Muitos materiais podem ser utilizados como corretivos da acidez do solo. Os principais são: cal virgem, cal apagada, calcário calcinado, conchas marinhas moídas; cinzas; calcário. Tanto a eficiência como o preço é bastante variado para cada tipo de corretivo.

Corretivos com qualidade baixa são em geral mais baratos, mas em compensação, devem ser usados em quantidades maiores para corrigir a acidez dos solos. O aumento da quantidade também aumenta o custo do transporte até a propriedade, bem como o custo da aplicação por área de terra corrigida. Assim, o custo final da correção da acidez do solo com um corretivo barato, mas de baixa qualidade, pode ser maior do que com um corretivo mais caro, mas de melhor qualidade. Portanto o corretivo mais vantajoso para o agricultor e que deverá ser o escolhido, é aquele que corrige a acidez dos seus solos pelo menor custo. Assim, a qualidade e o custo posto na lavoura são os dois pontos fundamentais que o agricultor deve considerar na escolha do corretivo. A efetividade do corretivo é dada pelo valor do PRNT, ou seja, poder relativo de neutralização total. Quanto maior for o seu PRNT, ou quanto mais próximo de 100 ele for, mais rápido e mais efetivo este corretivo será. Para obtermos os efeitos esperados, o calcário deverá ser aplicado, três meses, ou mais, antes de qualquer cultura para que o corretivo tenha o tempo necessário para neutralizar a acidez do solo com eficácia. A correção da acidez e dos teores tóxicos de Al na subsuperfície pode ser feita com gesso agrícola. O seu uso é recomendado quando na camada subsuperficial (20-40) a saturação por alumínio for superior a 20% e/ou a saturação de cálcio for menor que 60% da CTC efetiva.

2.7. CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS

2.7.1. Sistemas de Classificação de Solos

A despeito de outros sistemas de classificação de solos como Soil Taxonomy ou sistema da WRB/FAO, no presente texto trataremos apenas do Sistema Brasileiro de Classificação de solos (EMBRAPA, 2006). Assim será apresentado as principais unidades taxonômicas e a estrutura geral dos níveis categóricos de classificação.

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS) é um sistema morfogenético, ou seja, consiste em um sistema de classificação baseado na avaliação da morfologia solos, mas, as classes por este definidas, têm base conceitual nos processos pedogenéticos. Por isso a classificação pedológica é realizada a partir da aquisição dos dados morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do perfil do solo. Além disso, os aspectos ambientais como: local do perfil, clima, vegetação, relevo, material originário, condições hídricas e relações solo-paisagem, também são

importantes. Assim se faz necessário realizar a descrição morfológica do perfil e a coleta de material no campo, que devem ser conduzidas conforme critérios estabelecidos nos manuais (Lemos & Santos, 1984). Neste breve estudo, alguns atributos e propriedades físicas, químicas e mineralógicas dos solos que tem relevância para a caracterização morfológica dos solos. Assim apesar de todas as características, relativamente, serem relevantes, alguns atributos e propriedades são particularmente indispensáveis, como a cor, estrutura, cerosidade, consistência e transição. Estas características são indispensáveis para definir horizontes diagnósticos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Assim, com a descrição morfológica e as análises laboratoriais do perfil em apreciação é possível se fazer a classificação definitiva com base nos critérios e níveis categóricos do um Sistema Brasileiro de Classificação de solos (EMBRAPA, 2006).

Os níveis categóricos do sistema de classificação de solos é um conjunto de classes definidas num mesmo nível de generalização, incluindo todos os solos que satisfizerem a determinada definição. Assim, os níveis categóricos previstos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos são: 1º nível categórico (ordens), 2º nível categórico (subordens), 3º nível categórico (grandes grupos), 4º nível categórico (subgrupos), 5º nível categórico (famílias) e 6º nível categórico (séries) (EMBRAPA, 2006). As características usadas para a definição de um nível categórico devem ser propriedades indentificáveis no campo ou que possam ser inferidas de outras propriedades que são reconhecidas no campo. As características diferenciais para os níveis categóricos mais elevados da classificação de solos devem ser propriedades dos solos que resultam diretamente dos processos de gênese do solo ou a estes relacionados.

2.7.2. Classes de Solos do SBCS

A seguir serão apresentados os conceitos segundo EMBRAPA (2006) das 13 classes de solos admitidas no SBCS e encontradas no Brasil.

- **Argissolos:** Compreende solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais à presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alumínico;
- **Cambissolos:** compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, desde que em qualquer dos casos não satisfaçam os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes Vertissolos, Chernossolos, Plintossolos ou Gleissolos. Têm seqüência de horizontes A ou hístico, Bi, C, com ou sem R;
- **Chernossolos:** Compreende solos constituídos por material mineral que têm como características diferenciais à alta saturação por bases e horizonte A chernozêmico sobrejacente a horizonte B textural, ou B incipiente com argila de

atividade alta, ou sobre horizonte C carbonático ou horizonte cálcico, ou ainda sobre a rocha, quando o horizonte A apresentar concentração de carbonato de cálcio;

- **Espodossolos:** Compreende solos constituídos por material mineral com horizonte B espódico subjacente a horizonte eluvial E (álbico ou não), ou subjacente a horizonte A, que pode ser de qualquer tipo, ou ainda, subjacente a horizonte hístico com menos de 40cm de espessura. Apresentam, usualmente, seqüência de horizontes A, E, B espódico, C, com nítida diferenciação de horizontes;
- **Gleissolos:** compreende solos hidromórficos, constituídos por material mineral, que apresentam horizonte glei dentro dos primeiros 150 cm da superfície do solo, imediatamente abaixo de horizontes A ou E (com ou sem gleização), ou de horizonte hístico com menos de 40 cm de espessura; não apresentam textura exclusivamente areia e areia franca em todos os horizontes dentro dos primeiros 150 cm do solo ou até um contato lítico, tampouco horizonte vértico, ou horizonte B textural com mudança textural abrupta acima ou coincidente com horizonte glei ou qualquer outro tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei. Horizonte plíntico, se presente, deve estar à profundidade superior a 200 cm da superfície do solo;
- **Latossolos:** compreende solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto hístico. São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo. Os solos são virtualmente destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo, e têm capacidade de troca de cátions baixa, inferior a 17cmolc/kg de argila sem correção para carbono, comportando variações desde solos predominantemente cauliniticos, com valores de Ki mais altos, em torno de 2,0, admitindo o máximo de 2,2, até solos oxídicos de Ki extremamente baixo;
- **Luvissolos:** compreende solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural com argila de atividade alta e saturação por bases alta, imediatamente abaixo de horizonte A ou horizonte E. Estes solos variam de bem a imperfeitamente drenados, sendo normalmente pouco profundos (60 a 120cm), com seqüência de horizontes A, Bt e C, e nítida diferenciação entre os horizontes;
- **Neossolos:** compreende solos constituídos por material mineral, ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem, como maior resistência ao intemperismo ou composição química, ou dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos;

- **Nitossolos:** compreende solos constituídos por material mineral, com horizonte B nítico, de textura argilosa ou muito argilosa, estrutura em blocos subangulares, angulares ou prismática moderada ou forte, com cerosidade expressiva as superfícies dos agregados;
- **Organossolos:** Compreende solos pouco evoluídos, constituídos por material orgânico de coloração preta, cinzenta muito escura ou brunada, resultantes de acumulação de restos vegetais, em graus variáveis de decomposição, em condições de drenagem restrita (ambientes mal a muito mal drenados), ou em ambientes úmidos de altitudes elevadas, saturados com água por apenas poucos dias durante o período chuvoso;
- **Planossolos:** compreende solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, que geralmente contrasta abruptamente com o horizonte B imediatamente subjacente, adensado, de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta, constituindo, por vezes, um horizonte pã, responsável pela formação de lençol d'água sobreposto (suspenso), de existência periódica e presença variável durante o ano;
- **Plintossolos:** Compreende solos minerais, formados sob condições de restrição à percolação da água, sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, de maneira geral imperfeitamente ou mal drenados, que se caracterizam fundamentalmente por apresentar expressiva plintitização com ou sem petroplintita.
- **Vertissolos:** compreende solos constituídos por material mineral apresentando horizonte vértico e pequena variação textural ao longo do perfil, nunca suficiente para caracterizar um horizonte B textural. Apresentam pronunciadas mudanças de volume com o aumento do teor de umidade no solo, fendas profundas na época seca, e evidências de movimentação da massa do solo, sob a forma de superfície de fricção (slickensides). Podem apresentar microrrelevo tipo gilgai e estruturas do tipo cuneiforme que são inclinadas e formam ângulo com a horizontal. Estas características resultam da grande movimentação da massa do solo que se contrai e fendilha quando seco e se expande quando úmido. São de consistência muito plástica e muito pegajosa, devido à presença de argilas expansíveis ou mistura destas com outros tipos de argilominerais.

2.8. LEVANTAMENTO E MAPEAMENTO DE SOLOS

Os levantamentos de solos têm como objetivo determinar a diversidade e a distribuição espacial dos solos a partir de um sistema uniforme de classificação. Os propósitos da interpretação dos levantamentos de solos são os de recuperar informações específicas para diferentes aplicações. Assim, podemos obter mapas de

profundidade do solo, declividade, textura, disponibilidade de água, deficiência de água, deficiências e disponibilidades nutricionais, distribuição do alumínio, suscetibilidade à erosão, impedimento à mecanização, etc. Dependendo do propósito, da escala e nível de detalhamento, diferentes tipos de levantamento pedológicos podem ser realizados, a saber:

- **Exploratório:** são levantamentos de solo cujos objetivos são obter a avaliação qualitativa dos solos de regiões e pré-avaliações para levantamentos em escalas maiores. Normalmente tem escala de publicação variando entre 1: 750.000 a 1:2.500.000, com área mínima mapeável - 22,5 km² a 250 km²;
- **Reconhecimento (baixa intensidade):** são levantamentos de solo cujos objetivos são obter a estimativa do potencial de solos em estados ou territórios. Normalmente tem escala de publicação variando entre 1: 500.000 a 1: 750.000, com área mínima mapeável - 10 km² a 22,5 km²;
- **Reconhecimento (média intensidade):** são levantamentos de solo cujos objetivos são obter avaliação qualitativa e quantitativa aproximada dos solos visando elaboração de projetos de desenvolvimento agrícola. Normalmente tem escala de publicação variando entre 1: 250.000 a 1: 500.000, com área mínima mapeável entre 2,5 km² a 10 km²;
- **Reconhecimento (alta intensidade):** são levantamentos de solo cujos objetivos são obter a avaliação qualitativa e quantitativa. Normalmente tem escala de publicação variando entre 1:100.000 a 1.250.000, com área mínima mapeável entre 0,4 Km² a 2,5 Km²;
- **Semi-detalhado:** são levantamentos de solo cujos objetivos são informações para o planejamento de áreas para uso potencial agrícola e conservação de solos. Normalmente tem escala de publicação entre 2,5 ha a 40 há;
- **Detalhado:** são levantamentos de solos cujos objetivos são obter informações para projetos conservacionistas, áreas experimentais, uso e manejo de áreas agrícolas, pastoris e florestais intensivos, projeto de irrigação e engenharia. Normalmente tem escala de publicação variando entre 1: 10.000 a 1:25.000, com área mínima mapeável entre 0,4 ha a 2,5 há;
- **Ultra-detalhado:** são levantamentos de solo cujos objetivos são obter informações para determinação de parcelas experimentais e projetos especiais de irrigação. Normalmente tem escala de publicação de 1:10.000, com área mínima mapeável < 0,4 ha.

2.9. APLICAÇÕES DO CONHECIMENTO DE FÍSICA DO SOLO EM RAD

2.9.1. Prevenção da Degradação:

Conforme salientado, o conhecimento de física do solo pode ser usado para verificar o momento adequado em função do teor de água para o preparo do solo evitando assim a degradação da sua estrutura.

Outra aplicação no sentido da prevenção é o uso propriedades físicas norteando o manejo adequado do solo, para conservação do próprio solo e da água. Nesse sentido, solos arenosos em geral, são mais susceptíveis a erosão que argilosos, devendo ter um cuidado maior para não deixar o solo exposto ao impacto direto da gota de chuva.

Para a prevenção da degradação, a avaliação da espessura do horizonte A + B (solum) é bastante importante. De um modo geral, quanto maior a espessura do horizonte A + B maior resistência erosão. Além disso, a avaliação da espessura do horizonte A + B permite verificar onde seria mais adequado passar uma estrada e ajuda a indicar a inclinação adequada de um talude. Nesse sentido quanto menor a espessura do horizonte A + B e maior exposição do horizonte C, maior risco de erosão. Uma vez que o horizonte C é pouco estruturado, e assim tem baixa resistência ao impacto direto da gota da chuva.

2.9.2. Diagnóstico de Áreas Degradadas

No diagnóstico de áreas degradadas pela atividade agrícola, a avaliação da espessura do horizonte A do solo, sobre tudo nas encostas, permite ter uma idéia do grau de degradação do solo. Nessa avaliação, é importante comparar com uma referência a espessura do horizonte A sob a vegetação nativa. Quando a espessura no local avaliado for menor do que na mata está havendo degradação. Existindo casos, onde não há mais horizonte A, que é escuro e se vê o horizonte B, de um modo geral, amarelo, vermelho amarelo ou vermelho.

2.9.3. Selamento Superficial

A avaliação da degradação pode ser feita pela formação de selamento ou encrostamento superficial. O selamento (Fig. 4.12-A e 4.12-B) apresenta espessura de milímetros enquanto o encrostamento (Fig. 4.13) é mais espesso e constitui um grau mais avançado da degradação.



Jaguariúna-SP; (B) Selamento superficial em área de PR.



Fig. 2.7. (A) Selamento superficial em LVdf em empréstimo do aeroporto de Curitiba-PR.

Na figura 4.11-A, observa-se a dificuldade de germinação do milho. Já na figura 11-B, embora haja fonte de propágulo próxima no entorno, as sementes não conseguem se estabelecer. Nesses casos, há necessidade de escarificar a superfície.



Fig. 2.8. Encrostamento superficial no aeroporto de Manaus-AM.

2.9.4. Compactação e Adensamento

A compactação é a redução de volume do solo por ação de pressão externa. Por exemplo, tráfego de máquinas, implementos agrícolas (arado, grade), pressão de casco de animais. A profundidade que ocorre a compactação varia com a causa. A compactação por implementos agrícolas em geral é de acordo com a profundidade de

ação do implemento em geral 20-30 cm. A compactação causada por bovinos em geral é mais superficial, de 5-10 cm.

Com relação ao adensamento do solo, o mesmo é a redução do volume do solo como resultado da sua pedogênese. Existem classes de solo como o Latossolo Amarelo e Argissolo Amarelo que em geral apresentam esse adensamento nos horizontes de transição (Tabela 4.11), é importante conhecer para não confundir com a compactação e fazer um diagnóstico errôneo.

Por outro lado, pode haver um adensamento por causa antrópica, por exemplo, a calagem pode dispersar o solo. Nesse caso vai causar um adensamento químico. O solo dispersa na superfície, onde o pH fica maior que o PCZ, formando cargas negativas que se repelem. Assim, a argila dispersa na superfície ao descer no perfil encontra um pH mais baixo favorecendo sua floculação e vai obstruir poros.

2.9.5. Tipo e Grau de Erosão

Com relação ao tipo pode ser laminar, em sulcos e voçoroca. A detecção precoce da erosão laminar pode prevenir o avanço do processo. Esse tipo de erosão ocorre naturalmente até mesmo dentro de mata, em Latossolo Amarelo já foi observada. Assim, muitas vezes, essa erosão não é detectada e passa despercebido. Em áreas de relevo plano ou suave, muitas vezes, em função do uso e manejo não se vê mais o horizonte A, é sinal que a erosão já ocorreu em grau avançado.

2.9.6. Planejamento da Recuperação

As soluções serão pensadas a partir do diagnóstico da área degradada e a partir do tipo de degradação. Direcionando ações mecânicas, vegetativas e em alguns casos até obras de engenharia. Nesse sentido, às propriedades físicas interferem em dimensionamento de terraços, paliçadas, estabelecimento de sementes, entre outros.

No caso de compactação superficial, muitas vezes, a solução é a escarificação. Quando é subsuperficial a solução pode ser fazer subsolagem. Outra solução é usar plantas com sistema radicular agressivo.

São várias as aplicações na recuperação de uma área degradada: a definição do momento adequado de umidade do solo ou substrato para o preparo do plantio de mudas; a seleção de espécies vegetais e outras.

2.10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS E CONSULTADAS

- ANAND, R.R.; GILKES, R.J. Mineralogical and chemical properties of weathered magnetite grains from lateritic saprolite. *Journal of Soil Science*, v. 35, p. 559-567, 1984.
- ARNOLD, P.W. Soil science and the search for unifying concepts. *J. Soil Sei., London*, 28:393-402, 1977.
- BARRÓN, V. Influencia de los óxidos de hierro en el color de los suelos. Córdoba, Universidade de Córdoba, 1985. 200p. (Tese de Doutorado).
- BARRÓN, V. Influencia de los óxidos de hierro en el color de los suelos. Córdoba, Universidade de Córdoba, 1985. 200p. (Tese de Doutorado).
- BUCKMAN, H.O. & BRADY, N.C. *Natureza e propriedade dos solos*. 7.ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989. 594p.
- CAIRES, E.F.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A. & BARTH, G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. *Agron. J.*, 97:791-798, 2005.
- CAMARGO, A.O. de MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC*. Campinas: IAC, 1986. 94p. (IAC. Boletim Técnico, 106).
- CASSEL, D.K. & NIELSEN, D.R. Field capacity and available water capacity. In: KLUTTE, A., ed. *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of Agronomy, p.901-926, 1986.
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, 1997. 132p.
- COELHO, M.R. & VIDAL-TORRADO, P. Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru. II - Mineralogia. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:495- 507, 2003.
- CORNELL, R.M. & SCHWERTMANN, U. *The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrence and uses*. Weinheim, VCH, 1996. 573p.
- COUTO, W., LATHWELL, D.J.; BOULDIN, D.R. Sulfate sorption by two Oxisols and an Alfisol of the tropics. **Soil Science**, Baltimore, v.127. p.108-116. 1979.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed., Rio de Janeiro:1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999a. 370p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA –EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999b. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306p.
- ESPINOZA, W.; GAST, R.G.; ADAMS Jr, R.S. Charge characteristics and nitrate retention by two andepts from South-Central Chile. *Soil Sei. Soe. Am. J.*, Madison, 39: 842-846, 1975.
- ESSINGTON, M.E. Soil and water chemistry. Boca Raton: CRC Press, 2004. 523 p.
- FONTES, M.P.F. Mineralogia do solo (Versão Resumida). Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2002. não paginado.
- HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H. & SILVA, W.M. Sistema de manejo do solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:145-154, 1999.
- JENNY, H. Factors of soil formation, a system of quantitative pedology. McGraw- Hill: New York, 1941. 281 p.
- KAMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Avaliação da estimativa de substituição de Fe por Al em hematita de solo. *R. Bras. Ci. Solo*. v. 22, n. 2, p. 209 - 213, 1998.
- KÄMPF, N. & CURI, N. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogenéticos e geoquímicos. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R., eds. *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1. p.107-138, 2000.
- KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.) *Methods of soil analysis. Part I. Physical and minerological methods*. Madison, WI: Soil Science Society of America, p. 425-442, 1986 (Agronomy Monograph N. 9).
- KIEHL, E.J. Manual de edafologia. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979.

- KIEHL, E.J. et al. Caracterização e interpretação das propriedades do solo. 2. ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1972.
- KHONKE, H. Soil physics. 2.ed. New York: MacGraw Hill, 1969. 224p.
- KPOMBLEKOU, A.K.; TABATAI, M.A. Effect of organic acids on release of phosphorus from phosphate rocks. **Soil Science**, Baltimore, v.158, p.442-453, 1994.
- LAVERDIÈRE, M.R. & WEAVER, R.M. Charge characteristics of spodic horizons. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 41: 505-510, 1977.
- LEMONS, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coletado solo no campo. Campinas, SBCS/SNLCS, 1984. 46p.
- MELO, V.F., FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F.; SINGH, B. & SCHAEFER, C.E.G.R. Características dos óxidos de ferro e de alumínio de diferentes classes de solos. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:19-32, 2001.
- OLIVEIRA J. B de; JACOMINE P.K.T. ; CAMARGO M ; N. Classes Gerais de Solos do Brasil: Guia auxiliar para o seu reconhecimento. Jaboticabal, SP. 2.ed Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201p.
- PARKS, G.A. & BRUYN, P.L. de. The zero point of charge of oxides. *Journal of Physical Chemistry*, Ithaca, 66:1967-1972, 1962.
- POMBO, L. C. A. et al. Identificação de óxidos de ferro na fração argila de Latossolo Roxo. *R. Bra. Ci. Solo*. v. 6, n. 1, p. 12-18, 1982.
- QUAGGIO, J.A. Acidez e calagem em solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo, 2000. 111p.
- RAIJ, B. van & PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 36: 587-593, 1972.
- RAIJ, B. van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- REICHARDT, K. Capacidade de campo. *R. Bras. Ci. Solo*, 12:211-216, 1988.
- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão na análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *R. Bras. Ci. Solo*, v. 29, n.1, p. 297-300, 2005.

- SCHWERTMANN, U.; KÄMPF, N. Properties of goethite and hematite in kaolinitic soils of Southern and Central Brazil. *Soil Science*, v. 139, n. 2, p.344-350, 1985.
- SMITH, B.H. & EMERSON, W.W. Exchangeable aluminum in kaolinite. *Aust J. Sou Rés.*, Victoria, 14:45-53, 1976.
- SPOSITO, G. *The chemistry of soils*. New York, Oxford University Press, 1989. 277p.
- TESSENS, E. & ZAUZYAH, S. Positive permanent charge in Oxisols. *Soil Sei. Soe. Am. J.*, Madison, 46:1103-1106, 1982.
- UEHARA, G. & GILLMAN, G. *The mineralogy, chemistry and physics of tropical soils with variable charge clays*, Boulder, Westview Press, 1981. 170p.
- WHITE, A.F.; BRANTLEY, S.L. Chemical weathering rates of silicate minerals: An overview. *Reviews in Mineralogy*, v. 31, p. 1-22, 1995.
- YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agron.*, vol. 28, p. 337-351, 1936.

Capítulo 3

CICLOS DOS NUTRIENTES E SUA RELAÇÃO COM A NUTRIÇÃO DE PLANTAS

Celeste Queiroz Rossi

José Carlos Polidoro

3.1. INTRODUÇÃO

O solo, o meio principal para o crescimento das plantas, é uma camada de material biologicamente ativo, resultantes das transformações complexas que envolvem o intemperismo de rochas e minerais, a ciclagem de nutrientes e a produção e decomposição de biomassa. Uma boa condição de funcionamento do solo é fundamental para garantir a capacidade produtiva dos agroecossistemas. Uma boa qualidade do solo é importante também para a preservação de outros serviços ambientais essenciais, incluindo o fluxo e a qualidade da água, a biodiversidade e o equilíbrio de gases atmosféricos.

A presença de nutrientes, a cobertura vegetal, a cor do solo, a presença ou não de rochas, o escoamento superficial das águas após as grandes chuvas e a facilidade de trabalhar o solo são propriedades e/ou características, fundamentais para garantir uma boa qualidade e o funcionamento adequado dos solos.

A ciclagem natural de nutrientes, principalmente em solos oxidicos (degradados ou não) é fundamental para manter os estoques de nutrientes, pois é sabido que as reservas associadas a fração mineral desses solos é muito baixa.

Nesse Capítulo os autores se concentraram na apresentação dos principais ciclos de nutrientes e sua relação com a nutrição de plantas, tendo em vista a utilidade e importância do entendimento dos compartimentos e fluxos de nutrientes na gestão de recursos e insumos utilizados em programas de recuperação de áreas degradadas.

3.2. CICLOS DOS NUTRIENTES

O crescimento e o desenvolvimento das plantas dependem, além de outros fatores como luz, água e gás carbônico, de um fluxo contínuo de sais minerais. Os minerais embora requeridos em pequenas quantidades são fundamentais para o desempenho das principais funções metabólicas da célula. Abaixo são apresentados os ciclos dos nutrientes mais importantes no contexto de recuperação de solos degradados.

3.2.1. Ciclo do Carbono

O carbono existe na hidrosfera e atmosfera sob a forma de dióxido de carbono CO_2 . A reserva mundial é constituída pelo gás carbônico (CO_2) do ar e das águas, alimentada pela respiração animal, as fermentações, as combustões industriais, as emanações vulcânicas, e exploradas pela atividade das plantas verdes em contato com a luz. Esse gás CO_2 é absorvido pelas plantas clorofiladas e bactérias quimiossintetizantes e é utilizado para a formação de compostos orgânicos carbonados (amido e celulose). Parte do CO_2 volta diretamente à atmosfera pela respiração da planta. Atualmente, o dióxido de carbono emitido pela atividade humana é da ordem de 8,5 bilhões de toneladas anuais, sendo que apenas metade desse total permanece na atmosfera. A outra metade estima-se que seja incorporada pelo solo, florestas (VITOUSEK, 1991) e oceanos, cujos mecanismos ainda não são completamente esclarecidos (AIKEN *et al.*, 1991). A modernização da produção agrícola tem na adoção de tecnologia instrumento para minimizar os efeitos dos fatores que limitam o processo fisiológico das culturas, aumentando a produtividade, reduzindo os custos de produção e melhorando a qualidade do produto. Entre as novas técnicas, uma promissora é o uso de dióxido de carbono misturado à água de irrigação que está sendo adotado em culturas intensivas, com maior adensamento de plantas por área. A aplicação de gás carbônico nas culturas melhora o metabolismo e o equilíbrio hormonal nas plantas, aumenta a fotossíntese e a absorção de nutrientes, resultando em plantas mais produtivas, mais resistentes a doenças e ao ataque de pragas, gerando frutos de melhor qualidade (KIMBALL *et al.*, 1994).

As plantas são ingeridas pelos animais. Da combustão destes alimentos no organismo dos animais o gás carbônico volta à atmosfera ou, por morte dos animais, ele vai fazer parte dos detritos orgânicos que, por combustão, liberam o CO_2 que vai à atmosfera. Da mesma forma por morte dos vegetais clorofilados e das bactérias formam-se detritos vegetais que, por combustão devolvem o CO_2 à atmosfera (Fig.3.1).

Uma parte, contudo, escapa do ciclo dando sedimentos e finalmente rochas calcárias (12% de carbono no peso). O carvão e o petróleo só são repostos no circuito graças à intervenção humana.

O dióxido de carbono está constantemente sendo removido da atmosfera como parte do ciclo do carbono. Se isso não acontecesse, o mundo se aqueceria e se tornaria como Vênus. Os mecanismos que retiram o carbono da atmosfera são chamados "reservatórios de carbono". As florestas do mundo são grandes reservatórios de carbono. O desflorestamento está reduzindo o tamanho desse reservatório, permitindo que o dióxido de carbono permaneça na atmosfera. Por outro lado, desenvolvimentos tecnológicos recentes permitem aos humanos criarem um novo tipo de reservatório de carbono por meio de captura e armazenamento de carbono.

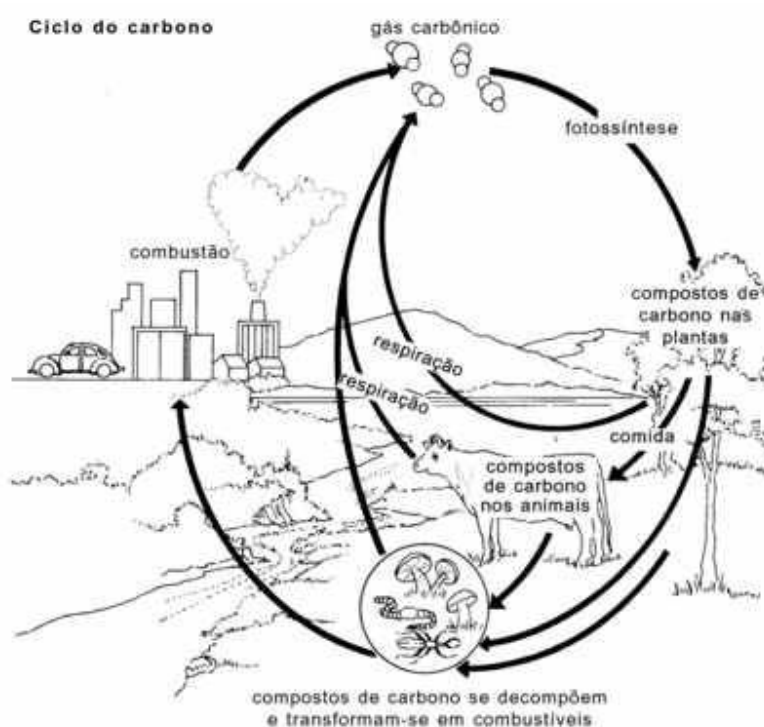


Fig. 3.1. Ciclo do Carbono.
Fonte: www.escolavesper.com.br

3.2.1.1. Efeito Estufa e as Queimadas

A partir do século XVIII, com o advento da Revolução Industrial, o homem introduziu um novo caminho no ciclo de carbono. Trata-se de sua introdução na atmosfera, pela queima de combustíveis fósseis, para obtenção de energia. Isso não tem sido compensado completamente por um aumento na taxa de retirada de CO₂ (gás carbônico) da atmosfera pela combustão de petróleo e carvão, lá permaneceram. Durante a década de 80 a taxa de emissão de carbono, pela atividade industrial, tem sido de, aproximadamente 6 bilhões de toneladas/ano.

O efeito estufa é a reprodução, em escala planetária, do fenômeno de aquecimento que ocorre quando se deixa um carro fechado sob o Sol. A luz atravessa os vidros fechados, aquece o interior do veículo e o calor não consegue escapar, porque os vidros retêm os raios infravermelhos. Disso resulta uma enorme elevação de temperatura.

Na atmosfera terrestre, o gás carbônico, o CFC, o óxido de nitrogênio (N_2O) e o metano (CH_4) cumprem o papel do vidro do automóvel. Assim, uma parte do calor retido volta a superfície e outra permanece na atmosfera, desregulando a balança térmica planetária. A concentração de gases causadores do efeito estufa tem aumentado nos últimos anos e tendem a continuar no mesmo ritmo. Esse crescimento será menor (linha tracejada) se severas medidas forem tomadas.

Durante a década de 80, a fronteira agrícola brasileira - praticamente saturada na Região Sudeste e conquistada a Região Centro-Oeste - avança sobre a Amazônia, principalmente na Rondônia e Pará. Nestes estados instalou-se a pecuária de corte; uma opção mais fácil e rendosa para se ocupar da terra, comprada a baixo preço. Conseqüentemente, os desmatamentos e as queimadas (método primitivo e barato para a retirada rápida da floresta) começaram a se espalhar pela Amazônia.

Em 29 de agosto de 1988, um editorial do jornal Norte-americano *The New York Times* acusou as queimadas brasileiras (descoberto pelo satélite NOAA devido ao seu grande número no inverno deste ano) de serem um dos principais responsáveis do efeito estufa, contribuindo com 10% do total de gás carbônico lançado na atmosfera. Estava aberta a temporada de caça aos poluidores do Terceiro Mundo, na qual jornais e entidades de todo o mundo nos culpavam pelo efeito estufa. Sendo resultado de uma herança cultural, a queimada é usada tanto pelo pequeno agricultor como pelo latifundiário. Com isso produz-se muito gás carbônico, agravando o efeito estufa, e destrói-se florestas tropicais.

A verdade é que se esqueciam dos verdadeiros e reais responsáveis por isso: as nações industrializadas. Com a queima de combustíveis fósseis para geração de energia, movimento de veículos e aquecimento doméstico produzem muito mais gás carbônico do que as queimadas, estimado em 200 milhões de toneladas por ano, apenas 3% do total. Somente o gás carbônico aumentou em 9%.

Em termos de área destruída, a taxa média de desmatamento anual na Amazônia, entre 1978 e 1989, foi de 21.800 Km². Até o início da década de 90, cerca de 8% da Amazônia legal havia sido desmatada, o que supõe uma área de 394.000 Km², o equivalente aos Estados de São Paulo e Santa Catarina juntos. Entretanto, serve como um pequeno sinal de esperança a diminuição no ritmo de desmatamento, observado nos últimos anos. No período de 1978 a 1979 foram devastados 21.135 km²/ano; entre 1987 e 89 foi 17.871 km²/ano e, finalmente, para o biênio 1989-90 reduziu-se a 13.818 km²/ano.

Ainda que as queimadas amazônicas não contribuam muito para o efeito estufa, elas trazem conseqüências graves. A primeira delas é a perda de estabilidade no clima do Hemisfério Norte, pois 80 a 90% da energia solar que incide na Amazônia é utilizada para aquecimento do ar e produção de vapor d'água - graças a transpiração da imensa biomassa vegetal - que é transportado rumo ao norte, garantindo o aquecimento e as chuvas na América do Norte. Outro efeito negativo é a destruição do húmus, única fonte de nutrientes para as árvores. Sem ele o solo amazônico logo fica pobre e sem árvores, facilmente é arrastado pelas chuvas.

Finalmente, a queima das florestas acelera o empobrecimento do patrimônio genético amazônico.

Promover o reflorestamento das áreas destruídas como uma forma de absorver parte do excesso de gás carbônico, existente atualmente na atmosfera; o qual seria transformado em árvores reduzindo, assim, o perigo de um possível efeito estufa.

3.2.2. Ciclo do Nitrogênio

O ciclo biogeoquímico do nitrogênio, que se refere à cadeia de reações de oxirredução do elemento, é um dos mais discutidos devido à sua complexidade e dinâmica. As diversas vias de transferência entre compartimentos de um agroecossistema (entradas e saídas), bem como suas taxas, são bem descritas e contabilizadas. Uma das formas mais conhecidas de saída de nitrogênio do sistema é a perda por volatilização de amônia do solo, porém um ponto ainda obscuro e pouco avaliado e quantificado são as perdas do elemento na forma de amônia pela parte aérea dos vegetais (Fig. 3.2). Essa via de saída do nitrogênio tem sido citada como contribuidora no aumento dos níveis de amônia da atmosfera (SUTTON *et al.*, 1993), sendo responsável por 15-20% do total das emissões gasosas de NH_3 (ASMAN *et al.*, 1998).

Os organismos vivos decompõem-se e o nitrogênio resultante da decomposição vai à atmosfera. Este nitrogênio molecular é absorvido por bactérias de vida livre que vivem no solo e por outras que vivem em simbiose nos nódulos de raízes de plantas leguminosas. O nitrogênio molecular é transformado em nitritos (NO_2) e em nitratos (NO_3). O nitrogênio agora incorporado ao solo constitui a fonte de nitrogênio para os vegetais superiores. Para atividade metabólica da planta os nitratos convertem-se em proteínas e outros compostos complexos que são consumidos em parte como alimentos pelos animais. Uma parte do nitrogênio volta a terra como produtos de excreção ou em forma de compostos derivados de tecidos animais mortos. Uma vez transformado em compostos nitrogenados por atividade bacteriana o nitrogênio torna-se novamente aproveitável pelas plantas fechando-se o seu ciclo bioquímico.

O nitrogênio é o elemento químico característico e fundamental dos aminoácidos (que formam as proteínas) e das bases nitrogenadas (que constituem os ácidos nucléicos, DNA e RNA). Sem proteínas e ácidos nucléicos, não há vida. Mesmo os mais simples seres vivos, os vírus, são formados por estas substâncias.

Ainda que a atmosfera seja o compartimento que mais armazene nitrogênio, na forma gasosa (N_2), este não consegue ser assim assimilado pela grande maioria dos vegetais.

As raízes somente conseguem absorver o nitrogênio, na forma iônica de nitrato, quando dissolvido na água. Este é o reservatório - no solo e no oceano - de nitrogênio disponível para os produtores. A atmosfera, sendo um grande depósito de N_2 , pode ser considerada, como uma válvula de segurança do ciclo.

Na atmosfera também podem ser encontrados óxidos de nitrogênio (NO e NO_2), resultantes da reação do N_2 com O_2 quando aquecidos acima de 1100°C , como acontece nos motores de veículos. O NO_2 (dióxido de nitrogênio) além de contribuir

para a destruição da camada de ozônio causa irritação nos olhos e dificuldades para a respiração no ser humano.

Há dois processos biológicos pelos quais o nitrogênio torna-se disponível aos vegetais.

O primeiro é a fixação biológica direta, realizada por algas cianofíceas do gênero *Anabaena* e *Nostoc* (no ambiente aquático); por bactérias de vida livre no solo - como a *Azobacter* e a *Clostridium* -; bactéria-púrpura fotossintetizante do gênero *Rhodospirillum*; e por bactérias simbiotes (*Rhizobium*) que vivem em nódulos nas raízes de leguminosas. Esses organismos produzem amônia, a partir do nitrogênio atmosférico (N_2). Estando já dentro do corpo do vegetal, a amônia é diretamente usada nos processos bioquímicos celulares.

O outro processo é a nitrificação, realizado por bactérias quimiossintetizantes do solo, pelo qual a amônia é transformada em nitratos em duas etapas:

- **Nitrosação:** realizada por bactérias *Nitrosomonas* que produzem nitritos a partir da amônia. Como os nitritos são muito tóxicos para as plantas, ele não pode se acumular no solo e para isso é importante que seja eficiente a segunda etapa.
- **Nitratação:** realizada por bactérias *Nitrobacter* que transformam nitritos em nitratos. Este é então absorvido pelas raízes das plantas e depois transformado em amônia, para poder ser usado nas células.

As fontes de amônia, importante para esse processo, são: os adubos nitrogenados, relâmpagos (o aquecimento do ar produz a reação do N_2 com o H_2), excreção de animais e a decomposição da matéria orgânica.

Parte do nitrato do solo e do mar é "perdida" de volta para a atmosfera, transformada em N_2 , devido à ação de bactérias desnitrificantes (como algumas *Pseudomonas*) que fecham o ciclo do nitrogênio. Essas bactérias realizam a reação de desnitrificação como uma forma de respiração anaeróbia; isto é, sem oxigênio. São mais encontradas, principalmente, em ambientes pobres em oxigênio, como os pântanos.

Há uma parcela de nitrogênio que sai do ciclo quando sais de nitrato depositam-se no fundo dos mares, formando novas camadas de sedimentos. Essa perda é compensada pelas erupções vulcânicas que liberam N_2 e amônia.

3.2.2.1. Nitrogênio e Agricultura

O nitrogênio é um nutriente escasso na maioria dos solos agrícolas, sendo cara a sua adição por adubação química corretiva, além de que a indústria que a produz é uma séria fonte de poluição.

Uma alternativa é o uso de adubos orgânicos, formados pela decomposição de seres vivos ou de seus excrementos. O mais comum é usar o esterco de currais ou de granjas, misturado com palha; também é chamado de composto. Em regiões costeiras, um bom adubo provém das plantas marinhas apodrecidas. Também são excelentes adubos ossos moídos, resíduos de carne e peixe, guano (excremento de aves marinhas e de morcegos), sangue seco, bagaço de algodão e cana-de-açúcar.

Nem todos esses adubos fornecem nitrogênio na quantidade suficiente, ainda que deixem o solo mais fofo e retenham muita água. Não se pode esquecer que os produtos agrícolas - freqüentemente ricos em sais minerais - são retirados da plantação e

levados para outros locais (geralmente cidades), o que representa uma perda de nitrogênio.

Como se sabe, o grande reservatório desse elemento é a atmosfera. Mas as plantas não conseguem assimilar diretamente o gás N_2 . A fixação biológica direta, realizada por algumas bactérias do solo não é um processo muito produtivo, gerando apenas de 4 a 6 quilos de nitrogênio/ha/ano, o que não satisfaz a necessidade de muitos vegetais.

Ao longo da evolução, entretanto, uma família de plantas superiores especializou-se em ocupar solos carentes de nitrogênio, onde a competição era menor. As espécies dessa família - a das leguminosas - conseguiram isso graças à associação simbiótica com bactérias do gênero *Rhizobium*. Elas possuem uma produtividade bastante superior, fixando 350 Kg N/ha/ano.

Esse fato fundamenta a prática - usada já há dois séculos - de cultivar no campo algum tipo de leguminosa (ervilha, feijão, trevo, soja, tremoço, alfafa, amendoim). Crescendo, ela fixa muito nitrogênio em seu corpo. Depois de feita a colheita, os restos são cortados e enterrados no solo. Este processo é chamado adubação verde.

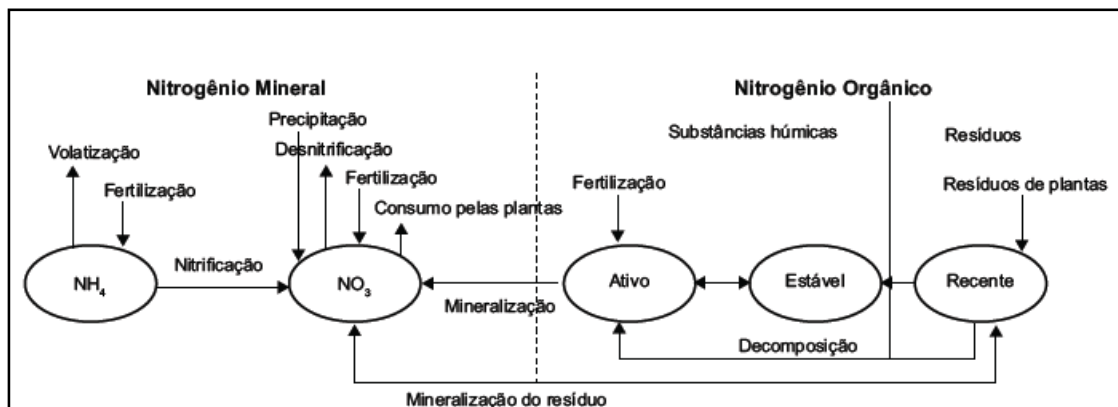


Fig. 3. 6. Ciclo do Nitrogênio.

Fonte: NEVES, *et al.* (2006).

3.2.3. Ciclo do Fósforo

O fósforo é encontrado na natureza sob a forma de fosfatos. As rochas ricas em sais minerais de fosfatos são chamadas rochas fosfatadas. Tais rochas sofrem erosão e liberam esses compostos para o solo. Os vegetais absorvem esses sais e os utilizam para a produção de ATP, ácidos nucleicos e outras substâncias vitais. Através da cadeia alimentar os fosfatos passam para os animais adquirindo assim as mesmas funções que desempenhavam nos vegetais. Pela decomposição, esse elemento retorna ao solo, sendo carregado pelas águas e conduzido para os oceanos. Uma pequena parte é utilizada pelos organismos marinhos e o restante permanece sedimentado no fundo dos mares, sem que seja aproveitado. O fosfato absorvido pelas algas marinhas é transmitido para os peixes e destes para as aves marinhas, através da cadeia alimentar. Essas aves eliminam uma grande quantidade de fosfato através dos

excrementos que se depositam sobre as rochas litorâneas e formam o guano (acumulação de fosfato de cálcio resultante de excremento de aves marinhas).

Os solos de regiões tropicais úmidas, notadamente aqueles em estádios mais avançados de intemperismo, apresentam alta capacidade de adsorção de P, em decorrência da eletropositividade desenvolvida por argilossilicatos e óxidos, culminando com reação envolvendo troca de ligantes (NOVAIS & SMITH, 1999). Ao longo do processo de intemperismo, as reações químicas, atuantes no material de origem e no próprio solo, levam à formação de minerais mais estáveis, como os oxidróxidos de Fe e Al, os quais atuam como adsorventes deste elemento, propiciando limitação da disponibilidade deste elemento no sistema (CROSS & SCHLESINGER, 1995). Em ecossistemas naturais, os processos geoquímicos são responsáveis pela dinâmica do P em longo prazo. Contudo, pelo fato de a maior parte do P disponível às plantas ter como fonte a matéria orgânica (Fig. 3.5), os processos biológicos influenciam bastante a distribuição das formas de P no solo (WALBRIDGE, 1991). Portanto, os processos biológicos regulam a dinâmica e distribuição de formas lábeis de P no solo, e a reciclagem da forma orgânica é um importante fator na disponibilização desse nutriente às plantas (ADEPTU & COREY, 1976).

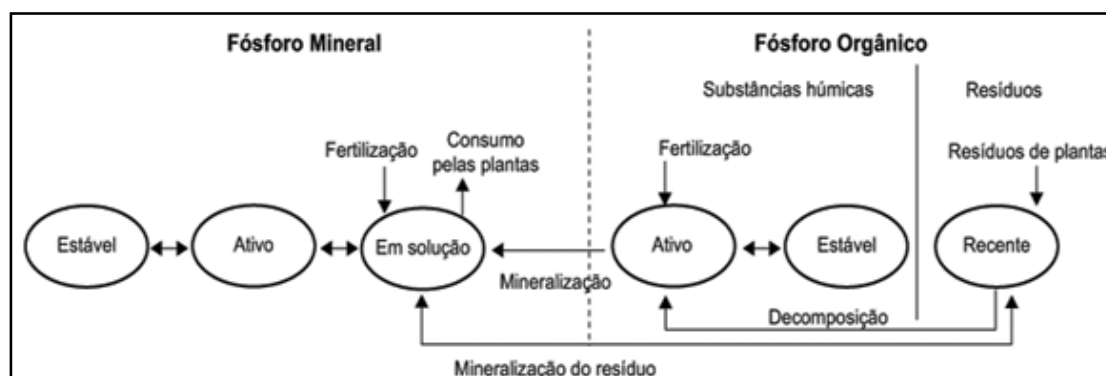


Fig. 3. 5. Ciclo do fósforo.
Fonte: NEVES, *et al.* (2006).

3.2.4. Ciclo do Enxofre

O enxofre é um importante constituinte de alguns aminoácidos, como a cisteína e, portanto, não pode faltar para perfeita produção de proteínas. Em muitos seres vivos, moléculas com átomos desse elemento, atuam como cofator ("estimulador") de reações químicas promovidas por enzimas.

Apresenta um ciclo com dois reservatórios: um maior, nos sedimentos da crosta terrestre e outro, menor, na atmosfera.

Nos sedimentos, o enxofre permanece armazenado na forma de minerais de sulfato. Com a erosão, fica dissolvido na água do solo e assume a forma iônica de sulfato (SO_4^{--}); sendo assim, facilmente absorvido pelas raízes dos vegetais (Fig. 3.7).

Na atmosfera, o enxofre existe combinado com o oxigênio formando, cerca de 75% dele, o SO_2 (dióxido de enxofre). Outra parcela está na forma de anidrido sulfídrico

(SO₃). O gás sulfídrico (H₂S) - característico pelo seu cheiro de "ovo podre" - tem vida curta na atmosfera, apenas de algumas horas, sendo logo transformado em SO₂.

Esses óxidos de enxofre (SO₂ e SO₃) incorporam-se ao solo com as chuvas, sendo então transformado em íons de sulfato (SO₄²⁻). Podem, também, ser capturados diretamente pelas folhas das plantas, num processo chamado de adsorção, para serem usados na fabricação de aminoácidos.

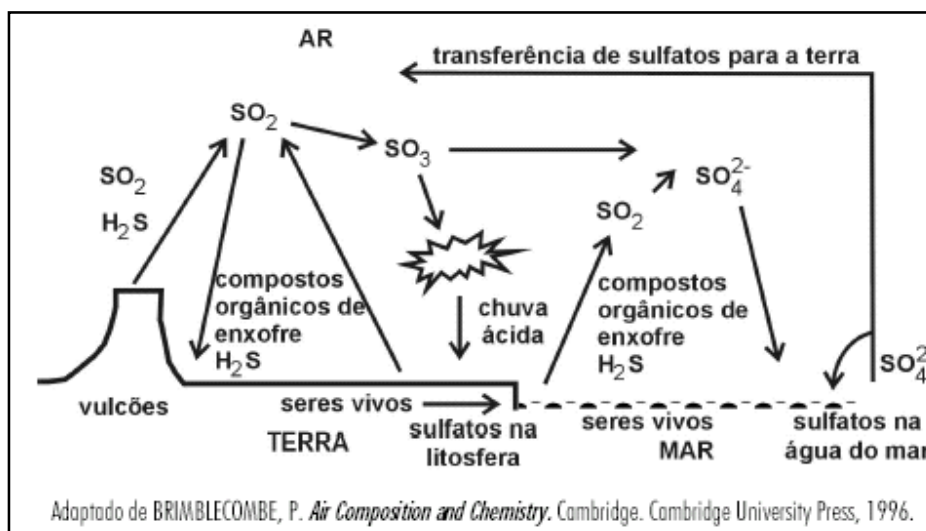


Fig. 3.7. Ciclo do Enxofre.

Fonte: www.aprendebrasil.com.br

3.3. NUTRIÇÃO DE PLANTAS

3.3.1 Nutrientes essenciais

O efeito benéfico da adição de elementos minerais no crescimento das plantas foi reconhecido há mais de 2000 mil anos. Contudo, JUST von LIEBIG (1840) foi o principal cientista a concluir que N, S, P, K, Ca, Mg, Si, Na e Fe eram elementos essenciais, embora baseada apenas em observação e especulação sem precisa experimentação, provou ser bastante correta. Apenas o Si e o Na não são considerados essenciais, embora o possam ser para algumas espécies. De qualquer modo, houve um despertar nas pesquisas nesta área no século XIX. Elas mostraram que as plantas tinham capacidade limitada de distinguir e, ou selecionar dentre os minerais disponíveis na solução do solo aqueles que pouco representava para o seu metabolismo ou que eram até menos tóxicas a elas. Assim, a composição mineral das plantas não podia ser usada na definição da essencialidade de um elemento mineral.

ARNON & STOUT (1939), estabeleceram os critérios de essencialidade. Estes autores concluíram que, para um elemento ser considerado essencial deveria satisfazer a três critérios básicos:

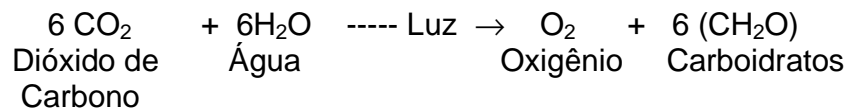
- A planta não pode ser capaz de completar seu ciclo “vital” na ausência do elemento mineral.
- A função de certo elemento mineral não pode ser substituído por outro elemento mineral.
- O elemento tem que estar diretamente envolvido com o metabolismo da planta ou ser requerido numa determinada etapa metabólica.

EPSTEIN (1975), de maneira simples e direta, funde os dois últimos critérios em apenas um, mais objetivo:

- O elemento faz parte da molécula de um constituinte essencial à planta.

Um exemplo clássico de um elemento que satisfaz esse critério é o Mg, que faz parte da molécula de clorofila.

As plantas superiores requerem nutrientes não minerais, como Carbono (C), Hidrogênio (H) e Oxigênio (O) encontrados na atmosfera e na água e participam da fotossíntese da seguinte maneira:



Os produtos da fotossíntese são responsáveis pela maior parte do crescimento das plantas. Quantidades insuficientes de dióxido de carbono, água ou luz reduzem o crescimento. A quantidade de água usada na fotossíntese é tão pequena que as plantas mostrarão deficiência hídrica antes do teor de umidade ser suficientemente baixo para afetar a velocidade da fotossíntese.

Outros treze elementos que elas absorvem na forma de íons da solução do solo. Seis destes, requeridos em maiores quantidades, são chamados Macronutrientes: N, P, K, Ca, S e Mg. Os sete outros, requeridos em baixas concentrações, são chamados Micronutrientes: Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo e Cl. Os elementos minerais, macro e micronutrientes, ao lado de fatores tais como luz, água e gás carbônico constituem a matéria prima que a maquinaria biossintética da célula utiliza para crescer e se desenvolver. Embora constituam apenas de 4 a 6% da matéria seca total, os elementos minerais além de serem componentes das moléculas essenciais, constituem estruturas como membranas e estão envolvidos com a ativação enzimática, controle osmótico, transporte de elétrons, sistema tampão do protoplasma e controle de permeabilidade.

3.3.2. Disponibilidade de Nutrientes

O fato dos nutrientes essenciais estarem presentes no solo, não significa que eles estarão disponíveis para as plantas os absorverem. Para serem absorvidos os nutrientes devem estar em quantidades e em formas químicas específicas. A Fertilidade do Solo é o ramo da Ciência do Solo que estuda a capacidade que o solo possui em prover nutrientes para as plantas para que possam se desenvolver e completarem seu ciclo produtivo ou reprodutivo perfeitamente. Desta forma, é imprescindível o uso de extratores sensíveis as variações de atributos do solo que simulem a absorção desses

nutrientes pelas plantas; ou seja, que se correlacionem com a quantidade de nutrientes passível de ser absorvida pelas plantas.

A relação entre a taxa de crescimento em função da concentração de qualquer elemento mineral na planta pode ser observada na Fig. 3.1.

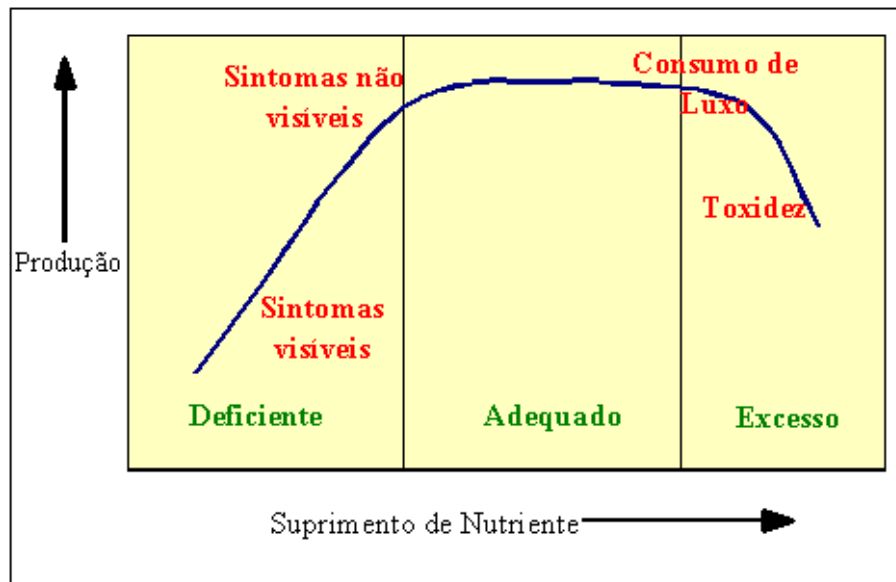


Fig. 3.1. Relação entre disponibilidade de nutrientes e crescimento vegetal.

Na região de baixa concentração, chamada zona de deficiência, o crescimento aumenta gradualmente quando quantidades adicionais do elemento são fornecidas, resultando em aumento de sua concentração na planta. Acima de uma concentração crítica (concentração mínima do elemento que proporciona 90% do crescimento máximo), aumentando-se a concentração do nutriente não afeta-se apreciavelmente o crescimento (zona adequada). Essa zona representa o consumo de luxo do elemento, definido como sendo o seu armazenamento no vacúolo durante períodos de crescimento ativo. A zona de consumo de luxo é, normalmente, extensa para os macronutrientes e bem estreita para os micronutrientes. Incrementos contínuos de quaisquer elementos podem acarretar toxidez e redução no crescimento, ou induz a deficiência do outro mineral (zona tóxica).

A disponibilidade dos elementos minerais no solo depende de vários fatores como: pH, umidade, concentração do elemento no solo, aeração, matéria orgânica, competição entre os íons pelos mesmos ou diferentes sítios de absorção na membrana plasmática do sistema radicular. Além desses itens acima citados deve-se sempre levar em consideração que as raízes também possuem grande influência sobre a rizosfera, e assim, sobre a disponibilidade dos nutrientes, devido às modificações nas concentrações dos nutrientes, no pH da rizosfera, e na produção de exsudatos radiculares. Os microrganismos são agentes que podem também influenciar sobremaneira a disponibilidade e a eficiência dos mecanismos de absorção dos elementos minerais (Fig. 3.2)

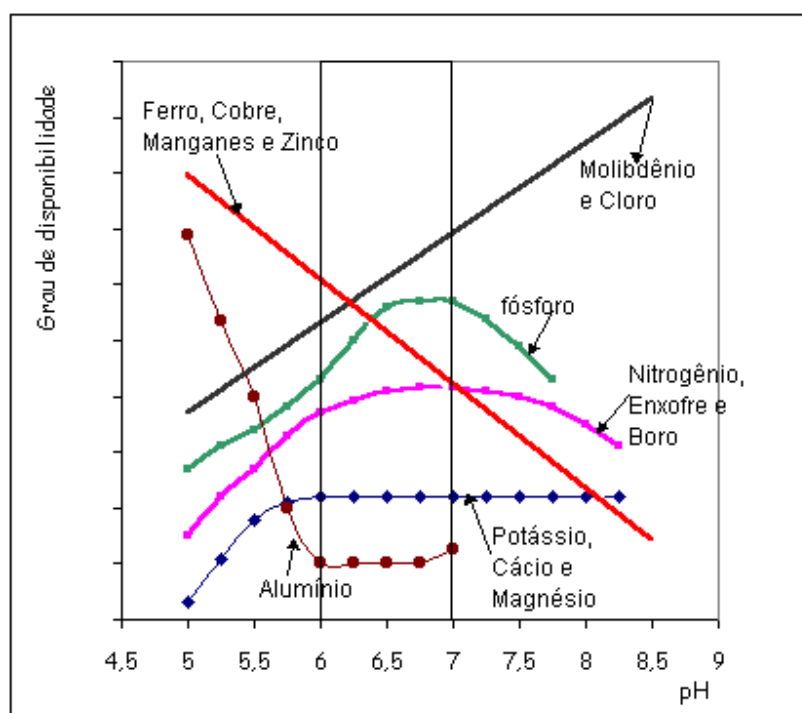


Fig. 3.2. Efeito do pH na disponibilidade dos nutrientes e na solubilidade do alumínio no solo
Fonte: MALAVOLTA, 1980.

3.3.3. Macro e micronutrientes: importância, funções e sintomas de deficiência

3.3.3.1. Nitrogênio

O nitrogênio (N) é considerado elemento essencial para as plantas, pois está presente na composição das mais importantes biomoléculas, tais como ATP, NADH, NADPH, clorofila, proteínas e inúmeras enzimas (HARPER, 1994). Em muitos sistemas de produção, a disponibilidade de nitrogênio é quase sempre um fator limitante, influenciando o crescimento da planta mais do que qualquer outro nutriente. Dada a sua importância e a alta mobilidade no solo, o nitrogênio tem sido intensamente estudado, no sentido de maximizar a eficiência do seu uso. Para tanto, tem-se procurado diminuir as perdas do nitrogênio no solo, bem como melhorar a absorção e a metabolização do N no interior da planta. A eficiência da utilização do nitrogênio adicionado ao solo se refere ao grau de recuperação desse elemento pelas plantas, considerando as perdas que geralmente ocorrem. Normalmente, menos de 50% do nitrogênio aplicado sob a forma de fertilizante é utilizado pelas culturas. As perdas no solo são devido aos inúmeros processos aos quais o nitrogênio está sujeito. O nitrogênio é perdido principalmente pela lixiviação de nitrato, volatilização de amônia e emissão de N_2 , N_2O e outros óxidos de nitrogênio (ANGHINONI, 1986). A eficiência na utilização do N pela planta considera os aspectos de absorção e metabolização deste elemento.

As plantas superiores são capazes de absorver o N de várias formas como N_2 (no caso das leguminosas e outras espécies), amoniacal (NH_4^+) ou nitrato (NO_3^-), além

de pequenas quantidades serem obtidas de materiais como aminoácidos solúveis em água (MALAVOLTA, 1980). Após ser absorvido, o N é transportado no xilema e redistribuído principalmente no floema; tanto o transporte quanto a redistribuição são relativamente rápidos. Numa planta normal quase todo N se encontra em formas orgânicas representadas principalmente por aminoácidos e proteínas. Quando o N é absorvido como NO_3^- ele deve ser primeiro reduzido, sendo que o primeiro passo é a conversão do nitrato em nitrito, que ocorre por conta da enzima redutase do nitrato. O nitrito é reduzido à amônia pela redutase do nitrito. Uma vez reduzido o nitrogênio na forma de NH_3 , este entra no metabolismo gerando principalmente aminoácidos. Uma vez formados os aminoácidos protéicos pode ocorrer síntese de proteína. As proteínas e os aminoácidos não são os únicos compostos nitrogenados da planta; existem também as bases nitrogenadas, coenzimas, pigmentos e vitaminas. Quando a planta absorve o N na forma de NH_4^+ ele é diretamente assimilado (incorporado a compostos orgânicos) nos tecidos das raízes e transportado como aminoácidos.

A deficiência de nitrogênio rapidamente inibe o crescimento vegetal. Caso esta deficiência persista, a maioria das espécies apresenta um quadro de clorose (amarelecimento das folhas), sobretudo nas folhas mais velhas, próximas à base da planta. Sob severa deficiência de nitrogênio, estas folhas tornam-se completamente amarelas (ou castanhas) e caem. Folhas mais jovens podem não mostrar inicialmente tais sintomas, pois o nitrogênio é mobilizado a partir das folhas mais velhas (Fig. 3.8).



Fig.3.8. Deficiência de nitrogênio na planta.
Fonte: www.aquahobby.com

3.3.3.2. Fósforo

As plantas absorvem a maior parte do fósforo como íon ortofosfato primário (H_2PO_4^-) e, em pequenas quantidades, íon ortofosfato secundário (HPO_4^{2-}). O pH do solo influencia na relação de absorção desses dois íons. O fosfato absorvido pelas células das plantas é rapidamente envolvido em processos metabólicos, 10 minutos

após a absorção deste, 80% do total absorvido é incorporado a compostos orgânicos, formando basicamente fosfo-hexases e difosfato de uridina. Quando as plantas estão adequadamente nutridas em P, de 85 a 95% do P orgânico se encontra nos vacúolos. Ocorrendo deficiência, o P não metabolizado sai do vacúolo e é redistribuído para os órgãos mais novos cujo crescimento cessa quando acaba tal reserva.

O fósforo atua na fotossíntese, respiração e transferência de energia, divisão celular, crescimento das células e em vários outros processos da planta. Além de promover a formação e crescimento prematuro das raízes, o fósforo melhora a qualidade de muitas frutas e verduras, sendo vital para a formação de sementes e maturação de frutos. O fósforo também auxilia as raízes e plântulas a se desenvolverem mais rapidamente, aumenta a resistência ao frio, stress hídrico, doenças (LOPES, 1998).

Os sintomas característicos da deficiência de fósforo incluem o crescimento reduzido em plantas jovens e uma coloração verde escura das folhas (Fig.3.9), as quais podem encontrar-se malformadas e conter pequenas manchas de tecido morto (manchas necróticas). Da mesma que na deficiência de nitrogênio, algumas espécies podem produzir antocianina em excesso, conferindo as folhas uma coloração levemente arroxeada. Em comparação com a deficiência de nitrogênio, a coloração púrpura gerada pela deficiência de fósforo não está associada a clorose, podendo as folhas, apresentar uma coloração roxa fortemente esverdeadas.

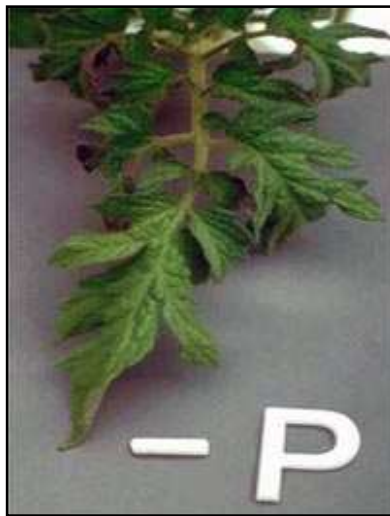


Fig. 3.9. Deficiência de fósforo na planta.
Fonte: www.aquahobby.com

3.3.3.3. Potássio

A importância do potássio sobressai quando a agricultura passa de extrativa, com baixas produções por unidade de área, para uma agricultura intensiva e tecnificada (LOPES, 1982). Segundo MALAVOLTA (1997), encontra-se disponível para a planta, de modo geral, somente o K trocável, que da fase sólida passa para a solução do solo e

mais o elemento existente nesta última. Considerando-se como baixo um teor menor do que 45 mg K / kg de terra ou 0,12 cmol_c.K / dm³ de solo, os solos brasileiros, na sua maioria, são bem supridos de potássio, sendo que aproximadamente 90% dos solos do sul do país se enquadram nessa categoria. A quantidade de K absorvido pelas plantas é influenciada por diversos fatores como: potencialidade genética; temperatura; aeração (diminuindo a aeração cai a absorção de K); presença de outros íons (a absorção do K depende da sua concentração e, indiretamente, das concentrações de Ca⁺² e Mg⁺² e, também, da presença do Al⁺³); transpiração; idade da planta e intensidade respiratória (MALAVOLTA & CROCOMO, 1982). Uma vez dentro da planta o potássio está pronto para desempenhar diversas funções: regulação da turgidez do tecido; ativação de cerca de 60 enzimas; abertura e fechamento dos estômatos; transporte de carboidratos; transpiração; resistência à geada, seca e salinidade; resistência às doenças; efeito benéfico na qualidade dos produtos, quanto à cor, tamanho, acidez, resistência ao transporte, manuseio, armazenamento, valor nutritivo e qualidades industriais (MALAVOLTA, 1980).

Os primeiros sintomas visíveis da deficiência de potássio são a clorose em manchas ou marginal, evoluindo para a necrose, principalmente nos ápices foliares, margens e entre nervuras, estendendo-se posteriormente em direção à base (Fig. 3.10). Como o potássio pode ser remobilizado para as folhas mais jovens, esses sintomas aparecem inicialmente nas folhas mais maduras da base da planta. As folhas podem curvar-se e o caule deficiente em potássio é delgado e fraco, apresentando regiões internodais anormalmente curtas, acarretando o tombamento do indivíduo.



Fig. 3.10. Deficiência de potássio na planta.
Fonte: www.aquahobby.com

3.3.3.4. Cálcio e Magnésio

O cálcio é absorvido pelas raízes como Ca^{2+} sendo que altas concentrações de K^+ , Mg^{2+} e também N-NH_4^+ diminuem sua absorção. O cálcio absorvido é transportado no xilema e em parte pelo floema. Depois de transportado para as folhas o Ca se torna imóvel. A maior parte do Ca do tecido vegetal se encontra sob formas não solúveis em água, como o pectato de cálcio, a principal substância da lamela média da parede celular, e sais cálcicos de baixa solubilidade como carbonatos, sulfatos, fosfatos, silicato, citrato, malato, oxalato. Além da função estrutural do Ca, de integrar a parede celular, ele é requerido para a divisão e alongação celular. Na ausência de um suprimento adequado de Ca, o crescimento radicular cessa em pouco tempo. Este nutriente também é indispensável para a germinação do grão de pólen e para o crescimento do tubo polínico.

As plantas absorvem o magnésio na forma de Mg^{2+} . A absorção de Mg é reduzida por altas concentrações de K^+ , Ca^{2+} e NH_4^+ , devido à inibição competitiva entre esses cátions. A inibição pode levar à falta desse nutriente nas plantas. O magnésio é móvel no floema, sendo que grande parte do Mg da planta encontra-se na forma solúvel, por isso é facilmente redistribuído. Nos tecidos das plantas cerca de 70% do Mg total encontra-se associado com ânions inorgânicos e orgânicos como malato e citrato; também é encontrado associado a ânions como oxalato e pectato.

Na planta a principal função do magnésio é compor a molécula de clorofila, correspondendo a 2,7% do peso das mesmas. Outra importante função deste macronutriente é a ativação enzimática, o Mg ativa mais enzimas do que qualquer outro elemento. Neste caso, o papel principal do Mg é o de cofator de quase todas as enzimas fosforilativas, formando uma ponte entre o pirofosfato do ATP ou do ADP e a molécula da enzima. A transferência de energia desses dois compostos é fundamental nos processos de fotossíntese, respiração, reação de síntese de compostos orgânicos (carboidratos, lipídeos, proteínas), absorção iônica e trabalho mecânico executado pela planta. Ainda, o Mg atua como "carregador" do P, de modo que, na presença do Mg, a absorção de P pelas plantas é aumentada. Acredita-se que tal efeito seja devido ao papel do Mg nas reações de fosforilação e pelo fato do Mg e o P caminharem juntos para as sementes. Segundo MALAVOLTA *et al.* (1997), a absorção do H_2PO_4 é máxima na presença do Mg^{2+} .

Sintomas característicos da deficiência de cálcio incluem a necrose das regiões meristemáticas jovens, como os ápices radiculares ou folhas jovens. A necrose em plantas de lento crescimento pode ser precedida por uma clorose generalizada e um curvamento, para baixo, das folhas. Um dos sintomas característicos da deficiência de magnésio é a clorose entre as nervuras foliares, ocorrendo primeiro nas folhas mais velhas devido à mobilidade deste elemento dentro do vegetal (Fig. 5. 11).

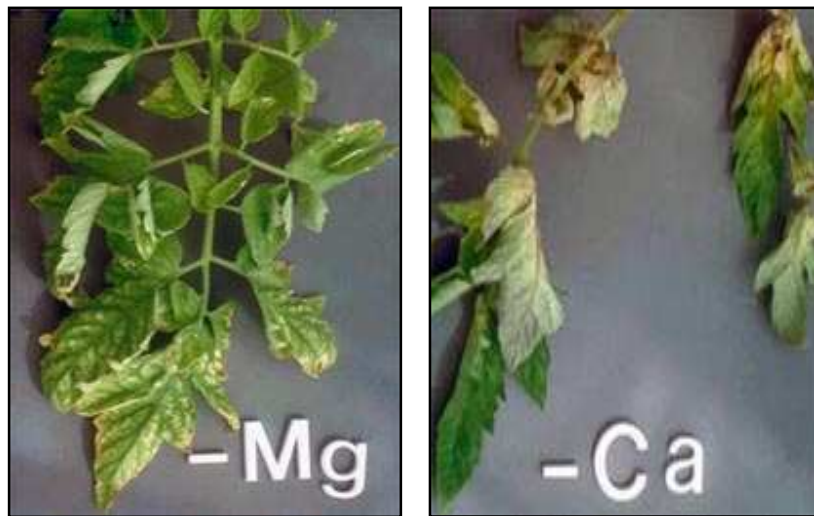


Fig. 3.11. Plantas com deficiência de Magnésio e Cálcio.
Fonte: www.aquahobby.com

3.3.3.5. Enxofre

A forma de enxofre absorvida da solução do solo pelas raízes das plantas é o sulfato SO_4^{2-} . Embora o enxofre seja absorvido principalmente como SO_4^{2-} , é encontrado na planta, em maior parte, nas formas reduzidas como o sulfeto, deste modo, a incorporação do S em compostos orgânicos exige a sua redução prévia. Esta redução necessita de energia do ATP e de poder redutor. O processo ocorre principalmente durante o período luminoso e as enzimas estão localizadas nas membranas dos cloroplastos. O enxofre está presente em todas as proteínas, já que os aminoácidos mais importantes, cisteína e metionina contêm S. Uma outra função importante do S no metabolismo é a participação direta do grupo sulfidrilo (-SH) como grupo ativo das enzimas na ligação com o substrato, embora nem todos os grupos SH livres sejam ativos. Alguns compostos voláteis contendo S contribuem para odor característico que se desprendem de alguns produtos como, por exemplo, a cebola, o alho e a mostarda.

O enxofre não reduzido (sulfato) é constituinte estrutural das membranas celulares. Devido à sua participação num grande número de compostos e reações, a carência de S provoca uma série muito grande de distúrbios metabólicos. Nestas condições, pode ocorrer diminuição na fotossíntese e na atividade respiratória, queda na síntese de proteínas gerando aumento na relação N solúvel/N protéico, acúmulo de carboidratos com o aparecimento de altas relações de C solúvel/C amido e diminuição na fixação livre e simbiótica do N_2 do ar. Muitos dos sintomas da deficiência de enxofre são similares aos da deficiência de nitrogênio, incluindo clorose, redução do crescimento e acúmulo de antocianinas (Fig.3.12). Tal similaridade deve-se a que ambos são constituintes de proteínas. Entretanto, a clorose causada pela deficiência de enxofre aparece, em geral, inicialmente em folhas jovens e maduras, em vez de folhas velhas, como na deficiência de nitrogênio, porque, ao contrário do nitrogênio, o enxofre não é remobilizado com facilidade para as folhas jovens, na maioria das espécies. No

entanto, em muitas espécies vegetais, a clorose por falta de enxofre pode ocorrer simultaneamente em todas as folhas ou até mesmo iniciar em folhas velhas.



Fig. 3.12. Deficiência de enxofre na planta.
Fonte: www.aquahobby.com

3.3.3.6. Boro

Existindo nas plantas na forma do ânion borato (BO_3^{3-}) o principal papel do B nas plantas é o de regulador do metabolismo de carboidratos. Acredita-se que seja importante na síntese de uma das bases que forma o RNA (uracil). Está associado à germinação do pólen e à formação do tubo polínico. Sua concentração foliar pode variar de 1 a 6 mg/kg nas monocotiledôneas; de 20 a 70 mg/kg nas dicotiledôneas e de 80 a 100 mg/kg nas dicotiledôneas produtoras de látex. Um sintoma característico da deficiência de boro é a necrose preta de folhas jovens e gemas terminais, ocorrendo nas folhas, principalmente na base da lâmina foliar. Os caules ficam anormalmente rígidos e quebradiços. A dominância apical pode ser perdida, tornando a planta altamente ramificada, tornando os ápices terminais necróticos devido à inibição da divisão celular. Podem apresentar anormalidades relacionadas à desintegração de tecidos internos (Fig.3.13).



Fig. 3.13. Deficiência de boro na planta.
Fonte: www.aquahobby.com

3.3.3.7. Cloro

O cloro não é encontrado em nenhum metabólito em plantas superiores. Sua atuação parece estar relacionada a um papel de neutralizador de cátions e do equilíbrio osmótico de planta. Existem evidências de que o elemento esteja envolvido na evolução do oxigênio nos processos fotossintéticos. Plantas como coqueiro e dendê são muito responsivas ao cloro, podendo, nessas plantas, apresentar-se em concentrações foliares de até 2 dag/kg de matéria seca. Plantas deficientes em cloro desenvolvem murcha dos ápices foliares, seguida por clorose e necrose generalizadas (Fig.3.14). As folhas podem exibir crescimento reduzido, eventualmente assumindo uma coloração bronzeada "bronzamento".

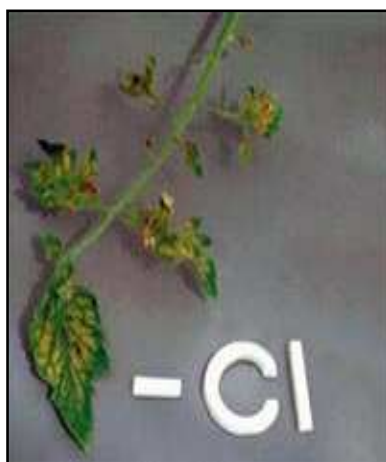


Fig. 3. 14. Deficiência de cloro na planta.
Fonte: www.aquahobby.com

3.3.3.8. Ferro

O Ferro é constituinte de inúmeros metabólitos, podendo ser parte integrante de proteínas e de enzimas mitocondriais relacionadas com o transporte de elétrons, ou mesmo cofator de outras enzimas. Participa da redução do nitrato e do sulfato e da produção de energia. Sendo essencial para a síntese de clorofila, podem ser observadas correlações significativas entre o teor de Fe e de clorofila na planta. O sintoma característico é a clorose internervura. Ao contrário dos sintomas da deficiência de magnésio, no caso do ferro, tais sintomas aparecem inicialmente nas folhas mais jovens porque o ferro não pode ser prontamente mobilizado nas folhas mais velhas. Sob condições de deficiência extrema ou prolongada, as nervuras podem tornar-se cloróticas também, fazendo com que toda a folha torne-se branca (Fig.3.15).



Fig. 3.15.Deficiência de ferro na planta.
Fonte: www.aquahobby.com

3.3.3.9. Manganês

Com concentração variando entre 20 e 100 mg/kg na matéria seca de folhas, o Mn atua como ativador de muitas enzimas. Está envolvido em processos de oxidação e redução no sistema de transporte de elétrons. Os sintomas associados a esta deficiência são a clorose internervura associada ao desenvolvimento de pequenas manchas necróticas, podendo ocorrer em folhas jovens ou maduras, dependendo da espécie vegetal e da taxa de crescimento (Fig.3.16).



Fig. 3.16. Deficiência de manganês na planta.
Fonte: www.aquahobby.com

3.3.3.10. Zinco

Atuando como constituinte de algumas enzimas (desidrogenases, p. ex.) ou como cofator destas, sua faixa de concentração normal nos tecidos foliares pode variar de 27 a 150 mg/kg na matéria seca, conforme a espécie. Deficiência de zinco é caracterizada pela redução do crescimento internodal e, como resultado, o crescimento rosetado apresentado pela planta, no qual as folhas um agrupamento circular que se irradia do substrato ou próximo do mesmo. As folhas podem apresentar-se pequenas e retorcidas, com margens de aparência enrugada. Em algumas espécies as folhas mais velhas podem apresentar clorose internervuras e conseqüentemente desenvolver manchas necróticas brancas (Fig. 3.17).

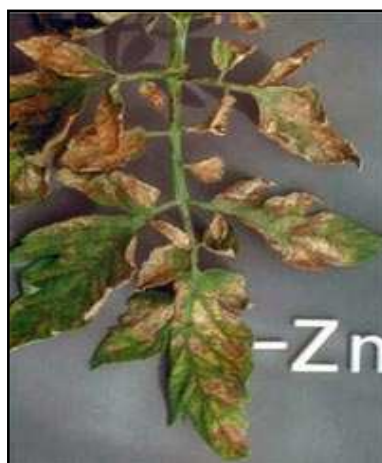


Fig. 3.17. Deficiência de zinco na planta.
Fonte: www.aquahobby.com

3.3.3.11. Cobre

Assim como o Zn, o cobre atua como constituinte e cofator de enzimas, participa do metabolismo de proteínas e de carboidratos e na fixação simbiótica de N_2 . Concentrações foliares normais podem variar de 5 a 30 mg/kg. O sintoma inicial de sua deficiência é a produção de folhas verdes escuras, que podem conter manchas necróticas. As manchas necróticas aparecem primeiro nos ápices das folhas jovens e então estender-se em direção a base da folha, ao longo das margens. As folhas podem também ficar retorcidas ou malformadas. Sob deficiência extrema, as folhas podem cair prematuramente (Fig.3.18).



Fig. 3.18. Deficiência de cobre na planta.
Fonte: www.aquahobby.com

3.3.3.12. Molibdênio

O molibdênio está envolvido com várias enzimas, principalmente naquelas que atuam na fixação de N_2 atmosférico (nitrogenase) e na redução do nitrato (nitrato-redutase). Plantas dependentes da simbiose ou aquelas nutridas apenas por nitrato, quando ausente o Mo, apresentam deficiência de N. O teor foliar de molibdênio normalmente é inferior a 1 mg/kg na matéria seca. O primeiro indicativo desta deficiência é a clorose generalizada entre as nervuras e a necrose das folhas mais velhas. Em algumas espécies, pode não existir a necrose, mas as folhas podem tornar-se retorcidas e morrer. Existe a possibilidade que a formação de flores seja inibida ou as flores podem cair prematuramente (Fig. 3.19).



Fig. 3.19. Deficiência de molibdênio na planta.
Fonte: www.aquahobby.com

3.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEPETU, J.A. & COREY, R.B. Organic phosphorus as a predictor of plant available phosphorus in soils of Southern Nigeria. *Soil Science*, v. 122, p. 159-164, 1976.
- AIKEN, R.M., JAWSON, M.D., GRAHAMMER, K., et al. Positional, spatially correlated and random components of variability in carbon dioxide efflux. *Journal of Environmental Quality*, v.20, n.1, p.301-308, 1991.
- ANGHINONI, I. Adubação nitrogenada nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SANTANA, M.B.M. Adubação nitrogenada no Brasil. Ilhéus: CEPLAC/SBCS. Cap.I. p.1-18. 1986.
- ARNON, D. I. & STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant physiol*, Washington, v.14, p. 371-375, 1939.
- ASMAN, W.A.H. et al. Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition. *New Phytologist*, New York, n.139, p.27-48, 1998.
- CROSS, A. F. & SCHLESINGER, W.H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Application to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma*, v. 64, p.197-214, 1995.
- EPSTEIN, E. Nutrição mineral das plantas - Princípios e perspectivas. Tradução e notas: E. Malavolta. São Paulo, Livros Técnicos e Científicos. Ed. S.A., 1975. 341 p.
- HARPER, J.E. Nitrogen metabolism. In: BOOTE, K.J., BENNETT. J.M., SINCLAIR, T.R., et al. *Physiology and determination of crop yield*. Madison:ASA/CSSA/SSSA. Chapt.11A. 1994
- KIMBALL, B.A., LaMORTE, R.L., SEAY, R.S., et al. Effects of free air CO₂ enrichment on energy balance and evapotranspiration of cotton. *Agricultural Forest and Meteorology*, v.70, n.1, p.259-278, 1994.
- LOPES, A. S. Mineralogia do potássio em solos do Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1982, Londrina. Potássio na agricultura brasileira: Anais. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato / Instituto Internacional da Potassa, p.51-65, 1982.
- LOPES, A.S. Manual Internacional de Fertilidade do Solo. 2 ed. rev. e amp. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 177p.

- MALAVOLTA, A. C.; AMOREIRA, E.; SILVEIRA, R. L. V. A.; ABREU, J. B. R. Avaliação da disponibilidade do fósforo no solo por métodos Isotópicos, químicos e biológico. Scientia Agrícola, v. 54, n.1-2 Piracicaba. 1997.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1980. 254 p.
- MALAVOLTA, E.; CROCOMO, O. J. Funções do potássio nas plantas. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N. R. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: POTAFOS, p. 95-162, 1982.
- NEVES, F.F; SILVA, F.G.B; CRESTANA, S. Uso do modelo AVSWAT na avaliação do aporte de nitrogênio (N) e fósforo (P) aos mananciais de uma microbacia hidrográfica contendo atividade avícola. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.11, n. 4, p. 311-317, 2006.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- SUTTON, M.A. et al. The exchange of ammonia between the atmosphere and plant communities. Advances in Ecology Research, London, n.24, p.301-393, 1993.
- TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. & BEATON, J. D. Soil fertility and fertilizers. 4a ed. New York, MACMILLAN, 1984. 754 p.
- VITOUSEK, P.M. Can planted forests counteract increasing atmospheric carbon dioxide? Journal of Environmental Quality, v.20, n.2, p.348-354, 1991.
- WALBRIDGE, M.R. Phosphorus availability in acidic organic soils of the lower North Carolina coastal plain. Ecology, 72:2083-2100, 1991.

SITES

www.aquahobby.com

www.escolavesper.com.br

www.wikipédia.org

www.aprendebrasil.com.br

Capítulo 4

CARACTERIZAÇÃO DE SUBSTRATOS PARA FINS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Fabiano de Carvalho Balieiro

4.1. INTRODUÇÃO

A caracterização de solos para uso agropecuário passa por diversas fases dependendo da sua aptidão. A título de exemplo, cita-se o sistema FAO/Brasil de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (RAMALHO FILHO *et al.*, 1983; RAMALHO FILHO *et al.*, 1995) que, de forma inovadora, tenta considerar implicitamente, os níveis de manejo, num reconhecimento altamente válido para países como o Brasil, de que problemas de solo não são igualmente importantes para o grande e pequeno produtor. Além disso, esse sistema é capaz de estimar a viabilidade de redução dos problemas por meio do uso de capital e técnica, o que vai afetar diferentemente o grande e o pequeno agricultor (RESENDE *et al.*, 2002). Pois bem, para que esse sistema de avaliação funcione é necessário então que seja feita uma estimativa dos problemas; a estimativa da redução desses problemas conforme o nível de manejo considerado e o confronto dessas informações. E para consecução dos primeiros dois itens, são necessários, por ordem, os seguintes passos: (i) uma lista de atributos do solo e do ambiente; (ii) uma síntese da qualidade do ecossistema, quanto ao crescimento de plantas e uso agrícola. Os atributos nutrientes, água, oxigênio, impedimentos à mecanização e suscetibilidade à erosão são estimados em termos de desvio destes em relação a um solo ideal e (iii) estimativa da viabilidade de redução desses desvios conforme as condições técnicas e de capital (nível de manejo). Neste último, segundo RESENDE *et al.*

(2002), entra uma forte base de informações não quantificáveis e, às vezes, nem expressáveis, adquiridas pela vivência na área por parte do avaliador.

Essa breve introdução tem como objetivo exemplificar o quanto é complexo avaliar a qualidade de determinado ambiente quanto a sua aptidão para uso agrícola e demonstrar ao leitor o desafio de caracterizar solos e substratos degradados, pois uma infinidade de materiais irá surgir para usos diversos, dependendo da localização da área, método de tratamento do minério, recursos disponíveis para isso ou para sua recuperação, pressão da sociedade, dentre outros aspectos.

Esse capítulo tenta, de forma resumida, apresentar algumas diferenças na morfologia, composição química e física de solos e substratos degradados encontrados em nosso território, bem como algumas ferramentas e metodologias utilizadas para essa caracterização.

4.2. EXEMPLOS DE SOLOS E SUBSTRATOS DEGRADADOS

Por ser praticamente impossível caracterizar todos os solos ou substratos com algum grau de degradação, buscou-se dividir os exemplos de acordo com a magnitude do processo que levou a degradação. Atividades agropecuárias apresentam-se como exemplos de situação cujo impacto é variável, mas com consequências normalmente difusas, ou seja, podem passar despercebidas por ocuparem grandes extensões e serem pouco evidentes. Por outro lado, atividades de mineração ou obras civis têm impacto acentuado, porém pontuais, ou seja, ocupando menores áreas. DIAS (1998) classificou os materiais a serem recuperados, em seis categorias: resíduo geológico em área remanescente plana; taludes decorrentes de cortes e de construção de barragens, cavas de minas, substratos remanescentes de mineração a céu aberto, horizontes reconstituídos em áreas mineradas e depósitos controlados e não controlados. No presente texto todas as categorias são comentadas e ilustradas.

Os exemplos mais expressivos de solos degradados no Brasil, dado a extensão (em área) são as pastagens e os campos agrícolas dos biomas Mata Atlântica e Cerrados. A ocupação litorânea e a interiorização da agricultura intensificaram a perda da cobertura vegetal nativa e o uso intensivo e pouco conservador do solo, intensificou as perdas de matéria orgânica do solo (MOS) e da biodiversidade, com consequências incomensuráveis sobre a resiliência e o biogeoquimismo dessas áreas. Tanto que esses dois biomas encontram-se na lista dos *Hotspot* do planeta, ou seja, biomas com elevada biodiversidade e endemismo e que perderam mais de 75% de sua cobertura vegetal original (MYERS *et al.*, 2000).

Nesses ambientes (e também nos demais biomas brasileiros) encontram-se solos em diferentes estágios de degradação, sendo a característica comum desses solos a perda parcial ou total das camadas superficiais do solo. É nessa camada que se encontra a maior parte das reservas de nutrientes dos solos tropicais, de propágulos e da biota capaz de transformar essa matéria em energia e nutrientes.

A intensidade de determinado dano ao solo pode estar diretamente relacionada com o manejo dado à área (por exemplo, pressão de pastejo, uso implementos diversos, de cobertura morta, fogo, etc.), mas a topografia e fatores climáticos, como frequência e intensidade de chuvas podem acelerar os processos de degradação do solo. Extensas áreas do bioma Mata Atlântica, encontram-se em estágio avançado de degradação devido a perda da cobertura arbórea, e a baixa produtividade das pastagens (que hoje dominam o ambiente) que retroalimentam

essa situação. Como consequência, observa-se a baixa proteção do solo e início dos processos erosivos (erosão laminar), podendo chegar a uma situação extrema de voçorocamento (Fig.4.1). Outros exemplos de dano extremo citam-se áreas cujos horizontes superficiais (A e, ou B) são completamente retirados para construção de ferrovias, rodovias ou obras civis complexas como barragens. Nesses casos, observa-se que o **resíduo geológico remanescente** difere completamente daquele existente anteriormente, principalmente pela ausência da MOS e camadas (expostas) relativamente homogêneas, dependendo do perfil decapitado. Poços terrestres de extração de petróleo (cavalinhos) geram materiais que poderiam ser incluídos nesse grupo, com agravante de apresentarem-se em mistura com óleo, que dá um caráter hidrofóbico ao substrato.



Fig. 4.1. Ambiente característico do Bioma Mata Atlântica, com sinais de degradação incipientes (A) e acelerado (B - voçorocamento). Fotos cedidas por Dr. Cláudio Lucas Capeche.

Em atividades de mineração, com a exploração em cavas ou mesmo em obras rodoviárias ou hidrelétricas, surgem **taludes** oriundos do corte do terreno, podendo esses possuir diferentes conformações e dimensões. A Fig. 4.2 ilustra bem essa diversidade num universo de atividades de mineração. Em duas minas da Companhia Vale do Rio do Doce, em Carajás – PA, observa-se comprimento de talude e de bermas bem diferenciado para a cava da mina de Fe (15 e 5 m, respectivamente), comparativamente a de Au (8 e 1 m). Logicamente que essa conformação é função da natureza física do material a ser lavrado, da composição química e localização do minério, que determina o volume e plano de exploração da mina, dentre outros fatores, mas normalmente e dependendo a profundidade, podem-se observar taludes com certo padrão ou com grande heterogeneidade quanto a conformação e composição química e física. Nessa categoria (taludes), pode-se incluir também àqueles decorrentes da construção de barragens, cuja composição é mais homogênea e a conformação preestabelecida, de forma a não comprometer sua estabilidade e vida útil.



Fig.4.2. Conformação de taludes de cavas de minas de Fe e Au, em Carajás – PA.

Durante as atividades de mineração em céu aberto, a retirada do minério sem o retorno do estéril ou de outros materiais (podendo ser o próprio solo de local em abertura) propicia o surgimento de uma remanescente com natureza física e química diversa. Dependendo da composição geológica local ou dos minerais associados a jazida de interesse, sérios problemas poderão surgir em decorrência da exposição desses material a atmosfera e umidade. Exemplos são as minas de ouro, níquel, zinco e carvão mineral, que concentram quantidades expressivas de minerais ditos acessórios como sulfetos (MELLO e ABRAHÃO, 1998, MELLO *et al.*, 2006). Sulfetos como a pirrita (FeS_2), calcopirrita (CuFeS_2), arsenopirita (FeAsS), galena (PbS) quando expostos ao ar, encontram condições de umidade e oxigenação ideais para se oxidarem, promovendo a redução significativa do pH de águas subterrâneas e superficiais, com conseqüências incomensuráveis sobre recursos hídricos e biota associada. O Box 4.1 sumariza a geoquímica da drenagem ácida descrita por MELLO e ABRAHÃO (1998) e EVANGELOU e CHAPEL (1998).

Atualmente, o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), que deve ser apresentado simultaneamente ao EIA e ao RIMA deve conter o plano de fechamento da mina. A finalidade ou uso futuro da área determina o grau de intervenção antrópica. Cavas recém abandonadas podem ser preenchidas com estéril de cavas em abertura. Esse preenchimento poderá seguir um plano ideal, no qual se preenche as camadas mais profundas com materiais de menor valor ecológico, em se tratando de recuperação e finaliza-se com materiais mais ricos em matéria orgânica e propágulos, como forma de ativação natural do processo sucessional local. Dependendo da disponibilidade de recursos financeiros, espaço para organização desses materiais, ou mesmo tempo de espera, esses **horizontes reconstituídos** poderão ser homogêneos ou heterogêneos sob o ponto de vista físico e químico.

Box 4.1

A drenagem ácida é um problema severo de poluição ambiental associada a mineração de carvão, de ouro, ou mesmo, urânio, prata e cobre que contenham sulfetos, mas principalmente a pirita. Os produtos da oxidação dos sulfetos além de serem altamente solúveis, apresentam reação fortemente ácida, de modo que são facilmente dissolvidos na fase líquida acidificando as águas de drenagem. Águas naturais tornam-se ácidas e com altas concentrações de sulfato e ferro. Em razão dos baixos valores de pH (que podem chegar a 2 ou menos), outros elementos tóxicos como alumínio (Al), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), chumbo (Pb), mercúrio (Hg) e cádmio (Cd), se presentes no meio, são solubilizados e mobilizados nas águas de drenagem, comprometendo o balanço ecológico dos recursos hídricos.

Reações produtoras de acidez

A reação inicial é a oxidação do sulfeto, pelo O₂ atmosférico, produzindo sulfato, Fe ferroso e íons H⁺ em solução:



Na sequência o Fe ferroso oxida-se à ferro férrico e este, sofrendo hidrólise, produz mais acidez.



Embora a reação de hidrólise do Fe³⁺ limite a atividade do Fe³⁺ livre na solução, essa reação passa a ser limitada quando o pH cai a valores abaixo de 3,5. Nessas condições o Fe³⁺ passa a atuar como receptor de elétrons na superfície dos cristais de pirita, tornando-o o principal mecanismo de oxidação de sulfetos e produção de ácidos, segundo o equilíbrio:



O O₂ passa a ter um papel indireto na reoxidação do Fe²⁺, regenerando o Fe³⁺ e o processo torna-se autopropagante, constituindo um ciclo capaz de gerar grandes quantidades de acidez. Essa reação é catalisada por bactérias quimioautotróficas ferro-oxidantes *Thiobacillus ferrooxidans* e acelera a oxidação de Fe²⁺ por um fator de 10⁶.

Durante e após a exploração e beneficiamento do minério tem-se dois tipos de materiais denominados **estéril** e **rejeito**. Estéril é todo material descartado (podendo este descarte ser temporário em função das exigências de mercado e disponibilidade) durante a lavra do minério. Por exemplo, a exploração da bauxita se dá cerca de 8 m de profundidade em Porto Trombetas – PA, o que implica dizer que todo o material sobrejacente a essa camada de exploração não será utilizado; da mesma forma, já foi visitada pilhas de hematita de mais de 20 m de altura, ocupando mais de 10 ha, que eram denominadas de estéril por possuírem menor percentual de Fe que a exigida no momento pelo mercado internacional, o que não implica dizer que esse estéril não poderá ser fonte de Fe, num momento posterior. Uma característica que difere o estéril do rejeito é o fato do primeiro material não ter sofrido qualquer alteração decorrente do beneficiamento do minério. A britagem ou moagem do minério pode até ocorrer, mas as operações de concentração do mineral-minério ou sua purificação ocorrem apenas durante o beneficiamento ou tratamento do minério (LUZ e LINS, 2004).

Atualmente são conhecidas mais de 1.550 espécies minerais distintas; destas, cerca de 20 são elementos químicos e encontram-se no estado nativo (cobre, ouro, prata, enxofre, grafita etc.) e o restante é constituído por compostos, ou seja, com mais de um elemento químico (ex., barita, pirita, etc) (LUZ e LINS, 2004).

Assim, pode-se imaginar a infinidade de materiais constituintes de estéreis, tanto sob o aspecto físico, como químico, como de rejeitos. Esses últimos então, que são frutos do tratamento ou beneficiamento do minério, podem possuir características também diversas. Ambos os materiais, independente de composição ou característica podem ser classificados como **depósitos controlados e não-controlados** (Dias, 1998). Depósitos controlados podem ser melhor ilustrados com os tanques de rejeito da lavagem da bauxita ou Mn (Fig.4.3).



Fig. 4.3. Tanques de rejeito da lavagem de bauxita (A) e de Mn sendo recoberto com camada de topsoil (b). Foto A cedida por Dr. Avílio A. Franco.

Depósitos não controlados são áreas onde a deposição resulta na mistura de materiais de diferentes granulometrias e composição química, decorrentes inclusive do tempo de intemperismo e da pluridade de materiais de origem (DIAS, 1998).

3. AMOSTRAGEM DE SUBSTRATOS DEGRADADOS

A amostragem para fins de caracterização de uma população qualquer (seja de indivíduos, seja de atributos do solo) tem como objetivo permitir que o todo seja representado por uma parcela dessa população. Desta forma, quanto mais homogênea for a população, menor poderá ser a amostra capaz de representá-la, sendo o inverso verdadeiro, ou seja, quanto mais heterogênea for a população, maior deverá ser a amostra para que essa represente com fidelidade a população. Porém, devido aos erros decorrentes da análise de determinado atributo, pode-se reduzir a exatidão da sua avaliação mesmo que toda população seja amostrada. Em se tratando da amostragem de solos para fins de avaliação da sua fertilidade, pode-se dizer que o valor médio (\bar{x}) de determinada característica de uma amostra é resultante da média real (μ) mais um erro, sendo esse erro constituído de dois tipos de erro, o erro decorrente da amostragem (número de amostras insuficiente, por exemplo) e o de determinação analítica, sendo o primeiro, normalmente, muito maior (CANTARUTTI *et al.*, 2007). Outro fato importante é que não há uniformidade entre a variabilidade das características do solo, ou seja, a magnitude dos coeficientes de variação e a ordem das características quanto à variabilidade variam de acordo com o solo. O Box 4.2 sumariza a estratégia de determinação do número de amostras

ideal para caracterização de determinado atributo do solo (e que poderia ser usado para substratos) (LUZ e LINS, 2004; CANTARUTTI *et al.*, 2007).

Porém, em função de fatores como custo de análise, busca-se representar a média de características do solo por meio da mistura de amostras simples e composição e análise de amostras compostas. Desta forma, não se tem informação da variabilidade da característica, mas das condições médias de tal característica (CANTARUTTI *et al.*, 2007). A estimativa das médias depende da variabilidade entre as amostras simples e, portanto, do número de amostras simples. É condição essencial que amostra simples tenha o mesmo volume de solo e a mistura seja o mais homogênea possível (COMISSÃO..., 1989).

Considerando o solo então como um sistema aberto, naturalmente heterogêneo, dado as particularidades pedogenéticas e de interação com fatores bióticos (organismos, incluindo o homem) e abiótico (clima) é fundamental que se planeje bem a amostragem para fins de caracterização de solos e substratos degradados. É fato que muito que se tem feito no Brasil em áreas degradadas é uma replicação do que é feito para solos agrícolas, ou seja, dependendo do atributo a ser avaliado, ou conjunto de atributos a serem analisados, busca-se planejar uma amostragem com maior ou menor intensidade de pontos a serem coletados. A estratificação da área a ser amostrada em função de **cor do material, posição na encosta, cobertura vegetal ou cultura, textura do solo, drenagem e histórico da área**, deve ser considerada também quando se pensa em amostrar solos ou substratos degradados. Porém, utilizando a definição de “indivíduo” na “população solo” de CANTARUTTI *et al.* (2007): *solo é a menor área, considerando determinada profundidade (portanto, volume) que se deve amostrar para caracterizar a fertilidade de um volume de solo efetivamente explorado por uma planta ou uma população de plantas, cujas dimensões laterais devem ser grandes o bastante para incluir variações representativas na composição do solo*, pode-se afirmar que uma boa dose de bom senso e de conhecimento dos métodos analíticos de avaliação da fertilidade do solo deve ser tomada quando se amostra solos e substrato degradados para caracterização de determinados substratos.

Devido as particularidades dos diferentes materiais a serem recuperados, optou-se por tratar os solos que tenham perdido parcial ou totalmente sua capacidade de se regenerar (com baixa resiliência), dado a perda dos horizontes superficiais e solos com horizontes subsuperficiais expostos (**resíduo geológico remanescente** e **taludes** oriundos de atividades mais impactantes) como um grupo específico de materiais, dado a ausência de alteração via beneficiamento e por se tratar de materiais minerais, com composição fortemente associada a composição do material de origem e gênese do solo, e por normalmente não apresentarem minerais acessórios problemáticos e estrutura fraca ou ausente. Distintamente, **horizontes reconstituídos e depósitos controlados e não controlados** devem receber atenção maior para serem caracterizados, dado a complexidade de cada processo de beneficiamento, da forma e tempo de exposição e armazenamento dos materiais, principalmente.

Pensando na **revegetação** de solos e substratos degradados como objetivo final em programas de recuperação de áreas degradadas, pode-se dizer que as variações horizontais em pequenas distâncias não terão tanta importância quanto às verticais, principalmente para o segundo caso (horizontes reconstituídos e depósitos controlados ou não). Normalmente, em depósitos controlados, como tanques de rejeito da lavagem da bauxita, apresentam-se com áreas com materiais mais homogêneas física e quimicamente, tanto horizontal quanto verticalmente, não

necessitando desta forma de um número tão elevado de amostras compostas para que sejam representativas do todo (tanque). Pequena variação vertical na granulometria, em decorrência dos ciclos de umedecimento e secagem, ou mesmo de condutividade elétrica, em função da evaporação dos tanques de rejeito alcalino de bauxita pode ser observada e deve nortear planos de amostragem específicos. Em depósitos de estéril não controlados (tipo bota-fora), porém, grandes variações horizontais ou verticais podem ser observadas e devem ser levadas em conta, quando se pensa em amostragem e caracterização dessas áreas.

Box 4.2

Considerando as variâncias (s^2) das características medidas nas “n” amostras, pode-se estabelecer o intervalo de confiança (L) em que as verdadeiras médias das características ocorrem, para determinado nível de probabilidade (α), usualmente 95 ou 99%, que é obtido pela fórmula:

$$L = y \pm t_{\alpha} (s^2/n)^{1/2}$$

O t_{α} corresponde ao valor tabelado da distribuição de t de Student, para determinado nível α de probabilidade e (n-1) graus de liberdade. Há, portanto, uma inversa entre L e a exatidão. A equação acima mostra que a amplitude (L) em que a verdadeira média pode ocorrer aumenta com a variância (heterogeneidade) e a diminuição do número de indivíduos (amostras) da população avaliados. Por tanto, para determinada a variância, pode-se aumentar a exatidão da medida aumentando o número de indivíduos amostrados. Considerando-se o intervalo (D) como:

$$D = L_s - y = y - L_i$$

em que, L_s = limite superior e L_i = limite inferior do intervalo de confiança, deduz-se a partir da Eq. (1) que:

$$D = t_{\alpha} (s^2/n)^{1/2}$$

ou

$$D^2 = t_{\alpha}^2 (s^2/n)$$

e daí que:

$$\mathbf{n = t_{\alpha}^2 (s^2/D)}$$

O intervalo D pode ser expresso em termos relativos à média, ou seja, como percentagem (f) da média, então:

$$D = y f \text{ ou } D = y (f/100)$$

O desvio-padrão da característica é expresso em termos relativos à média, como coeficiente de variação (CV):

$$CV = (s/y) 100,$$

Do que resulta:

$$s = CV \cdot y / 100$$

Substituindo esses valores de D e s na Eq. 2, tem-se:

$$n = \frac{t_{\alpha}^2 (CV^2 y^2) / 100}{(y^2 f^2) / 100}$$

e simplificando-a, chega-se a:

$$\mathbf{n = (t_{\alpha} CV / f)^2}$$

A partir das equações em negrito então, pode-se definir o número de amostras (n) que se deve tomar de uma população para avaliar uma característica de variância conhecido (s ou CV), de modo que a média desta característica seja estimada de acordo com um limite (D ou f) admissível para os propósitos da avaliação.

4.4. ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS MAIS USADOS NA CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS E SUBSTRATOS DEGRADADOS

Atualmente, muito do que é feito para solos degradados é replicado para caracterização de substratos degradados, com algumas ressalvas conforme

comentado anteriormente. A análise de rotina, que avalia o pH e a disponibilidade dos elementos com maior restrição em solos tropicais é um exemplo disso, mas conforme DIAS (1998) conclui é preciso ter cautela na interpretação dos seus resultados dado ao uso de extratores selecionados para solos. Abaixo, encontram-se as principais análises utilizadas na caracterização de substratos degradados, seu potencial (normalmente associado ao uso para solo agrícola). A maior parte dos procedimentos analíticos é de uso quase que generalizado em solos e outros foram recém introduzidos para a caracterização de solos e substrato degradados, com vista a uma avaliação mais robusta e integrada desses materiais (BALIEIRO *et al.*, 2005; ver Capítulo IV). Vários comentários sobre o potencial de uso deles em RAD foram apontados por DIAS (1998).

4.4.1 Atributos Químicos

Acidez ativa e trocável: a acidez ativa ou o valor de pH em água (usado normalmente com relação solo: água igual a 1;2,5) tem sido muito usada para caracterizar acidez de substratos do solo e indicar o “nível do problema” quanto a disponibilidade de nutrientes essenciais ou tóxicos, como Al ou metais pesados. A trocável, por sua vez, pode ser medida usando-se solução KCl 1N (10g de solo + 50 ml de KCl) e titulando o filtrado com NaOH 0,1N na presença de fenolftaleína (0,1%). Alerta-se para a padronização da relação substrato: água na determinação do pH e para a problemática quanto ao tempo de exposição de materiais sulfetados aos agentes de intemperismo ou mesmo condição de coleta, em relação a amostra tomada.

- **Cálcio e magnésio trocáveis:** Extraídos com solução de KCl N e determinação complexiométrica em presença de indicadores ou por espectrofotometria de absorção atômica. Embora esta juntamente com o uso de resina trocadora de cátions possa ser usada para substratos diversos, a natureza do material ou o próprio tratamento do minério, poderão indicar se os níveis desses elementos são altos ou baixos. Por exemplo, horizontes sub-superficiais expostos ricos em plagioclásios cálcicos ou calco-sódico tenderão apresentar níveis naturais elevados de Ca.
- **Sódio e Potássio trocáveis:** Extração com solução diluída de ácido clorídico (0,05N) e posterior determinação por espectrofotometria de chama com filtro específico. Assim como comentado anteriormente, dependendo da natureza do material, pode-se esperar níveis elevados desses elementos. Rochas sedimentares ricas em carbonatos ou horizontes com presença de minerais primários poderão possuir níveis elevados de Na e K trocáveis. Devido a utilização de NaOH no processo de tratamento da bauxita, o rejeito desse tratamento apresenta-se com níveis elevadíssimos desse elemento.
- **Carbono orgânico:** Oxidação da matéria orgânica via úmida (método conhecido como WALKLEY e BACK (1934) utiliza-se dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$, 0,4 N) em meio sulfúrico, sendo o excesso de dicromato (não utilizado na oxidação da matéria orgânica) titulado com sulfato ferroso amoniacal (0,1 N). A maior limitação do método, conforme reforça DIAS (1998) está na superestimativa de valores de C orgânico para substratos com

teores elevados de Mn e Fe reduzidos, pois quando em contato com o agente oxidante (dicromato), oxidam-se, dando uma falsa impressão de que o agente foi consumido pelo C. A digestão seca, ou seja, por meio de combustão pode ser uma opção mais precisa, mas é interessante que seja avaliada a presença de carbonatos para que superestimativas também não ocorram e conclusões errôneas sejam tomadas. Pode verificar a presença de carbonatos em amostras de substratos, adicionando-se as amostras moídas, gotas de HCl 4 mol/L.

- **Nitrogênio total:** Pouco usado em substratos degradados devido aos baixos teores de matéria orgânica dos mesmos e está praticamente na forma orgânica. O método baseia-se na oxidação do elemento à sulfato de amônia por mistura digestora (CuSO_4 , H_2SO_4 e Na_2SO_4 ou K_2SO_4). O método de destilação a vapor é o mais amplamente difundido. Nesse método, o sulfato de amônio é convertido em amônia (em meio alcalino); esta é condensada e retida por solução de ácido bórico (4%). O destilado é titulado com solução de ácido sulfúrico 0,01 N. Os resultados de Ntotal devem ser avaliados com cautela, pois por ser extremamente dinâmico, entre o período de amostragem e sua determinação, modificações acentuadas pode ocorrer, o que implica dizer que os resultados de uma análise podem não corresponder com os níveis no momento da intervenção.
- **Metais pesados:** Mencionado diversas vezes ao longo do texto, os metais pesados podem ser caracterizados de diversas formas. Os extratores Mehlich-1 (H_2SO_4 e HCl diluídos), Mehlich-3 (NH_4F 0,015 mol/L + CH_3COOH 0,2 mol/L + NH_4NO_3 0,25 mol/L + HNO_3 0,013 mol/L + EDTA 0,001 mol/L tem sido usado para avaliar a disponibilidade de uma ampla variedade de metais pesados do solo, porém conforme detectado por ABREU *et al.* (1995), os dois primeiros extratores e o DTPA (ácido dietiltriáminapenta acético) não apresentaram grande eficiência na extração e correlação com o teor de metais em plantas de trigo e feijão, quando os solos possuem teores naturalmente reduzidos. Por outro lado, SILVA *et al.* (2006) observaram que o DTPA e o Mehlich-1 mostraram-se eficientes em prever a fitodisponibilidade de Zn para plantas de milho. DIAS (1998) sugere que para áreas afetadas por sulfetos, por exemplo, seja necessário uma avaliação mais detalhada, por meio do fracionamento das diferentes formas químicas em que os metais pesados encontram-se no solo.

4.4.2. Atributos Físicos

- **Densidade do solo:** a densidade do solo, conforme visto anteriormente (Capítulo 4) relaciona a massa de determinado volume do solo, considerando o seu espaço poroso. Desta forma, sua aplicação em RAD tem sido muito difundida uma vez que descreve a interação das frações minerais e orgânicas do solo. Solos ou substratos que apresentam redução nos valores desse atributo normalmente apresentam-se como solos em processo de recuperação de funções-chave do solo, como aeração, retenção e infiltração de água, dentre outras. Dificuldades existem na caracterização de solos com granulometria grosseira, como depósitos não controlados da extração de Au, pedreiras e mineração de rochas ornamentais. A resistência a penetração,

medida por meio de penetrógrafo, dá uma idéia da densidade do solo em profundidade e tem sido usada no monitoramento de práticas de condicionamento de substratos degradados (CAMPELLO, 1998).

- **Densidade de partícula:** descreve a relação da massa de determinado volume do solo, desconsiderando então seu espaço poroso. Esse atributo é mais utilizado para uma caracterização da mineralogia do substrato e pode ser interessante, quando usada conjuntamente com a densidade do solo na estimativa da porosidade do solo/substrato, conforme Capítulo 4.
- **Condutividade elétrica (CE):** A condutividade elétrica do solo é uma medida física em que se mede a facilidade com que a corrente elétrica é transmitida entre dois eletrodos numa determinada solução. No caso do solo, normalmente usa-se a pasta saturada para retirada dessa solução e mede-se a condutividade dessa solução (EMBRAPA, 1997). Quando mais eletrólitos essa solução possuir, ou seja, quanto mais sais ela tiver, maior será sua força iônica e condutividade elétrica. Como o potencial osmótico é um componente do potencial total da água do solo e reconhecendo que as plantas são sensíveis a níveis elevados de salinidade ($> 3 \text{ dS/m}$), esse atributo tem sido usado também para caracterizar Substratos. Ainda não um método padrão para avaliação da CE de substratos degradados, por isso, recomenda-se que para qualquer substrato, sejam realizados testes de correlação com o método padrão (pasta saturada) e o alternativo, podendo o modelo ser validado estatisticamente e usado sem grande problemas posteriormente.

4.4.3. Atributos Biológicos

Vários atributos biológicos do solo têm sido usados na caracterização do estado de degradação ou recuperação de solos e substratos degradados, porém citam-se apenas alguns a título de ilustração:

- **Carbono da biomassa microbiana do solo:** A manutenção da matéria orgânica do solo é desejável para a sustentabilidade do uso da terra, em razão dos múltiplos benefícios sobre o *status* de nutrientes, sobre a capacidade de retenção de água e sobre a estrutura do solo. Entretanto, mudanças graduais e pequenas na matéria orgânica do solo podem ser difíceis de monitorar e detectar no curto prazo. A biomassa microbiana do solo (BMS) a qual possui uma taxa de giro (formação e decomposição) rápida tem sido sugerida como uma medida mais sensível de aumento e decréscimo na quantidade total da MOS. A BMS do solo pode ser estimada por diferentes métodos, como: a observação e contagem direta de células microbianas em microscópio, que demanda tempo e mão-de-obra, a análise química do teor de substâncias que apresentam correlação com determinadas populações, como ácido murâmico e ergosterol, para bactérias e quitina, para fungos; além de métodos que avaliam processos, como a respiração, após incubação da amostra de solo em condições específicas. O método mais utilizado é o da **fumigação e extração**. O método utiliza o clorofórmio para matar as células microbianas e o C da BM é determinado pela diferença do teor de C extraído com solução de K_2SO_4 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ de amostras fumigadas e não fumigadas

com o clorofórmio. O C extraído é quantificado pela oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio.

- **Fauna do solo:** A fauna do solo pode ser definida como a comunidade de invertebrados que vivem ou que passam parte do seu ciclo de vida, no solo. Embora existam diversas formas de classificação da fauna do solo, a que estratifica esses invertebrados em classes de tamanho, tem sido amplamente utilizadas em estudo que avaliam o impacto de determinado manejo sobre a estrutura dessa comunidade (CORREIA e OLIVEIRA, 2000). Comunidade no contexto do texto contempla conjunto de populações que interagem entre si, por meio de relações de predação, competição, simbiose etc. População é entendida como o conjunto de representantes de uma mesma espécie, podendo ser estudada por meio da avaliação da densidade de indivíduos, taxa de natalidade ou mortalidade, dentre outras. CORREIA e OLIVEIRA (2000) descrevem os principais métodos para estudos de caracterização da densidade e da diversidade desses animais do solo.
- **Diversidade microbiana do solo:** Entender como se comporta a estrutura da comunidade microbiana e processos associados a sua atividade no solo, como respiração, desnitrificação, mineralização de N e outros, frente a distúrbios de origem antrópica é também importante na avaliação da qualidade do solo. Porém, para acessar a diversidade microbiana do solo é uma tarefa complexa uma vez que no “ambiente solo” existe uma grande diversidade genotípica e fenotípica, heterogenicidade, e inacessibilidade. Os métodos baseados no cultivo são, em maior ou menor grau, seletivos para um ou outro grupo de microrganismos, e mesmo que um meio seletivo seja utilizado para o grupo microbiano que se queira isolar, algumas estirpes podem estar em estado não-cultivável no ambiente e ficariam excluídas das análises (ROSADO e DUARTE, 2002). Porém, em termos moleculares, a diversidade pode ser estimada como o número e a distribuição das diferentes seqüências de DNA extraído de uma comunidade de um determinado habitat. Pesquisas moleculares vêm contribuindo para o estudo das comunidades microbianas do solo, sendo em sua grande maioria, baseadas na reação em cadeia da polimerase (PCR – “Polimerase Chain Reaction” ou RT-PCR – “Reverse Transcription – Polimerase Chain Reaction”) de regiões específicas ou gerais de DNA ou RNA do solo. A técnica de PCR unida à eletroforese em gel com gradiente desnaturante ou de temperatura (DGGE ou TGGE, respectivamente) forma a principal metodologia utilizada para o estudo de comunidades microbianas de amostras ambientais. E desta forma, revelam o perfil da estrutura de comunidades microbianas do solo e da rizosfera, embora esta seja difícil de ser analisada porque alguns organismos menos abundantes podem não ser detectados (PEIXOTO *et al.*, 2008). Em áreas contaminadas por petróleo EVANS *et al.* (2004) conseguiu construir perfis da diversidade de *Pseudomonas spp.* utilizando estas ferramentas.

Embora a biologia molecular avance rapidamente, muitas técnicas e metodologias ainda possuem limitações, falhas ou merecem adequações para as mais diversas situações de estudo (PEIXOTO *et al.*, 2008).

4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na caracterização de solos e substratos degradados tem sido observado o uso de uma série de atributos ditos indicadores da qualidade desses materiais. Porém, como não há consenso entre a escolha de um ou vários atributos que permitam a avaliação segura do estado de degradação ou de recuperação de uma gama de solos ou de substratos degradados, tem sido utilizado métodos qualitativos (análises multivariadas) e quantitativos (índices de qualidade do solo) de integração desses atributos como forma de se caracterizar a qualidade desses materiais. Esse assunto será abordado no Capítulo 10.

Vale reforçar que em função do impacto que determinada atividade exerce sobre o ambiente, esforços e recursos não devem ser limitados para sua recuperação. Desta forma, programas bem estruturado de caracterização e monitoramento de áreas impactadas devem ser implantado com vista ao sucesso do PRAD e não ao simples atendimento a exigência legal. Embora o conhecimento e as ferramentas em uso para a caracterização de substrato não sejam as ideais (para algumas situações), essas mesmas ferramentas tem sido usadas com sucesso para essa finalidade e para o monitoramento da qualidade desses ambientes em áreas com alto impacto ambiental (LYNCH, *et al.*, 2004; REIS, 2006).

Finalizando, vale comentar que aspectos de pedologia e geologia para fins de recuperação de áreas degradadas são igualmente importantes para o sucesso de programas de revegetação dessas áreas. Recomenda-se literatura especializada no tema para quem quer se aprofundar na geoquímica e estabilidade física de alguns materiais.

4.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A., ABREU, M.F., VAN RAIJ, B., SANTOS, W.R. Comparação de métodos de análise para avaliar a disponibilidade de metais pesados em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 19: 463-468, 1995.
- BALIEIRO, F. C.; FRANCO, A. A.; Chaer, G.M.; FRANCO, N.O.; REIS, L. L.. Qualidade do Solo em Áreas Degradadas. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2005, Recife. Solos, sustentabilidade e qualidade ambiental. Recife: UFRPE/EMBRAPA SOLOS-PE, 2005.
- CORREIA, M.E.F.; OLIVEIRA, L.C.M. de. Fauna de Solo: Aspectos Gerais e Metodológicos. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, fev. 2000. 46p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 112).
- EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2ª Edição. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EVANS, F.F., SELDIN, L., SEBASTIAN, G.V., KJELLEBERG, S., HOLMSTRON, C., ROSANDO, A.S. Influence of petroleum contamination and bioestimulation treatment on the diversity of *Pseudomonas* spp., in soil microcosms as evaluated by 16S rRNA based PCR and DGGE. *Letters in Applied Microbiology*, 38: 93-98, 2004.
- CANTARUTTI, R.B., BARROS, N.F., PRIETO, H.E., NOVAIS, R.F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: Fertilidade do Solo. NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V.H., BARROS, N.F., FONTES, R.L.F.,
- CANTARUTTI, R.B., NEVES, J.C.L. (Editores). Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p: 769-850 2007.
- CAMPELLO, E.F.C. Sucessão vegetal na recuperação de áreas degradadas. In: Recuperação de Áreas Degradadas. DIAS, L.E., MELLO, J.W.V. (Ed.). Viçosa: UFV – Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, p: 183-196, 1998.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 4ª Aproximação. Lavras, 1989. 176p.
- DIAS, L.E. Caracterização de substratos para fins de recuperação de áreas degradadas. . In: Recuperação de Áreas Degradadas. DIAS, L.E., MELLO, J.W.V. (Ed.). Viçosa: UFV – Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, p: 27-44, 1998.
- DIAS, L.E., FRANCO, A.A., CAMPELLO, E.F.C. Fertilidade do solo e seu manejo em áreas degradadas. In: Fertilidade do Solo. NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V.H.,

- BARROS, N.F., FONTES, R.L.F., CANTARUTTI, R.B., NEVES, J.C.L. (Editores). Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p: 769-850, 2007.
- EVANGELOU, V.P., VANDIVIERE, M., CHAPPEL, M. Remediation of acid drainage through surface coating of iron sulfites. In: Recuperação de Áreas Degradadas. DIAS, L.E., MELLO, J.W.V. (Ed.). Viçosa: UFV – Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, p: 69-86, 1998.
- LYNCH, L. S. Indicadores de recuperação de áreas degradadas pela exploração de bauxita em Porto Trombetas (PA). 2004, 60p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- LUZ, A.B., LINS, F.A.F. Introdução ao tratamento de minérios. In: Tratamento de minérios, 4ª Edição. LUZ, A.B., SAMPAIO, J.A., ALMEIDA, S.L.M. (Editores). Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p: 1-16, 2004.
- MELLO, J.W.V., ABRAHÃO, W.A.P. Geoquímica da drenagem ácida. In: Recuperação de Áreas Degradadas. DIAS, L.E., MELLO, J.W.V. (Ed.). Viçosa: UFV – Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, p.45-57, 1998.
- MELLO, J.W.V., DIAS, L.E., DANIEL, A.M., ABRAHÃO, W.A.P., DESCHAMPS, E., SCHAEFER, C.E.G.R. Preliminary evaluation of acid mine drainage in Minas Gerais State, Brazil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 30: 365-375, 2006.
- MYERS, N., MITTERMEIER, R. A., MITTERMEIER, C. G., FONSECA, G., KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature, 403: 853-858, 2000.
- PEIXOTO, R. S.; ROSADO, A. S.; TAKETANI, R. G.. Bioprospecção da diversidade microbiana cultivável e não cultivável. In: Itamar Soares de Mello; João Lúcio Azevedo. (Org.). Microbiologia Ambiental. 2 ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, v. 01, p. 83-106, 2008.
- RAMALHO FILHO, A., PEREIRA, E.G., BEEK, K.J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 2ª. Ed. Rio de Janeiro, SUPLAN-MA/EMBRAPA, 1983. 57p.
- RAMALHO FILHO, A., BEEK, K.J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3ª. Ed. Ver. Rio de Janeiro, MAARA/EMBRAPA, 1978. 65p.
- REIS, L.L. Monitoramento da recuperação ambiental de áreas de mineração de bauxita na Floresta Nacional de Saracá-Taquera, Porto Trombetas (PA). 2006. 159 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- RESENDE, M., CURI, N., REZENDE, S.B., CORRÊA, G.F. Pedologia: base para distinção de ambientes. 4ª Ed. Viçosa: NEPUT, 2002. 338p.

SILVA, C.A., RANGEL, O.J.P., DYNIA, J.F., MANZATTO, C.V. Disponibilidade de metais pesados para milho cultivado em Latossolo sucessivamente tratado com lodos de esgoto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 30: 353-364, 2006.

Capítulo 5

DEGRADAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA: IMPACTOS DA EROSÃO E ESTRATÉGIAS DE CONTROLE

Cláudio Lucas Capeche

José Ronaldo de Macedo

Rachel Bardy Prado

Thaís Salgado Pimenta

Adoildo da Silva Melo

5.1. INTRODUÇÃO

Processos naturais geológicos e a exploração inadequada dos recursos naturais em diversas atividades agrícolas, industriais e construção civil têm ocasionado o surgimento de áreas degradadas que destoam claramente de suas características de solo, hídricas, relevo e biodiversidade originais.

Um dos problemas mais sérios observados e sentidos em muitos municípios, tanto no meio rural como urbano, é causado pela erosão conhecida como “voçoroca”, que provoca grandes perdas de solo, causa problemas sociais, econômicos e ambientais e, ainda, coloca em risco a vida e o patrimônio da população.

Hoje em dia é cada vez maior o empenho de instituições, públicas ou não, em gerar e/ou adaptar tecnologias que possibilitem a recuperação das áreas degradadas, reincorporando-as aos sistemas produtivos e minimizando os riscos ambientais. A

utilização de práticas conservacionistas mecânicas, edáficas e vegetativas é altamente eficiente no controle da erosão e recuperação de áreas degradadas.

5.2. DEGRADAÇÃO DO SOLO

A degradação do solo pode ser entendida com a deterioração das suas propriedades edáficas e tem como uma das principais causas a erosão.

5.2.1. Erosão

É o processo de desgaste e conseqüente modificação da superfície das terras (rochas e solos), sendo influenciada por: água, vento, cobertura vegetal, topografia e tipo de solo.

A erosão pode ser classificada em geológica e antrópica:

- **Erosão geológica:** refere-se àquela oriunda da atividade geológica (água, vento e gelo) sobre a superfície terrestre, correspondendo a um processo natural, sem a interferência do homem.
- **Erosão antrópica:** refere-se àquela oriunda da interferência do homem sobre o ambiente, intensificando a ação da água da chuva e/ou vento sobre o solo.

5.2.1.1. Causas da Erosão

“Manejo inadequado dos recursos naturais” (Fig. 5.1: A, B, C e D).

- Desmatamentos;
- Queimadas;
- Preparo de solo inadequadamente;
- Cultivos intensivos (esgotantes); e
- Ausência de planejamento de uso e de práticas conservacionistas.

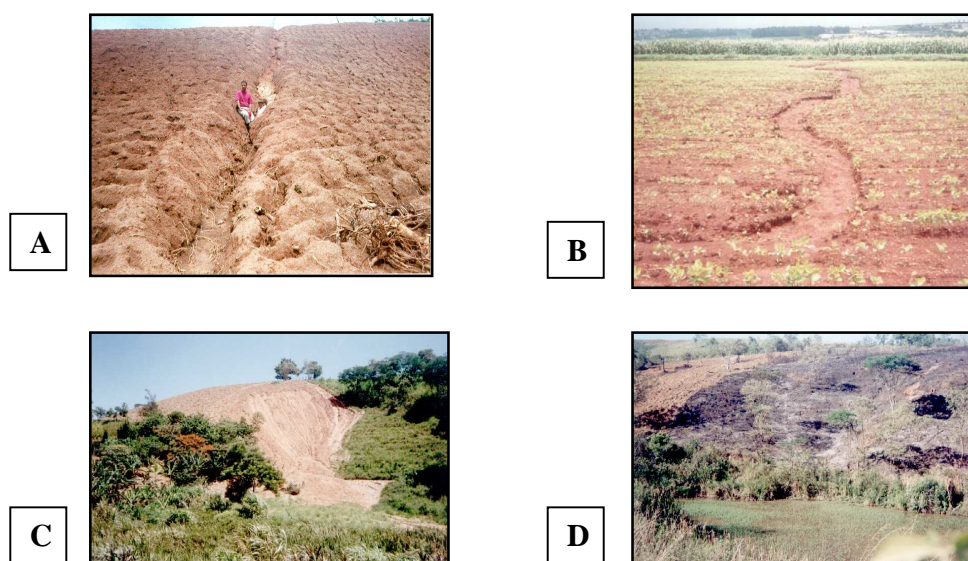


Fig. 5.1. Manejo inadequado dos recursos naturais.

5.2.1.2. Tipos De Erosão

Erosão hídrica - corresponde à ação da água sobre a superfície do solo, promovendo três processos fundamentais: desagregação, transporte e deposição das partículas do solo.

- desagregação das partículas do solo - a desagregação ocorre devido ao impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo sem cobertura vegetal (viva ou morta), provocando o selamento superficial dos primeiros centímetros do solo, a redução da infiltração da água e o escoamento superficial.
- transporte das partículas – o transporte das partículas ocorre devido ao escoamento superficial da água que não infiltrou no solo. Dependendo da intensidade de escoamento o arraste do solo pode ocorrer superficialmente no terreno (erosão laminar), em canais pouco a medianamente profundos, abertos pela força da enxurrada (erosão em sulcos), ou através de grandes sulcos, os quais concentram grande quantidade de água (erosão em voçorocas).
- deposição das partículas – a deposição das partículas é o processo final da erosão e consiste no armazenamento do solo erodido em rios, lagos, represas, açudes, terraços.

Erosão eólica -consiste na ação do vento causando a desagregação de rochas, bem como dos agregados do solo, e, ainda, no transporte e deposição do material desagregado.

5.2.1.3. Consequências da Erosão

- perda da capacidade produtiva dos solos agrícolas (maiores gastos com fertilizantes, agrotóxicos, crédito rural, etc);
- esgotamento dos mananciais de água;
- assoreamento de rios, açudes, represas etc;
- desmoronamentos;
- descapitalização dos agricultores; e
- êxodo rural (entre outras).

5.2.2. Recuperação e Estabilização de Voçorocas

O controle de voçorocas é uma prática que, normalmente, demanda tempo, trabalho e capital e, muitas vezes, torna-se economicamente onerosa. Entretanto, embora as terras que apresentam-se erodidas com voçorocas tenham pequeno valor agregado imediato, elas devem receber um cuidado especial, pelo menos para proteger o ambiente que as cerca, como outras propriedades, nascentes, rios, lagos, barragens etc.

5.2.2.1. Conceito

Denomina-se voçoroca ao estágio mais avançado e complexo da erosão, cujo poder destrutivo local é superior às outras formas e, portanto, mais difícil de ser contida. As voçorocas podem ser formadas através de uma passagem gradual da erosão laminar para erosão em sulcos e ravinas, as quais tem suas dimensões aumentadas, tornando-se cada vez mais profundas, ou então, diretamente a partir de um ponto de elevada concentração de águas sem a devida dissipação de energia.

Outro fator causador do aparecimento de voçorocas é a intervenção humana no ambiente visando obras civis, com a construção de estradas, de represas e a exploração de jazidas minerais.

São Exemplos Clássicos:

- retirada de material saibroso para assentamento do pavimento de rodovia, bem como para construção de barragens e açudes, sem a devida revegetação da área explorada;
- canalização e desvio inadequado das água pluviais nas estradas (Fig. 5.2); e
- revegetação inadequada de taludes resultantes de “cortes” em morros para alocação de estradas são exemplos clássicos.

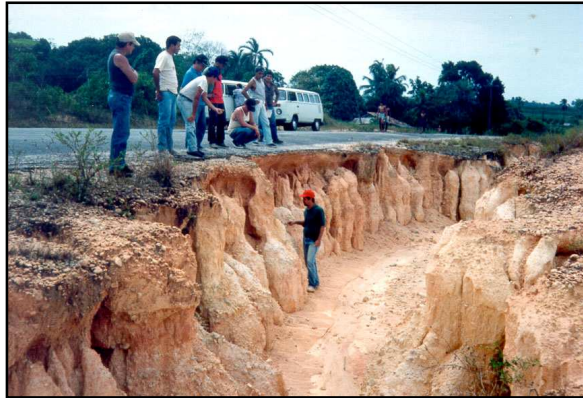


Fig. 5.2. Voçoroca na beira da estrada provocada pelo desvio inadequado das águas pluviais.

Além da erosão superficial, outros processos condicionados pelo lençol freático ou nível da água de subsuperfície, também causam a ampliação das áreas com voçorocas. A presença do lençol freático, interceptado pela voçoroca, induz o aparecimento de surgências de água (minação de água no fundo da voçoroca). Esse fluxo de água no fundo e nas paredes da voçoroca pode ter uma continuidade para o interior do terreno, carregando material em profundidade, formando espaços vazios no interior do solo.

Tal processo, conhecido por erosão interna, avança para o interior do solo na forma de tubos gerando espaços vazios que podem causar o colapso do terreno, com desabamento que alargam a voçoroca ou criam novos ramos ou braços.

Associados aos processos de erosão interna estão os descalçamento e solapamentos da base das paredes da voçoroca, que provocam desmoronamentos ou escorregamentos de solos (Fig. 5.3).



Fig. 5.3. Desmoronamento no interior da voçoroca.

5.2.2.2. Relação do Ambiente e a Ocorrência de Voçorocas

A ocorrência das voçorocas está intimamente relacionada com o ambiente que a cerca, principalmente o relevo, tipo de solo e cobertura vegetal, tendo maior probabilidade de ocorrer em determinado tipo de relevo que em outro. Por exemplo, as áreas que apresentam uma topografia mais movimentada propiciam uma concentração do escoamento superficial (enxurrada) em determinadas irregularidades ou depressões da superfície do solo desprotegido ou trabalhado, originando sulcos que, caso o processo continue, evoluirão para voçorocas.

A vegetação influencia a cobertura do solo, logo os solos que possuem uma boa massa vegetal, em sua superfície, estarão mais bem protegidos da ação erosiva das gotas da chuva, bem como proporcionarão barreiras naturais contra o escoamento superficial, através da deposição de resíduos vegetais como galhos, folhas, frutos etc, além do sistema radicular melhorar a infiltração da água no solo. Do mesmo modo, o caule das arbustivas e arbóreas e as touceiras das plantas herbáceas funcionam como uma barreira para a retenção de sedimentos carregados pela enxurrada (Fig. 5.4).



Fig. 5.4. Barreiras vegetais retendo sedimentos.

A ocorrência de voçorocas está relacionada, também, com os diferentes tipos de solos. Importante citar que cada solo tem uma aptidão, isto é, determinada vocação para ser utilizado, seja para agricultura, para engenharia (estradas, usinas, prédios etc), lazer,

reflorestamentos etc. Quando essa vocação não é respeitada e práticas adequadas de manejo e conservação do solo, da água e vegetação não são utilizadas, ocorre a degradação dos solos, principalmente através da erosão.

As características químicas, físicas, morfológicas e biológicas dos solos estão diretamente relacionadas com a erosão, pois influenciam a infiltração e retenção de água, aeração, crescimento da parte aérea e sistema radicular, retenção de nutrientes, retenção de fertilizantes, compactação, preparo do solo etc.

Uma característica que tem muita importância no processo erosivo é a profundidade do solo. Assim, a presença de rocha à pequena profundidade funciona como um impedimento natural à drenagem do perfil, favorecendo o escoamento superficial e, por conseguinte, aumentando a susceptibilidade à erosão.

Outro aspecto importante diz respeito à profundidade do horizonte C. As voçorocas, principalmente as grandes, se desenvolvem melhor onde há um horizonte C

muito profundo e horizonte A + B mais modesto. A decapitação do solo em alguma parte da encosta, geralmente nas partes baixas, expõe o horizonte C a uma intensa remoção de partículas e, por solapamento, a voçoroca cresce rapidamente no material pouco coeso do horizonte C. As quedas de barreiras nas estradas e cortes de barrancos nas cidades são, geralmente, condicionadas ao carreamento das partículas mais siltosas e menos coesas do horizonte C exposto, em relação às argilas dos horizontes A e B.

5.2.2.3. Classificação das Voçorocas

Para efeito de avaliação prática no campo, as voçorocas podem ser classificadas quanto à profundidade e extensão da bacia de contribuição.

Profundidade:

- voçoroca pequena – quando tiver menos de 2,5m de profundidade;
- voçoroca média – quando tiver de 2,5 a 4,5m de profundidade; e
- voçoroca grande – quando tiver mais de 4,5m de profundidade.

Bacia de contribuição:

- voçoroca pequena – quando a bacia de contribuição for menor que 10 ha
- voçoroca média – quando a bacia de contribuição tiver entre 10 a 50 ha; e
- voçoroca grande – quando a bacia de contribuição for maior que 50 ha.

5.2.2.4. Procedimentos Para Recuperação ou Estabilização das Voçorocas

Dependendo do tamanho da voçoroca e da relação custo benefício, pode-se optar pela recuperação total ou estabilização da área, com possibilidade de usá-la para outras finalidades como canal escoadouro vegetado para descarga da enxurrada de terraços, habitat para a fauna, área reflorestada, pastagem ou, até mesmo, ser reincorporada ao processo agrícola produtivo.

Independente do processo que atue na formação das voçorocas, alguns procedimentos básicos deverão ser utilizados:

⇒ Isolamento da área de contribuição da formação da voçoroca

Este procedimento tem por objetivo eliminar os fatores que estejam influenciando e contribuindo para a concentração da água na área de contribuição (bacia de captação), bem como no interior da voçoroca, e paralisar seu crescimento. Por exemplo, deve-se: evitar o acesso de animais ao local afetado; o tráfego de máquinas e veículos nas áreas adjacentes; a atividade agrícola sem práticas conservacionistas no entorno da voçoroca; as atividades extrativistas (minerais e florestais); a alocação inadequada de estradas e caminhos que direcionam a enxurrada para a voçoroca etc. Dependendo do tamanho da voçoroca, sempre que possível, deve-se cercar a área de contribuição para evitar o acesso de pessoas e animais (Fig. 5.5). A cerca pode ser de

arame farpado ou liso e associada a ela, numa faixa de aproximadamente 2m, fazer o plantio de espécies arbustivas e arbóreas agressivas (espinhentas) para aumentar o controle de acesso ao local.

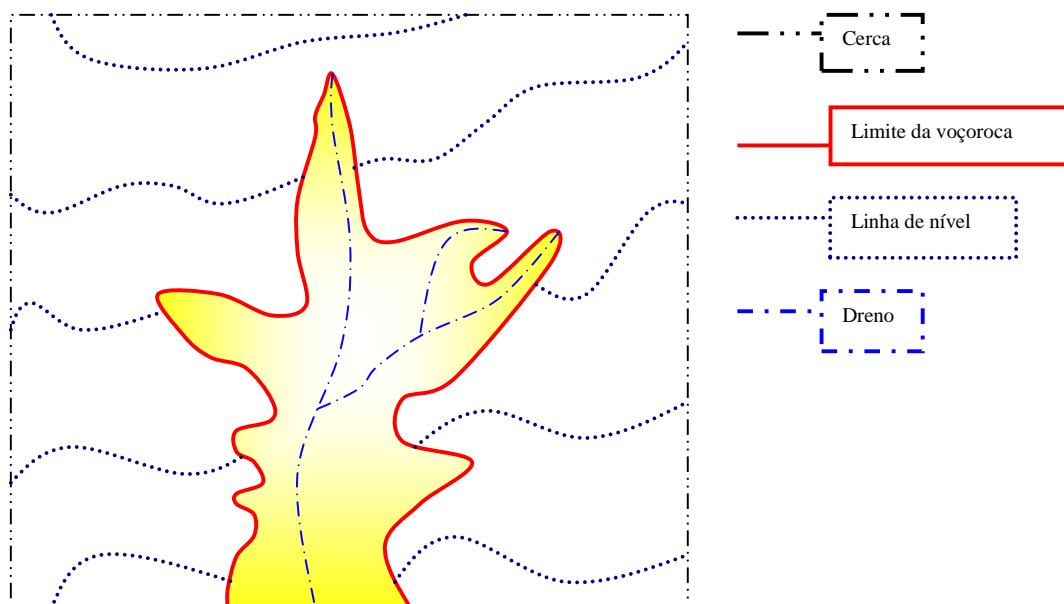


Fig. 5.5. Isolamento da área da voçoroca.

⇒ **Controle da erosão em toda a bacia de captação de água da voçoroca**

Esse procedimento visa executar práticas mecânicas e vegetativas tanto a montante como nas laterais da voçoroca para desviar a água que cai em seu interior. Isto pode ser conseguido com sistemas de terraceamento, canais escoadouros, bacias de captação de água, plantio em nível, cobertura vegetal com espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas, instalação de paliçadas de bambu e sacos de terra e, também, a implantação de cordões vegetados (Figs. 5.6 e 5.7).



Fig. 5.6. Bacia de Captação.



Fig. 5.7. Valeta à montante da voçoroca.

⇒ **Drenagem da água subterrânea**

Toda vez que a voçoroca atinge o lençol freático aparece uma mina de água subterrânea que, para o sucesso do controle da mesma, deve ser captada e conduzida para fora da voçoroca até um leito de drenagem estável, o que pode ser feito com dreno de pedra ou feixes de bambu (Fig 5.8).

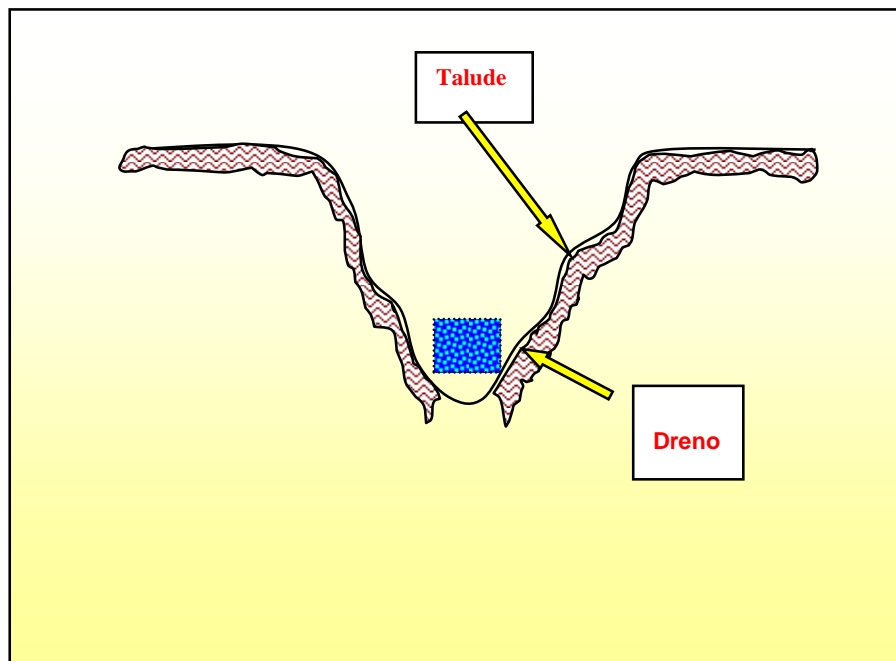


Fig. 5.8. Drenagem de água subterrânea em voçoroca.

⇒ **Suavização dos taludes da voçoroca**

Geralmente, os flancos da voçoroca são muito íngremes, havendo necessidade de se fazer à suavização dos taludes para a implantação da vegetação protetora do solo. Em outros casos pode-se fazer a contenção das paredes utilizando-se paliçadas de bambu e eucalipto (Figs. 5.9 e 5.10).



Fig. 5.9. Paliçada na parede da voçoroca.

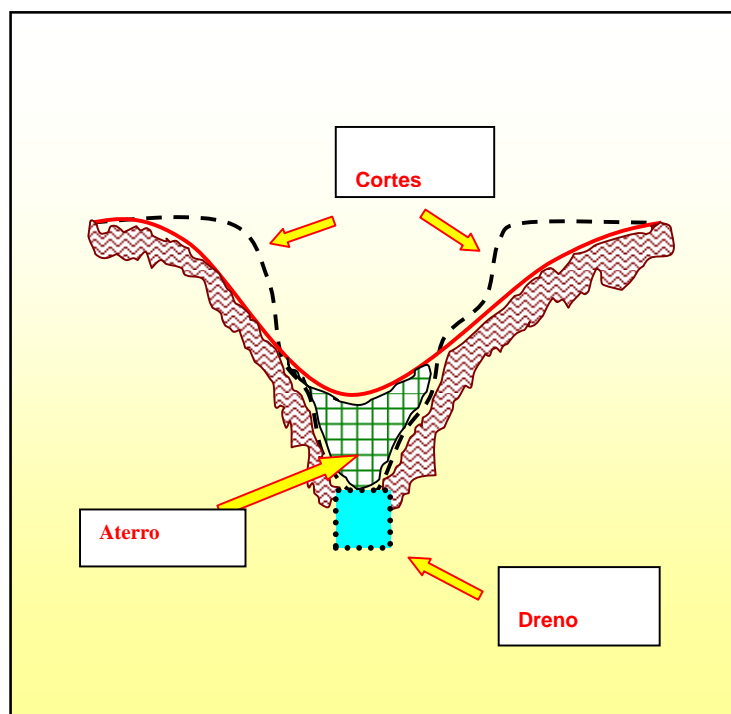


Fig. 5.10. Suavização dos taludes da voçoroca.

⇒ Construção de barreiras artificiais e/ou naturais no interior das voçorocas

Visando evitar a erosão no interior da voçoroca, provocada pelo escoamento da água, e facilitar retenção dos sedimentos carregados, é preciso construir barreiras que funcionam como pequenas barragens. Essas estruturas podem ser feitas com bambu, pedras, sacos de terra, madeira, galhos e troncos de árvores, entulhos etc. Não se recomenda o uso de lixo urbano, pois pode ocorrer a contaminação ambiental devido ao “caldo” ou “chorume” produzido pelo acúmulo do lixo. A poluição afeta, principalmente, os mananciais de água, açudes, córregos e rios que estão para baixo da voçoroca. Caso ocorra água subterrânea deve-se ter o cuidado de drená-la ou deixá-la com drenagem livre ao se construir os obstáculos (Fig. 5.11).

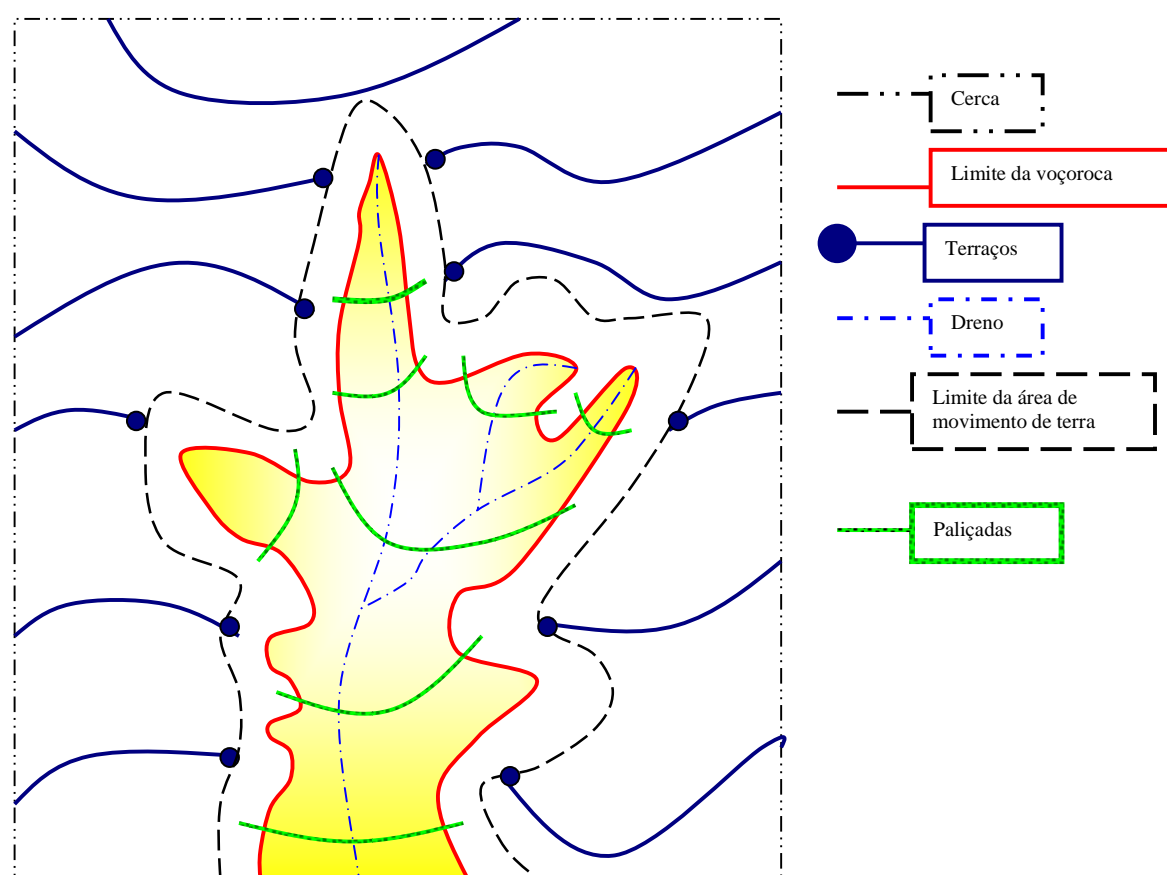


Fig. 5.11. Controle de erosão na bacia de captação.

⇒ Vegetação da voçoroca e área de contribuição

A escolha das espécies vegetais a serem utilizadas na vegetação das voçorocas e de sua área de contribuição irá depender das dimensões (largura e profundidade) da voçoroca e da viabilidade econômica de utilização futura da área para fins agrícolas ou civis etc.

Quando a voçoroca não for muito grande e os benefícios futuros compensarem o investimento, recomenda-se a recuperação do sulco, ou seja, tapar a voçoroca com terra, recuperando a área e incorporando-a novamente ao processo produtivo. A pastagem é um bom exemplo. Outra solução seria a vegetação com espécies arbóreas para produção de madeira (eucalipto e pinus) e para fruticultura. Ainda, a transformação da área afetada em ambiente de abrigo natural para a fauna, como o plantio de vegetação nativa.

Nas áreas onde as voçorocas apresentam dimensões que não permitam o seu fechamento com movimentação de terra, as espécies utilizadas na vegetação devem apresentar crescimento rápido, possuir sistema radicular abundante, serem rústicas (adaptadas a condições de pequena fertilidade) e proporcionarem boa cobertura do solo. Neste caso pode-se utilizar espécies de gramíneas, de leguminosas e outras como o *Vetiveria zizanioides* – capim vetiver.

As leguminosas merecem especial atenção por sua capacidade natural de fixação biológica de nitrogênio, através da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* e da associação com fungos micorrízicos, o que aumenta a eficiência na absorção de nutrientes.

⇒ **Manutenção das estruturas de controle da voçoroca**

Para que o controle da voçoroca tenha sucesso, é necessário o permanente monitoramento das estruturas construídas (paliçadas, terraços, cordões vegetados etc), fazendo-se a manutenção sempre que necessário. Após chuvas fortes deve-se fazer uma inspeção para verificar possíveis danos e implementar reparos para a conservação das estruturas. Essa prática é de especial importância na fase inicial dos trabalhos de implantação das estruturas protetoras, quando os materiais ainda não estão completamente consolidados.

⇒ **Medidas de prevenção para evitar o aparecimento das voçorocas**

- fazer o planejamento conservacionista da propriedade, buscando utilizar o solo de acordo com sua aptidão de uso;
- usar práticas conservacionistas (terraços, preparo do solo e plantio em nível, rotação de culturas, fazer a análise do solo para recomendação de adubação, empregar o cultivo mínimo ou plantio direto etc);
- manejar adequadamente os recursos naturais (solo, água e vegetação);
- conduzir as enxurradas proveniente dos canais escoadouros, terraços, caminhos e estradas para grotas naturais que estejam estabilizadas, ou locais especialmente construídos para esse fim.

O conhecimento do meio físico, de seus recursos de água, solo vegetação e clima, suas potencialidades e limitações, constitui importante base técnica para o controle da erosão e conservação ambiental.

⇒ **Utilização de paliçadas**

- **paliçadas de bambu** - as paliçadas de bambu podem ser usadas tanto para a contenção das paredes verticais da voçoroca como para a redução da velocidade de

escoamento superficial da enxurrada contribuindo para a retenção dos sedimentos transportados (Figs. 5.12 e 5.13).



Fig. 5.12. Paliçada de Bambu.



Fig. 5.13. Água retida na paliçada.

Com o tempo, o acúmulo de sedimentos na base frontal da paliçada pode possibilitar o surgimento de vegetação ou o bambu utilizado na confecção pode brotar funcionando como uma barreira natural (Fig. 5.14).

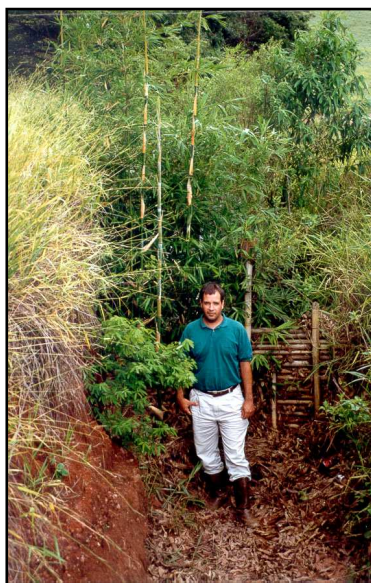


Fig. 5.14. Barreira natural de vegetação dentro de canal escoadouro.

Quando forem utilizadas no interior dos sulcos e/ou para proteger as paredes verticais da voçoroca que não puderam ser suavizadas, formando taludes inclinados, devem ser escoradas com toras de eucalipto (ou outra madeira). Recomenda-se reforçar a segurança das paliçadas, principalmente quando utilizadas para a proteção de paredes verticais, utilizando-se amarras de arames de aço, sendo uma das extremidades da amarra fixada na ponta da tora de eucalipto e a outra extremidade, na ponta de uma estaca de eucalipto enterrada acima da parede da voçoroca, em terra firme. A amarra de aço deve ficar esticada.

Próximo à beira da parede da voçoroca, protegida com paliçadas, recomenda-se construir uma barreira para evitar que a água atinja a paliçada. Essa barreira pode ser um terraço, acoplado a um canal escoadouro, ambos vegetados, ou uma fileira de sacos de terra, empilhados longitudinalmente à beira da voçoroca. É importante vegetar os sacos de terra, principalmente os de ráfia, para não serem degradados rapidamente pelo sol (Fig. 5.15).

Material básico utilizado na construção das paliçadas

- toras de eucalipto
- estacas de bambu
- arame inox
- sacos (ráfia ou algodão) de 50 kg

O comprimento das toras de eucalipto e das estacas de bambu (altura da paliçada) irá variar conforme o tamanho dos sulcos, valas e paredes das voçorocas a serem protegidos. As toras de eucalipto devem ser enterradas pelo menos 50 cm no solo firme, por trás das estacas de bambu que podem ficar dispostas na horizontal ou na vertical, para evitar que a água da enxurrada abra caminho por baixo da paliçada, causando seu solapamento. O bambu fica na frente da paliçada recebendo o impacto da enxurrada. Quando dispostas na vertical, é necessário que seja colocada uma outra estaca na horizontal, entre as toras de eucalipto e as estacas verticais de bambu.

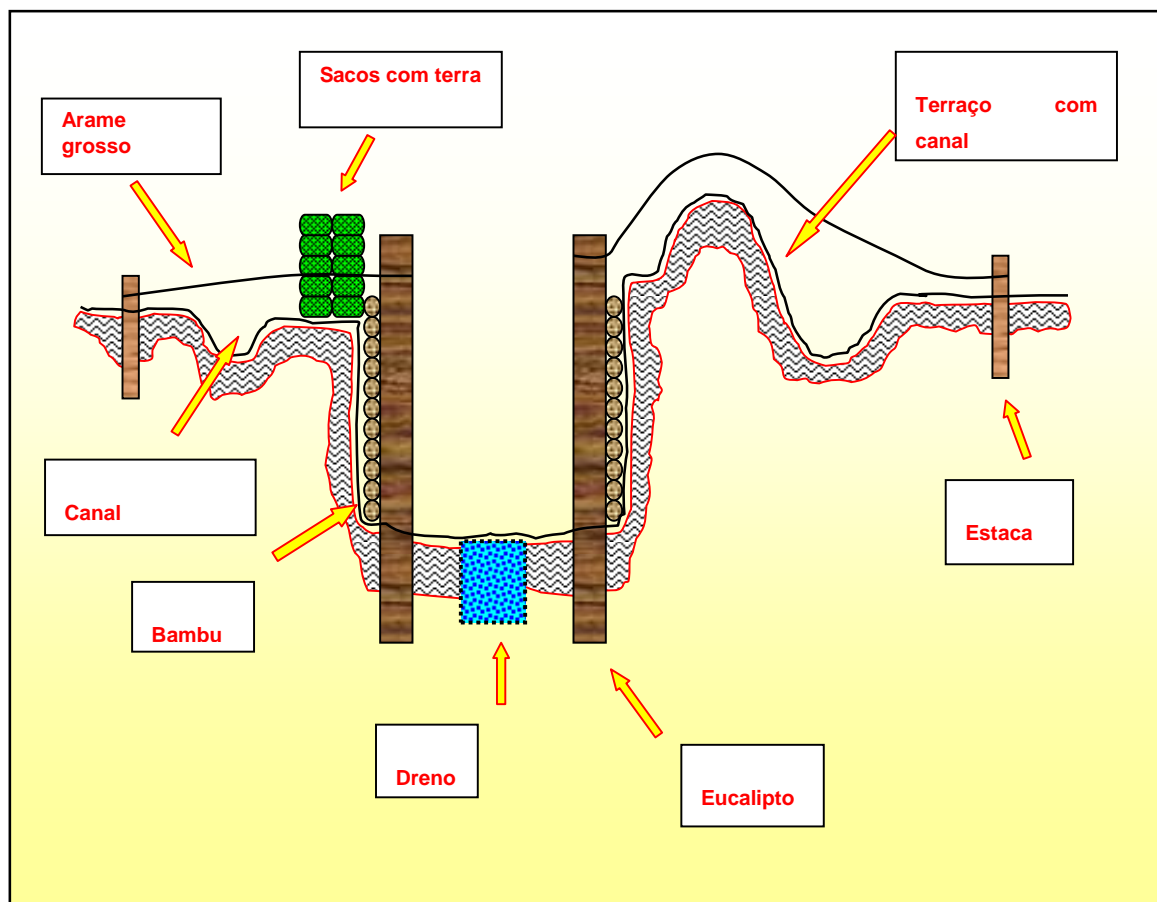


Fig. 5.15. Paliçadas de bambu revestindo verticalmente as paredes da voçoroca. Faz parte do conjunto o terraço e/ou barreiras com sacos de terra.

O importante é que as estacas fiquem bem unidas para barrar e/ou reduzir a passagem da enxurrada em velocidade. Após a paliçada, bem junto às escoras de eucalipto, deve-se colocar qualquer material que sirva de “cama” para a água que atravessa a paliçada, evitando que a água cave um buraco na parte posterior da paliçada. Para isso pode-se utilizar, isolados ou em conjunto, sacos de terra, pedras, pneus, entulhos etc.

Quando houver necessidade de um reforço nas paliçadas e as estacas de bambu forem dispostas na horizontal, pode-se colocar uma estaca paralela, logo à frente de cada tora de eucalipto. Entre elas serão instaladas e amarradas com arame, as demais estacas de bambu. As estacas de bambu são unidas nas toras de eucalipto através do entrelaçamento com arame, mantendo-as o mais apertados e unidos possível. Deve-se fazer, também, um corte na parede do sulco, onde serão encaixadas as estacas de bambu, visando dar maior sustentação à estrutura e resistência ao impacto e pressão da enxurrada (Fig. 5.16).



Fig. 5.16. Corte na parede do sulco para encaixe do bambu.

⇒ **Travesseiros ou almofadas**

Outra estrutura que pode ser utilizada para a revegetação de voçorocas é conhecida por travesseiro ou almofada, e consiste no enchimento de sacos com terra adubada, na forma de travesseiros, sobre o qual são plantadas ou semeadas espécies de leguminosas herbáceas, gramíneas ou outras espécies vegetais.

Os sacos são dispostos no interior dos sulcos e voçorocas e, por conterem solo mais fértil, ao contrário do solo degradado que, normalmente ocorre nas voçorocas, permite o rápido crescimento das plantas, possibilitando aumentar a cobertura do solo e reter sedimentos.

⇒ **Construção de terraços**

Para a construção dos terraços deve-se levar em consideração alguns fatores como:

- tipo de solo
- tamanho da área de contribuição
- declividade do terreno
- extensão do declive
- intensidade da precipitação
- tipo de cobertura vegetal

Dependendo de suas características físicas (textura, estrutura, profundidade, pedregosidade) o solo influenciará a infiltração da água da chuva e, conseqüentemente, possibilitará ou não a ocorrência de escoamento superficial. Isto será decisivo para determinar se o terraço será construído em nível, possibilitando a infiltração da água no solo, ou se o mesmo será em desnível, conduzindo o excesso da água para bacias de captação ou canais escoadouros.

Da mesma forma, o tamanho da área de contribuição, a declividade e a extensão do declive, bem como a intensidade da precipitação, também influenciarão um maior ou menor escoamento superficial da água da chuva e, portanto, as características do terraço a ser construído (espaçamento, comprimento, em nível ou desnível, altura do camalhão e profundidade do canal).

Dependendo das características da área a ser protegida, a construção dos terraços pode ser feita manualmente, com tração animal, com trator de pneu ou esteira, com retroescavadeiras etc.

⇒ **Recuperação da cobertura vegetal em voçorocas e área de contribuição**

As práticas mecânicas e edáficas citadas ajudam a combater apenas um dos fatores que causam a erosão e permitem o surgimento de voçorocas: o escoamento superficial da água da chuva. Outro fator muito importante é o impacto da gota da chuva na superfície do solo, que provoca a desagregação e redução do tamanho dos torrões do solo, facilitando, assim, o carregamento de sedimentos (minerais e orgânicos) pela enxurrada e a abertura de sulcos que irão originar as voçorocas. O solo deve, portanto, estar coberto com algum tipo de vegetação que impeça o impacto da gota na superfície.

Para a revegetação da área ao redor e dentro da voçoroca poderão ser utilizadas plantas herbáceas, arbustivas e arbóreas, visando a cobertura do solo e o aporte de matéria orgânica. Qualquer espécie vegetal pode ser utilizada, desde que adaptada às condições edafoclimáticas locais. Entretanto, deve-se dar preferência, no estágio inicial de revegetação (vegetação pioneira), às espécies conhecidas como leguminosas. Essas plantas formam uma simbiose em suas raízes, com bactérias (rizobium) e fungos (micorrizas), o que permite melhorar a absorção de nutrientes do solo e do ar, independentemente de aplicação contínua de fertilizantes. Isso proporciona, também, uma maior absorção de água. Normalmente, há necessidade de se fazer uma

adubação com fertilizantes químicos e orgânicos apenas no plantio. Dependendo do estado de degradação do solo, o crescimento das plantas terá maior ou menor velocidade, podendo ser necessária outra aplicação de fertilizante químico para a correção de alguma deficiência específica de algum nutriente.

Dependendo do estágio de degradação, nas áreas menos impactadas e que possuam uma mínima condição edáfica de crescimento vegetal, é recomendado utilizar espécies nativas numa proporção de 30%, em conjunto com as demais (70%). Sempre que possível, evitar destruir as plantas que já estejam em crescimento no local a ser revegetado.

É recomendado que imediatamente junto à borda da voçoroca seja implantada, em conjunto com um terraço ou valeta de drenagem, uma faixa vegetada de pelo menos 5m para formar uma barreira natural vegetada com espécies arbustivas e arbóreas, com o objetivo de desviar a água e promover a fixação da parede da voçoroca.

A deposição de folhas, ramos, flores e o crescimento das raízes promovem a estabilização do solo, melhoram a infiltração e armazenamento da água da chuva e aumentam as atividades biológicas do mesmo, criando condições propícias para o estabelecimento de outras espécies mais exigentes (secundárias). As leguminosas são, ainda, importantes produtoras de lenha, carvão, madeira, postes, forragens, celulose e tanino.

A Tabela 5.1 apresenta algumas leguminosas recomendadas para o plantio em áreas degradadas.

Tabela 5.1. Árvores fixadoras de N₂ com potencial para uso em recuperação de solos degradados. Aspectos siveulturais e de adaptação ambiental.

ESPÉCIE	PORTE MÁXIMO (m)	ALTITUDE MÁXIMA (m)	TEMPERATUR A (°C)	CHUVAS (mm)	SOLOS	USOS
<i>Acacia auriculiformes</i>	20	600	25-30	1000-18000	Ácidos (até pH 3,0) lateritas, areias quartzosas	Lenha, sombra, ornamental e tanino
<i>Acacia longifolia</i>	8	700	20-25	1000-18000	Solos arenosos, de dunas e áreas de terraplenagem	Lenha e melífera
<i>Acacia mangium</i>	30	700	20-35	1000-4500	Ácidos (até pH 4,5) e solos rasos	Lenha, celulose e construção civil
<i>Acacia mearnii</i> (<i>Acacia negra</i>)	10	1100	10-25	500-1000	Solos neutros a ligeiramente ácidos	Tanino e adubação verde
<i>Albisia guachapelle</i>	20	800	25-30	1000-2000	Ácido	Lenha e ornamental
<i>Albizia lebbek</i>	25	1600	20-35	500-2000	Neutros e ácidos	Lenha, forragem e adubação verde
<i>Albiza saman</i>	30	800	20-30	800-2000	Ácidos	Sombra, lenha e ornamental
<i>Casuarina esquistifolia</i> * **	30	1500	10-35	200-5000	Areias (dunas) e solos salinos	Lenha, tanino, quebra-vento, e fixação de dunas
<i>Casuarina cunninghamiana</i> * **	20	1000	10-30	500-1500	Arenosos	Lenha

<i>Calliandra calothyrsus</i>	10	1500	20-30	1000-2000	Ácidos	Cerca viva, lenha e ornamental
<i>Clitoria fairchildiana</i> (Sombreiro)	20	700	25-35	1000-2000	Ácidos e aéreas com problemas de drenagem	Lenha e sombra
<i>Gliricidia sepium</i>	10	500	22-30	1500-2300	Sem problemas de drenagem e ligeiramente ácidos	Forragem, moirão vivo e lenha
<i>Inga marginata</i> **	15	500	15-25	1200-1800	Com problemas de drenagem	Frutos e melífera
<i>Leucaena leucocephala</i>	Arbustiva – 5 Arbóreas - 20	800	20-35	600-1700	Neutros	Forragem, lenha e adubo verde
<i>Mimosa bimucronata</i> (Maricá)	10	800	20-30	1000-2000	Ácidos ou com problemas de drenagem	Lenha
<i>Mimosa Caesalpinifolia</i> (Sabiá)	10	800	25-35	500-1800	Ácidos	Moirões, lenha e forragem
<i>Mimosa flocculosa</i> (Bracatinga-de-campo-mourão)	7	1000	15-25	1000-2000	Ligeiramente ácidos	Lenha
<i>Mimosa scabrella</i> (Bracatinga)	12	1600	15-25	1200-2500	Ácidos	Lenha e melífera
<i>Mimosa tenuiflora</i>	5	1200	20-30	800-1800	Neutros a ligeiramente ácidos	Lenha e cerca viva

<i>Paraserianthes falcata</i>	40	1000	25-35	1000-4500	Ácidos	Lenha, tanino e celulose
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	20	1000	20-30	1000-2000	Ácidos	Lenha
<i>Prosopis juliflora</i> (Algaroba)	8	1500	25-35	150-750	Arenosos e salinos	Lenha, sombra e forragem
<i>Sesbania grandiflora</i>	10	800	20-30	1000-2000	Ácidos ou com problemas de drenagem	Lenha, forragem e tanino

* Não Leguminosa que fixa nitrogênio em simbiose com Frankia.

** Espécies que não necessitam de tratamentos de quebra de dormência.

Adaptado de EMBRAPA, 1992.

5.3. DEGRADAÇÃO DA ÁGUA

5.3.1. Conceitos Relacionados à Água

5.3.1.1. Ciclo Hidrológico

Devido às diferentes e particulares condições climáticas do planeta, a água pode ser encontrada nos estados: sólido, líquido e gasoso. O movimento da água entre os continentes, oceanos e a atmosfera é chamado de Ciclo Hidrológico (Fig. 5.17). As diversas atividades humanas sejam no meio urbano como rural influenciam a dinâmica natural do Ciclo Hidrológico. O grande motor deste ciclo é o calor irradiado pelo sol. Quando se impermeabiliza os solos, seja por asfaltar ou concretar, pela retirada de vegetação ou pelo manejo inadequado do solo, ocorre um aumento do escoamento superficial (5) e uma diminuição da infiltração (3), do fluxo subsuperficial (4) e da percolação (6). Por outro lado, quando se desmata grandes áreas, diminui-se a evapotranspiração (7) e interceptação (2), diminuindo a precipitação (1).

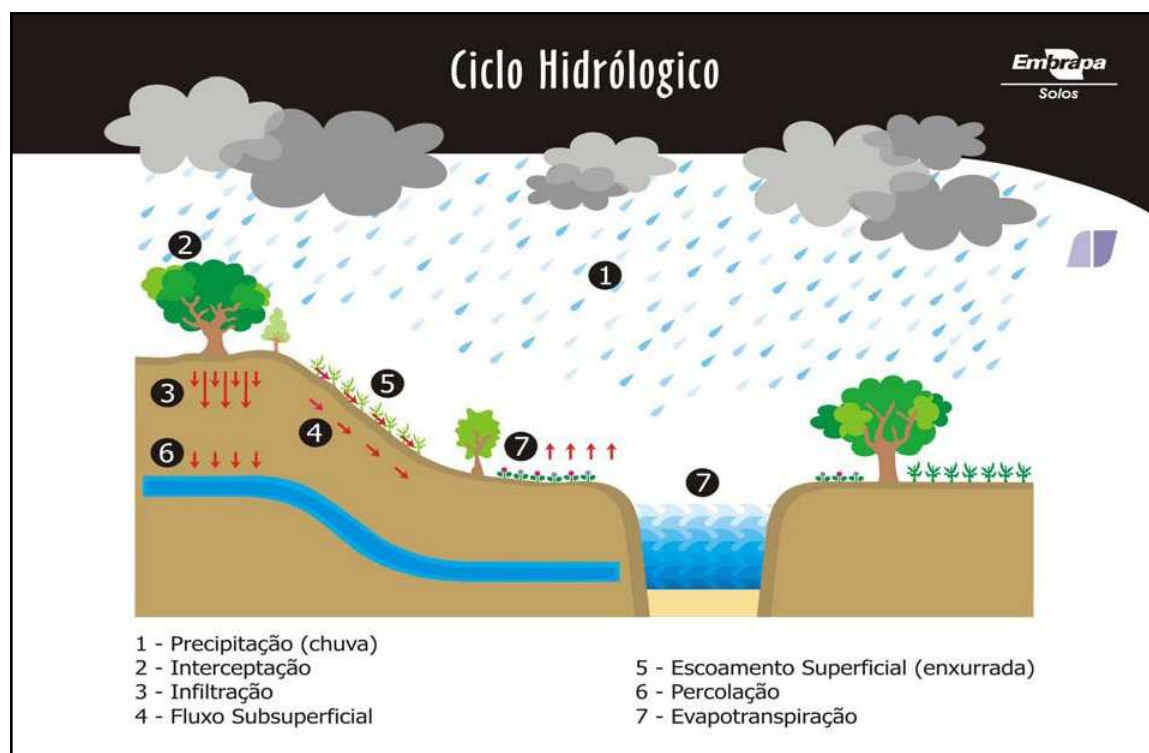


Fig. 5.17. Ciclo Hidrológico apresentando a água nas diversas fases e situações.

Como consequência da alteração do Ciclo Hidrológico, têm-se as grandes enchentes em algumas regiões e secas em outras (Figs. 5.18 e 5.19); o processo de desertificação; o desaparecimento das nascentes e redução das águas dos rios; o rebaixamento dos lençóis freáticos; o aquecimento global; sem contar os efeitos disso

nos seres vivos, como por exemplo, o desequilíbrio dos ecossistemas e a redução da biodiversidade terrestre e aquática.



Fig 5.18 e Fig. 5.19. Ilustração de uma cidade inundada e uma região seca.

5.3.1.2. Distribuição e Uso da Água

Quanto à distribuição da água na Terra, a Fig. 5.20 apresenta os percentuais para cada tipo de água. Observa-se que o percentual de água doce disponível para os diversos usos humanos é bastante reduzido (aproximadamente 0,6%), estando a maior parte desta água armazenada nos aquíferos. O Brasil faz parte majoritariamente do maior aquífero do mundo, chamado atualmente de Sistema Aquífero Guarani, acumulando um volume de água estimado em 45 mil quilômetros cúbicos. A extensão de tal aquífero é da ordem de 1,2 milhão de quilômetros quadrados, sendo 840 mil km² no Brasil (70%), 225 mil km² na Argentina (19%), 71 mil km² no Paraguai (6%) e 58 mil km² no Uruguai (5%).

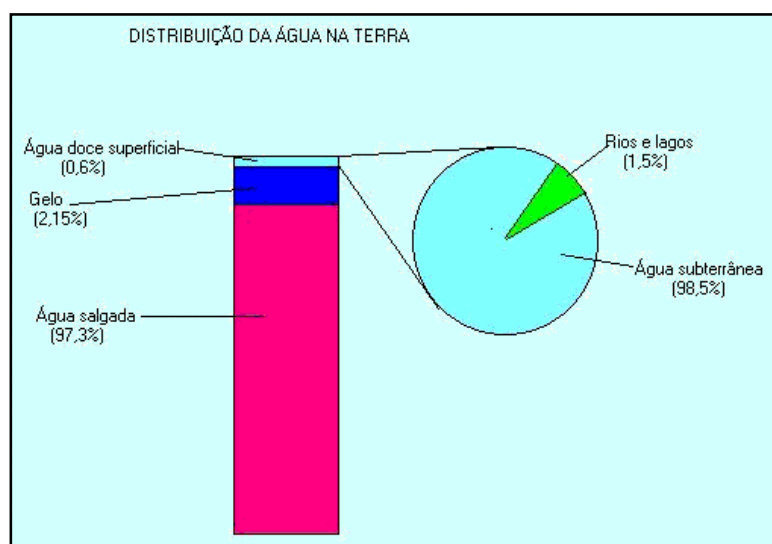


Fig. 5.20. Distribuição de água no planeta Terra.

No entanto, o consumo de água no Brasil dobrou nos últimos 20 anos, sendo que a disponibilidade de água reduziu em 3 vezes. Além disso, 40% da água tratada nas cidades são desperdiçadas pelos vazamentos nos encanamentos, nas torneiras abertas por muito tempo, nos banhos demorados, na lavagem de calçadas e automóveis, entre outros. Por outro lado, o maior consumo de água é na irrigação, cerca de 70% do consumo, e ainda a produção agrícola tem aumentado bastante nos últimos anos, aumentando a demanda pela água, sem contar há também desperdícios neste setor, devido à irrigação por aspersores e mangueiras. Da água utilizada na agricultura, somente cerca de 25% são aproveitados pelas plantas.

5.3.1.3. Doenças de Veiculação Hídrica

Conforme dados da Organização Mundial de Saúde – OMS (outubro de 2003) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (março de 2004), cerca de 85% das doenças conhecidas são de veiculação hídrica, ou seja, estão relacionadas à água, sendo as mais conhecidas a malária, a esquistossomose, a diarreia e a verminose. Estas doenças são a principal causa de internações, sendo que 21.000 crianças morrem por ano no Brasil por doenças relacionadas à água. Acrescenta-se a estes dados os relacionados abaixo:

- 60 milhões de brasileiros não têm saneamento básico;
- 10 milhões não contam com coleta de esgotos;
- 16 milhões não possuem coleta de lixo;
- 3,4 milhões de residências não têm água encanada, o que atinge 15 milhões de brasileiros;
- 1/3 dos municípios com menos de 20.000 habitantes não têm água tratada;
- No nível distrital, 12% da população não têm rede de abastecimento d'água, sendo que destes, 46% utilizam poço raso particular;
- 75% dos esgotos coletados nas cidades brasileiras não têm tratamento;
- 64% dos municípios brasileiros depositam o lixo coletado em lixões a céu aberto;
- 60% dos municípios sofreram inundações ou enchentes em 2000;
- 20% dos municípios têm seu solo corroído por assoreamentos, e,
- Cada real investido em saneamento básico poupa quatro reais que serão gastos com a saúde.

5.3.2. Conflitos Gerados pelo Uso Múltiplo da Água

Com o advento da Lei 9.433, de 1997, o princípio dos usos múltiplos foi instituído como uma das bases da nossa Política Nacional de Recursos Hídricos e os diferentes setores usuários de recursos hídricos passaram a ter igualdade de direito de acesso à água. A única exceção, já estabelecida na própria lei, é que em situações de escassez, a prioridade de uso da água no Brasil é o abastecimento público e a dessedentação de animais. Todavia, os outros usos, tais como, geração de energia elétrica, irrigação, piscicultura, controle de cheias, navegação, diluição dos esgotos, abastecimento industrial e lazer, entre outros, não têm ordem de prioridade definida. Desde então, o

crescimento da demanda por água para os mais variados usos fez crescer. Desta forma, tomou corpo o princípio dos usos múltiplos, gerando uma série de conflitos de interesses. A Agência Nacional de Águas, por meio da Superintendência de Usos Múltiplos (SUM), vem atuando no sentido de mediar conflitos entre diversos usuários de recursos hídricos do Brasil.

Porém, nas regiões onde os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos ainda não se fazem presentes, os conflitos devido ao uso múltiplo da água são mais difíceis de serem solucionados, prevalecendo na maioria das vezes o uso relacionado ao maior poder aquisitivo ou político.

5.3.3. Unidade de Planejamento e Gerenciamento: Bacia Hidrográfica

Tendo em vista o risco da escassez do recurso água, seja de forma quantitativa ou qualitativa, decorrente das atividades humanas, principalmente, devido aos lançamentos de resíduos e aos usos múltiplos, é preciso que haja um planejamento e gerenciamento de forma integrada, visando a otimização do mesmo.

Quando se pretende estudar e planejar o uso da água de uma região é preciso adotar unidades ou áreas de estudo. Neste caso, a melhor unidade de estudo é a bacia hidrográfica.

A bacia hidrográfica pode ser definida de forma simples como o conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes, onde normalmente a água se escoia dos pontos mais altos para os mais baixos. Os pontos mais altos são chamados de divisores de água de uma bacia hidrográfica. Portanto, todos os resíduos das atividades humanas como esgoto, agrotóxicos e lixo que forem lançados na região de uma bacia hidrográfica, poderão atingir, na época das chuvas, o rio principal.

De acordo com MACCAULEY e HUFSCHEMIDT (1995) a utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, possibilita considerar a junção de todos os fatores (econômicos, políticos, sociais e culturais) relacionados à área da bacia. O primeiro fator que deve ser levado em consideração em um planejamento é a realização de uma completa caracterização da bacia a ser estudada. Este conjunto de informações possibilita conhecer o sistema, o que dará suporte à tomada de decisões de gerenciamento dos recursos hídricos, dentre outros.

5.3.4. Monitoramento Dos Recursos Hídricos

Os sistemas de monitoramento de qualidade da água podem ser definidos como esforços para obter informações qualitativas a respeito das características físicas, químicas e biológicas da água, via amostragens dos corpos d'água. O monitoramento da qualidade pode ser realizado para diversos fins como: irrigação, potabilidade, abastecimento industrial, piscicultura, controle de poluição, salinização e outros. No entanto, para cada objetivo deve-se estabelecer os parâmetros a serem monitorados e qual a metodologia de monitoramento a ser adotada. Os parâmetros de qualidade da água são indicadores da situação da mesma, podendo ser físicos, químicos e biológicos.

Segundo PRADO (2004), após se estabelecer o objetivo do monitoramento e os parâmetros a serem analisados, alguns cuidados devem ser tomados como: obter pontos de amostragem que sejam representativos do que se pretende monitorar; a pessoa deve estar treinada a fazer a coleta, pois é preciso uma adequada amostragem para garantir um resultado significativo e, além da coleta, as amostras de água devem ser adequadamente armazenadas e transportadas até o laboratório.

Quanto à forma como é efetuado e ao tipo de técnicas envolvidas, o monitoramento de qualidade da água pode ser classificado em:

- **Convencional:** atualmente com auxílio de sensores portáteis para medição *in situ*, porém, com a maior parte dos parâmetros sendo analisados em laboratório;
- **Participativo e educativo:** monitoramento realizado com o objetivo de educação ambiental e participação da comunidade na gestão dos recursos hídricos, utilizando *kits* de análise *in situ*.
- **Em tempo real ou contínuo (Telemetria):** é feito por estação automática, provida de amostrador contínuo, tendo capacidade para medição de vários parâmetros ao mesmo tempo. A transmissão dos dados é feita via satélite em tempo real.
- **Biológico:** Utiliza organismos para uma melhor avaliação e entendimento das condições existentes na água, por meio de vigilância comportamental e medidas em animais, vegetais, algas e fungos.

Porém, de acordo com os objetivos e necessidades de cada programa, esses tipos de monitoramento podem ser conciliados, atribuindo maior eficiência ao mesmo.

Sobretudo, o monitoramento da qualidade da água é muito importante por se tratar de um dos principais instrumentos de sustentação de uma política de planejamento e gestão de recursos hídricos (COIMBRA, 1991).

5.3. 5. Levantamento de Fontes Pontuais e Difusas de Poluição

Para se reconhecer o “estado de saúde” das águas da bacia, não basta examinar suas águas em um ou mais pontos. É necessário, também, conhecer a origem dessas águas e todo o caminho percorrido por elas até atingirem o corpo principal. Em uma caracterização da água de uma bacia, procura-se localizar os pontos que contribuem com fontes pontuais e difusas de poluição: esgotos, adubos e agrotóxicos, resíduos de currais, chiqueiros e galinheiros, lixo, despejos industriais e áreas desmatadas sujeitas à erosão e ao transporte de terra pelas chuvas. Esse conjunto de atividades realizadas em uma bacia hidrográfica que geram resíduos representa a causa do “estado de saúde” ou da qualidade de suas águas.

5.3.6. Degradação dos Recursos Hídricos

Diante da escassez mundial de água doce, o Brasil encontra-se em situação confortável, pois detém aproximadamente 14% do total disponível para atender às demandas da humanidade e manutenção da vida no planeta. Entretanto, a distribuição da água no país não é homogênea, tanto naturalmente (a região Norte possui abundância de água enquanto a região Nordeste sofre com as secas) como

socialmente (muitas pessoas não têm acesso à água doce existente, principalmente, tratada). Além disso, em regiões onde o contingente populacional é maior, grande parte dos rios enfrenta problemas de qualidade da água e estes já não podem ser usados para abastecimento doméstico (PRADO, 2004).

Diversos são os fatores que levam à deterioração da água, podendo ser classificados, quanto à origem, como de fonte pontual e difusa. As fontes pontuais se caracterizam, essencialmente, pelos resíduos domésticos e industriais; já as fontes difusas são caracterizadas pelos resíduos provenientes das atividades agropecuárias (fertilizantes, herbicidas, inseticidas, fungicidas, entre outros) e, ainda, pelo escoamento superficial que na área urbana transporta resíduos de pátios de instalações industriais, postos de gasolina e outros.

A poluição difusa pode ser intensificada pelos seguintes fatores:

- uso inadequado da irrigação;
- compactação do solo provocada pelo uso intenso e inadequado da mecanização;
- desmatamento e queimadas (inclusive de mata ciliar);
- ausência de uso de práticas conservacionistas do solo, água e vegetação;
- ocorrência de processos erosivos (laminar, sulcos e voçorocas);
- interferência de fatores naturais: tipos de rochas, formas de relevo, inclinação dos terrenos, tipos de solos, forma e quantidade de rios e córregos da bacia de drenagem (microbacia hidrográfica), intensidade e frequência das chuvas ao longo do ano, permeabilidade do solo (drenagem natural) e outros.

A situação é grave, pois existem estimativas de que, aproximadamente, 30 a 50% dos solos da Terra estejam afetados por poluentes provindos de fontes difusas, os quais atingem os cursos d'água principalmente pelo escoamento superficial.

5.3.6.1. Processo de Eutrofização

Uma das principais causas de redução da qualidade da água é a “eutrofização”, que significa o processo de enriquecimento dos corpos hídricos (rios, açudes, lagos, córregos) por nutrientes (principalmente fósforo e nitrogênio), podendo ocorrer sob condições naturais ou artificiais (aplicação de fertilizantes, dejetos orgânicos, efluentes industriais). Este incremento de nutrientes propicia o desenvolvimento de algumas espécies de algas e a diminuição do oxigênio na água, favorecendo o aumento de bactérias anaeróbias, podendo atribuir sabor e cheiro desagradável ao líquido, restringindo o seu uso. A redução do oxigênio muitas vezes causa a morte da ictiofauna (peixes).

5.3.6.2. Interferência do Uso e Cobertura da Terra na Qualidade da Água

A modernização da agricultura ocorreu com a aplicação de novos agroquímicos (corretivos, fertilizantes, agrotóxicos e herbicidas), o aumento da mecanização (máquinas e implementos agrícolas), uso de plantas mais produtivas, ampliação da

irrigação e a intensificação do uso da terra. Ao mesmo tempo, ocorreu a redução das áreas de vegetação natural, inclusive matas ciliares. Estas áreas foram substituídas por grandes plantios de monoculturas como a cana-de-açúcar, fruticultura, hortaliças, café, grãos, pastagens e reflorestamentos.

Outras ocupações das áreas naturais que causam degradação ambiental foram feitas pela exploração mineral (extração de minérios, garimpos, exploração de rochas, areais e minas de argila). Ainda, a urbanização e industrialização desenfreada, e sem planejamento, tem promovido o lançamento de esgoto *in natura* e de lixo na água, causando a degradação de recursos hídricos. A erosão, as inundações, os assoreamentos desenfreados de rios, lagos e reservatórios são conseqüências do mau uso da terra. Estes processos refletem direta ou indiretamente na qualidade da água das bacias de drenagem de uma região. Por sua vez, a qualidade da água influencia no desenvolvimento e crescimento dos organismos aquáticos, afetando sua atividade metabólica o que pode provocar alterações físicas, químicas e biológicas no meio aquático como, por exemplo, o nível de oxigênio, quantidade de algas e bactérias, sem contar os danos que causará ao homem (SPERLING, 1998).

5.3.6.3. Ocorrências de Manejo Inadequado dos Recursos Naturais em Bacias Hidrográficas, Consideradas Fontes de Poluição Para o Meio Ambiente.

- uso e manuseio inadequado de agroquímicos: fertilizantes, herbicidas e agrotóxicos e suas embalagens junto a açudes, córregos e lavouras (quantidade excessiva no preparo da calda, descarte de embalagens usadas);
- disposição de lixo residencial e esgoto doméstico em locais inadequados (“a céu aberto”);
- uso indiscriminado da água para a irrigação;
- barramento dos córregos reduzindo a vazão e perenecidade dos córregos;
- ausência de práticas conservacionistas na implantação e condução das áreas com lavoura e pastagem;
- desmatamentos, queimadas e preparo do solo morro abaixo;
- uso inadequado do solo na área urbana e rural (construção de prédios não planejada, ruas com trajeto que favorecem a erosão, deposição inadequada de lixo e outros).

5.3.6.4. Principais Conseqüências da Degradação Ambiental Observadas em Bacias Hidrográficas.

- grande perda de solos;
- aumento dos custos de produção;
- redução de área de plantio;
- redução da fauna silvestre;
- redução da quantidade de água disponível para a população rural e urbana (seca de nascentes e menor vazão dos rios e córregos);
- redução da qualidade da água na cidade e no meio rural (água poluída);
- assoreamento dos córregos;

- enchentes e inundações;
- desmoronamentos, e,
- êxodo rural e urbano para outros municípios.

5.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COIMBRA, R.M. Monitoramento da qualidade da água. In: PORTO, R. L. L. (org.) Hidrologia ambiental. São Paulo: USP/ABRH, 1991. v.3., p.392-411. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos).
- MAcCAULEY, D.S.; HUFSCHEMIDT, M.M. Gerenciamento de Recursos Hídricos: Planejamento e Implantação. HASHIMOTO, M. (ed.). Diretrizes para o gerenciamento de lagos. Japão. 1995. v.2, 39 p.
- PRADO, R.B. Geotecnologias aplicadas à análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos. 172 p. Tese (Doutorado). Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2004.
- SPERLING, E. von. Qualidade da água em atividades de mineração. In: Dias, L. E.; MELLO, J. W. V. de. Recuperação de áreas degradadas. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1998. p. 95-105.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (Rio de Janeiro, RJ). **Revegetação de solos degradados.** / Avílio A Franco...{et al.}. – Rio de Janeiro 1992.9p.(EMBRAPA-CNPAB).ComunicadoTécnico;9).

Capítulo 6

ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Cláudio Lucas Capeche

José Ronaldo de Macedo

Adoildo da Silva Melo

6.1. INTRODUÇÃO

O problema da erosão assume proporções alarmantes em muitas regiões do país e tende a se agravar, sendo observadas variadas formas, desde a erosão laminar, imperceptível nos seus estágios iniciais, até os grandes voçorocamentos.

A existência da erosão dos solos é um processo geológico, porém o seu agravamento em solos agrícolas é devido à quebra do equilíbrio natural entre o solo e o ambiente, geralmente promovida e acelerada pelo homem. A erosão, principalmente a antrópica, vem preocupando os agrônomos, técnicos e órgãos governamentais e não governamentais e é uma das maiores ameaças à agricultura e ao meio ambiente, devido à utilização inadequada e intensiva desse recurso natural não renovável.

A velocidade do processo está diretamente associada aos fatores extrínsecos e intrínsecos do solo. Os seus efeitos negativos são sentidos, progressivamente, devido à perda das camadas mais férteis do solo, tendo como consequência a perda de produtividade das culturas, o aumento dos custos de produção com a demanda de mais

insumos para poder manter a mesma produtividade anterior. Finalmente, tem-se o esgotamento total do solo e seu posterior abandono.

Diante deste fenômeno desolador, ou protegemos devidamente o solo, manejando-o adequadamente dentro das suas potencialidades, ou, em breve, teremos apenas terras improdutivas.

Para se começar a proteger o solo devidamente, tem-se que criar uma mentalidade conservacionista. Por isso, torna-se vital ter em mente os princípios básicos da conservação do solo. Principalmente em áreas agrícolas, devem-se considerar os seguintes pontos: em primeiro lugar, procurar manter o solo coberto o máximo de tempo possível, durante o ciclo das culturas e após a colheita, com o objetivo de minimizar e/ou impedir o impacto direto da gota da chuva sobre o solo (a erosão inicia assim), que causa a destruição dos agregados (pequenos torrões) do solo, o entupimento dos poros e a formação de uma crosta superficial. Esta crosta além de dificultar a germinação das sementes, reduz a infiltração da água no solo e contribui para a formação de enxurradas. Em segundo lugar, devem-se adotar práticas agrícolas que mantenham e/ou elevem a capacidade de infiltração da água no solo e reduza o escoamento superficial e a formação de enxurradas, outro agente muito importante que acelera a erosão.

Para que estes princípios básicos possam ser seguidos, uma série de técnicas agrícolas, que serão abordadas a seguir, deverão ser utilizadas para se alcançar um perfeito controle da erosão.

6.2. RECOMENDAÇÕES BÁSICAS DE SISTEMAS DE MANEJO DE SOLOS

6.2.1. Preparo do Solo

Tem grande importância nas perdas de solo, pois interfere diretamente na cobertura vegetal e nas características físicas e biológicas do solo.

O preparo do solo é uma prática agrícola que tem como objetivo oferecer condições ideais para a semeadura, germinação, emergência das plântulas, desenvolvimento e produtividade das culturas.

De forma geral podem ser divididas em três categorias:

- **Preparo primário:** refere-se às operações mais profundas e grosseiras que visam, principalmente, a eliminar e enterrar as ervas daninhas estabelecidas, enterrar os restos da cultura anterior e, também tornar o solo mais friável. Exemplo: aração, escarificação etc.
- **Preparo secundário:** são todas as operações subseqüentes ao preparo primário, como o nivelamento do terreno, destorroamento, incorporação de de fertilizantes, eliminação de ervas daninhas no início de seu desenvolvimento, produzindo um ambiente favorável ao desenvolvimento inicial da cultura implantada. Exemplo: gradagem, operação com enxada rotativa, etc.

- **Tratos culturais:** utilização de práticas após a cultura ser implantada visando, basicamente, eliminar as ervas daninhas, fazer amontoa etc. Exemplo: capina mecânica, etc.

O preparo do solo geralmente resulta numa diminuição do tamanho dos agregados, aumento temporário do espaço poroso e da atividade microbiana, além da incorporação dos resíduos, deixando o solo descoberto. Com o passar do tempo, há uma diminuição no conteúdo de matéria orgânica e, conseqüentemente, no número de microorganismos, resultando numa redução da agregação promovida por estes. Isso faz com que haja maior suscetibilidade à desagregação e transporte, ou seja, maior suscetibilidade à erosão. Além disso, o peso das máquinas e implementos pode imprimir uma aproximação das partículas, decorrendo na formação de camadas compactadas. Em função dessas alterações físicas, o preparo é a prática que mais induz a erosão do solo na agricultura.

Portanto, os implementos de preparo do solo devem se adaptar às condições e tipos de solo, visando principalmente à preservação das características físicas e biológicas na camada de preparo, evitando a desagregação excessiva, aumentando a infiltração e, conseqüentemente, diminuindo as perdas de solo.

6.2.1.1. Condições de Umidade no Solo

As alterações que ocorrem no solo por ocasião do preparo são determinadas em grande parte pelo tipo de implemento utilizado, mas o conteúdo de umidade no momento da realização desta prática também é importante.

As forças de atração entre as partículas são a coesão, quando na ausência de umidade, e a adesão, na presença de água.

Deve-se efetuar o preparo de solo num ponto de umidade onde o solo apresenta a menor atração entre as partículas, dada pelo somatório das forças de coesão e de adesão. Isso ocorre quando o solo se encontra úmido, ou seja, com um teor de umidade que possibilite fácil esboroamento dos agregados, que é a condição de friabilidade (Fig. 6.1).

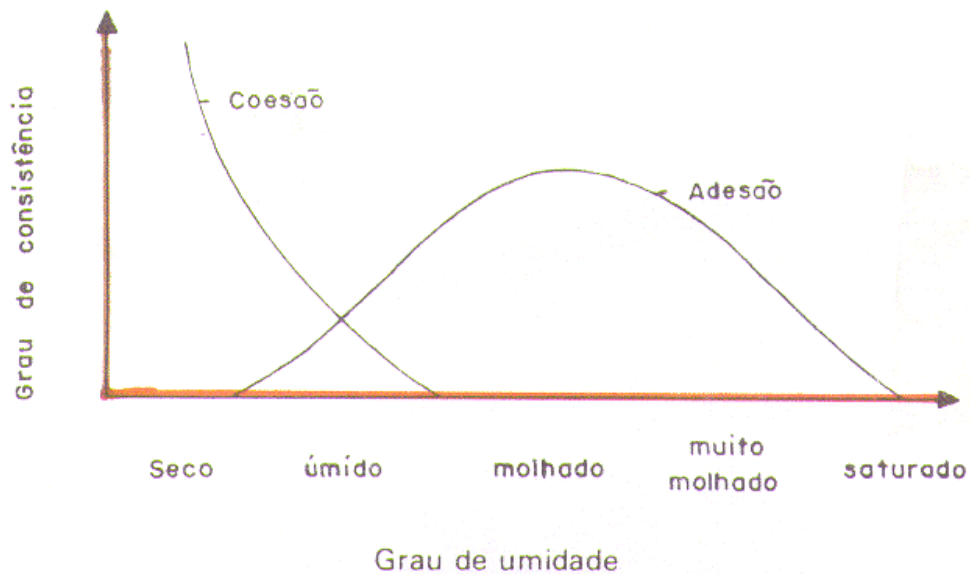


Fig. 6.1. Relação entre as forças de coesão e de adesão que atuam no solo sob diferentes condições de umidade.

Se o solo estiver muito úmido no momento do preparo, haverá maior consumo de energia e ocorre compactação, já que o solo se molda com facilidade (caráter plasticidade). Se estiver muito seco, também haverá maior consumo de energia, bem como a formação de torrões sem, no entanto, ocorrer significativos prejuízos à estrutura.

6.2.1.2 Sentido de Preparo do Solo

Além da umidade, outro aspecto a ser considerado é a realização do preparo do solo em contorno, ou seja, transversal ao sentido do declive. A simples adoção desta prática representa uma redução de até 50% nas perdas de solo. Deve-se sempre evitar o preparo do solo “morro abaixo”, pois nessas condições a erosão é intensificada o que promove perda de nutrientes, matéria orgânica, sementes, além de assorear rios, açudes, além de formar voçorocas.

6.2.2. Sistemas de Cultivos

O efeito do preparo do solo sobre suas propriedades químicas, físicas e biológicas não depende apenas do implemento empregado, mas, também, da forma e intensidade de seu uso. Em muitas ocasiões o efeito benéfico de determinado implemento pode ser anulado pelo uso inadequado. Sob o ponto de vista da conservação, o melhor preparo é aquele que envolve um menor número de operações

e deixa o máximo de resíduos culturais na superfície, de forma a proteger os agregados do impacto direto das gotas de chuva. Deve-se considerar, no entanto, que nenhum implemento de preparo promove melhorias na estrutura do solo. Isso só é conseguido através de atividade biológica, (macro e microorganismos e sistema radicular).

Baseado no tipo de implemento e na intensidade de seu uso podemos identificar três tipos básicos de preparo do solo:

- **Convencional:** envolve uma ou mais arações e duas ou mais gradagens.
- **Reduzido:** O principal aspecto deste sistema de preparo é o reduzido número de operações de preparo.
- **Plantio direto:** O plantio direto pode ser definido como a técnica de colocação da semente ou muda em sulco ou cova no solo não revolvido, com largura e profundidade suficientes para obter uma adequada cobertura e um adequado contato da semente ou muda com a terra. As entrelinhas permanecem cobertas pela resteva de culturas anteriores ou de plantas cultivadas especialmente com esta finalidade. Segundo estes preceitos, o solo permanece com no mínimo 50% da cobertura e o revolvimento máximo para a abertura do sulco ou cova é de 25 a 30% da área total.

Alguns resultados de pesquisa vislumbram as diferenças entre os métodos de preparo de solo e suas vantagens e desvantagens. Em trabalhos efetuados em Campos de Lages, com sete lavouras de alho sob preparo com subsolagem + aração + duas gradagens + enxada rotativa, BERTOL (1989) observou que, passados apenas seis anos de preparo, houve aumento da densidade global do solo, da resistência à penetração de raízes e da microporosidade. Também houve formação de camada compactada subsuperficial, acompanhada de redução da macroporosidade, da porosidade total e da infiltração de água no solo.

Nas figuras a seguir, podemos observar os efeitos do preparo do solo com arado de disco tracionado por trator morro abaixo (Fig. 6.2) e arado de aiveca com tração animal em nível (Fig.6.3). Observa-se na Fig. 6.3 uma maior densidade de raízes e maior aprofundamento das mesmas. Além disso, os dados de penetrômetro, indicam adensamento do perfil do solo, que pode ser constatado na Fig. 6.2, pelo aspecto maciço e pela linha de pé de arado.

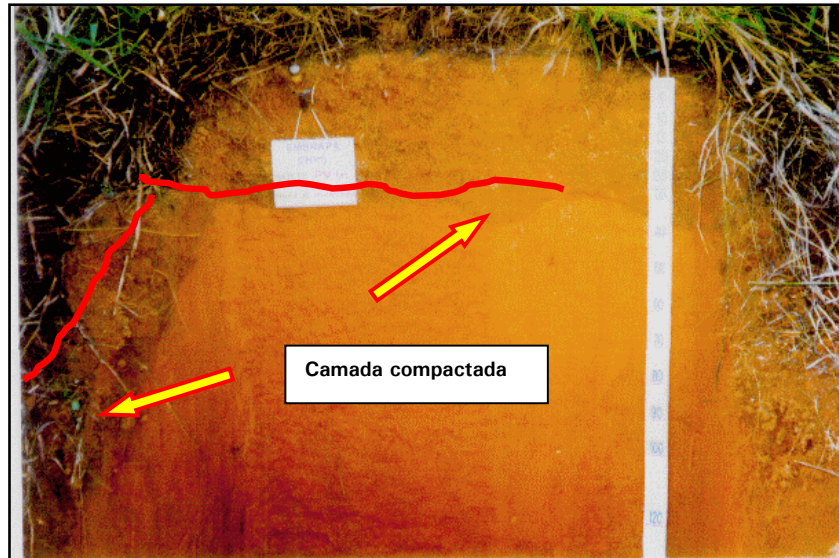


Fig. 6.2. Aspecto visual do perfil de solo preparado com arado de disco tracionado por trator, sentido morro abaixo (Paty do Alferes/RJ - Out/95).

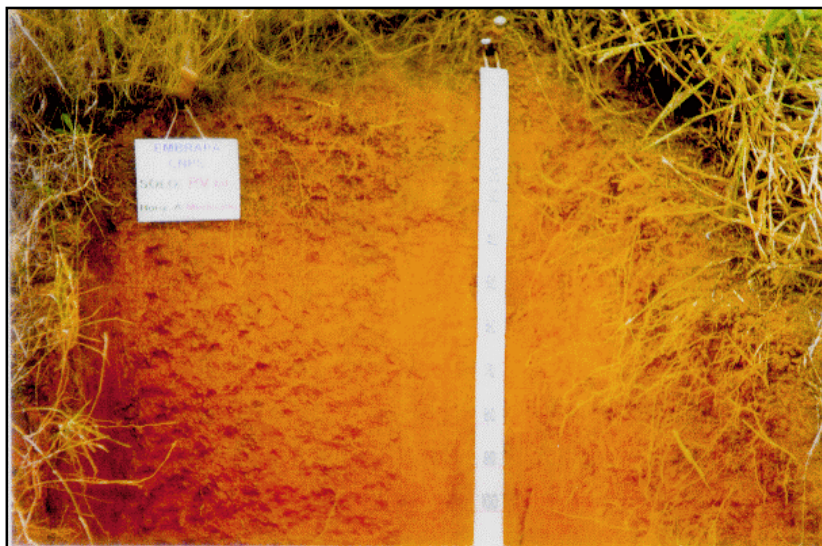


Fig. 6.3. Aspecto visual do perfil de solo preparado com arado de aiveca com tração animal (Paty do Alferes/RJ - Out/95).

Em outro trabalho realizado por WÜNSCHE & DENARDIN (1980), onde compararam dois manejos da palhada com preparo convencional nas culturas de soja e trigo em Passo Fundo (Tabela 6.1), foi verificado que a perda de solo quando da incorporação da palhada foi somente 30% daquela ocorrida com a queima da mesma.

Tabela 6.1. Perda média de solo por erosão em dois anos agrícolas, sob chuva natural nas culturas de trigo e soja em Latossolo Vermelho-Escuro.

Tratamento	Perda de solo (t/ha)
Preparo convencional (1 lavra + 2 gradagens) com queima de palhada	12,8
Preparo convencional (1 lavra + 2 gradagens) com incorporação da palhada	3,7

Estes resultados foram atribuídos à incorporação da palhada ao contrário da queima, aumentando a quantidade de matéria orgânica no solo com reflexos positivos na melhoria da estrutura, o que proporcionou um aumento da infiltração de água no solo.

A queima dos restos vegetais deve ser feita apenas por medidas fitossanitárias quando, então, estes deverão ser amontoados para a queima.

6.3. MANEJO E CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS

6.3.1. Planejamento Conservacionista

O planejamento conservacionista é essencial para obter-se melhores rendimentos na exploração das culturas e visa obter o máximo proveito da terra por unidade de área plantada, proporcionando o desenvolvimento socioeconômico do produtor rural e sua família, assim como, a conservação dos recursos naturais da propriedade agrícola (Fig.6.4). A caracterização ambiental e o planejamento de uso das terras da propriedade devem ser feitos por técnicos.

É necessário ter em mente que uma propriedade não é constituída somente de um tipo de solo e estes não ocorrem em apenas um tipo de declividade. Via de regra, a propriedade rural é dotada de terras planas, inclinadas, grotas, brejos, etc. Por isso, a distribuição dos cultivos na propriedade é ponto chave no planejamento conservacionista. Em consonância à distribuição adequada dos cultivos, devem-se associar outras técnicas vegetativas e mecânicas, pois o planejamento conservacionista não é composto de técnicas isoladas, mas sim integradas.

Embora possa parecer que as terras possuem características pedológicas semelhantes, é certo que essas características podem variar claramente de área para área dentro de uma mesma propriedade, havendo necessidade de se identificar essas diferentes áreas. O planejamento determinará as áreas mais apropriadas para o plantio de culturas anuais, perenes, pastagem, reflorestamento etc e adotar medidas de controle à erosão. Cada tipo de solo tem sua aptidão, isto é, os solos devem ser usados com culturas mais adequadas a sua capacidade de uso.



Fig. 6.4. Visão panorâmica de uma propriedade no município de Lagoa Dourada/MG, com planejamento conservacionista. Terraço ao fundo associado com capineira protegendo o curral - nov/95.

A caracterização ambiental consiste, essencialmente, em:

- reconhecimento e levantamento topográfico da área a ser explorada;
- levantamento e anotações das informações básicas, a respeito das características principais dos solos e hidrologia;
- reconhecimento das características da flora, para preservá-la em locais a serem estudados em função dos levantamentos anteriores; e
- mapeamento da área.

As principais características dos solos que devem ser levantadas são: profundidade efetiva, textura, permeabilidade, reação do solo (alcalinidade ou acidez), teor de matéria orgânica, inclinação, grau de erosão e uso atual.

6.3.2. Métodos de Controle da Erosão

Os dois fatores que concorrem diretamente para a erosão do solo são a declividade do terreno e o volume e intensidade da precipitação. Os diversos métodos de conservação do solo visam reduzir/evitar a ação da água da chuva sobre o terreno.

6.3.2.1. Nivelamento, Cálculo da Declividade e determinação da Curvas de Nível.

O nivelamento de uma vertente é imprescindível em trabalhos de conservação do solo, pois, através dele, pode-se determinar as diferenças de altitude entre dois ou mais pontos consecutivos, o que permitirá o cálculo da inclinação ou pendente (declividade) do terreno.

Determina-se esta pendente através de métodos expeditos ou por processos de precisão.

Os nivelamentos expeditos podem ser feitos com:

- régua e nível de pedreiro.
- Esquadros.
- nível de mangueira.

Os nivelamentos de precisão podem ser feitos com:

- clinômetro.
- teodolito.
- nível de precisão.
- nivelamento composto.
- interpretação aerofotogramétrica.

A. Nivelamento utilizando régua e nível de pedreiro

Este tipo de nivelamento é o mais rudimentar. Deve-se construir uma régua de madeira parelhada, medindo 4,00m de comprimento por 0,08m de largura e 0,03 m de espessura. No meio da régua instala-se um nível de pedreiro. No campo, coloca-se a régua em nível no sentido do alinhamento do declive, procedendo a leitura da altura (h) com uma trena metálica de bolso, que vai da base da régua até a superfície do solo, conforme a Fig.6.5. Anota-se todas as leituras para depois no escritório fazer os cálculos necessários.

Vê-se na Fig.6.5:

DH = distância horizontal = AB

DV = distância vertical = A'A = E (ab+cd+ef+gh+...+xy)

E = Somatório

I = Inclinação (%)

Logo: Se para uma distância horizontal (DH) existe uma diferença de nível (DV), para uma distância horizontal de 100, obter-se-á o desnível I.

$$\frac{E}{DH} = \frac{DV}{100} \quad I = \frac{E \cdot DV \cdot 100}{E \cdot DH} \%$$

Exemplo: DH = 180,00m
DV = 45,00m

$$I = \frac{45 \cdot 100}{180} = 25\%$$

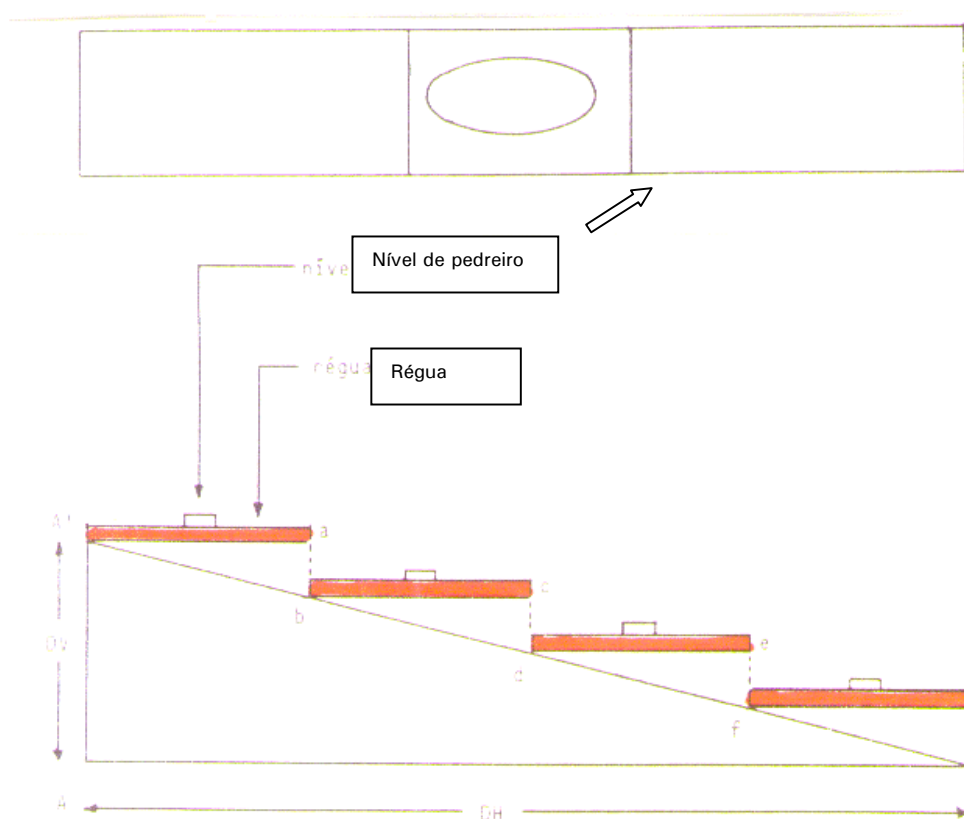


Fig.6.5. Nível de pedreiro acima e nivelamento com régua tendo o nível de pedreiro acoplado.

Outro modo de operação consiste em colocar-se a ripa horizontalmente, com uma das pontas apoiada sobre o terreno, e, o restante, na direção da linha de maior declive. Levanta-se a outra ponta, até que o nível de bolha, colocado no centro da ripa, acuse estar à mesma, em nível; dispõe-se a régua graduada na posição vertical e mede-se a distância que vai do terreno até a ripa. Anota-se essa leitura e marca-se este ponto do terreno. Desloca-se a ripa, até que uma das pontas fique novamente na posição horizontal e efetua-se uma nova leitura da régua. Se a ripa é de 4,00m de comprimento, fazem-se cinco leituras de diferença de altura (vertical), para atingir os 20m. Somando-se estas leituras, e, multiplicando-se por cinco, obtém-se a porcentagem da declividade.

Exemplo: Usando-se uma ripa de 4,00m, fazem-se as seguintes leituras de diferença de altura 25, 23, 28, 24 e 16 cm. Logo, a soma será de 116 cm; e esta diferença é para a distância de 20 metros, logo, para 100 metros obter-se-á 5,80 metros. Portanto, a declividade desse terreno será de 5,8%, que na prática, aproxima-se para 6%.

B. Nivelamento com esquadros

Os esquadros são equipamentos bastante simples e de fácil construção, que na forma triangular, retangular ou trapezoidal funcionam com o auxílio de um fio de prumo,

no primeiro caso, e com auxílio de um nível pedreiro nos dois últimos, conforme Figs. 6.6, 6.7 e 6.8. Procede-se o nivelamento de modo semelhante ao da régua, tomando-se as ordenadas verticais, com auxílio de trena de bolso ou régua graduada. As distâncias ou ordenadas verticais se referem ao comprimento do pé do trapézio que fica suspenso, quando o mesmo está em nível e à superfície do terreno. As distâncias horizontais parciais são dadas pelas medidas entre os pés do esquadro (Figs. 6.9 e 6.10).

$E\ DV = (ab+cd+ef+\dots+xy).$

$E\ DH = N \times \text{distância entre os pés do esquadro}.$

Onde: $E\ DV$ = somatório da diferença vertical;

$E\ DH$ = somatório da diferença horizontal e;

N = número de leituras.

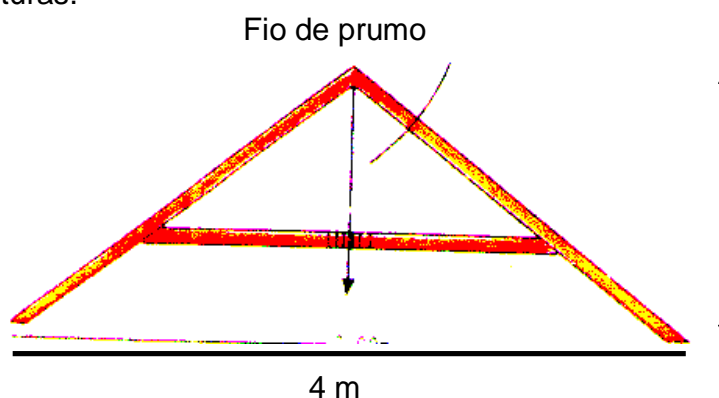


Fig. 6.6. Triângulo.

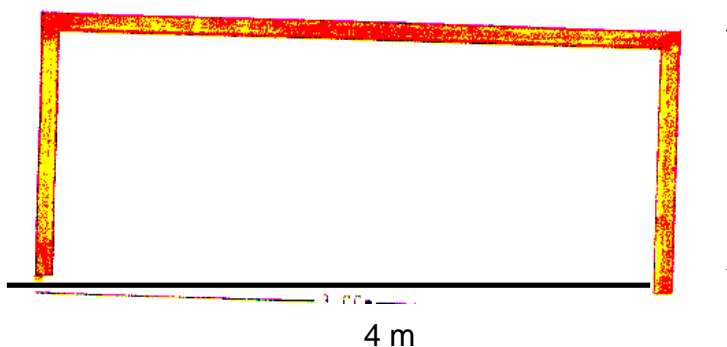


Fig. 6.7. Esquadro.

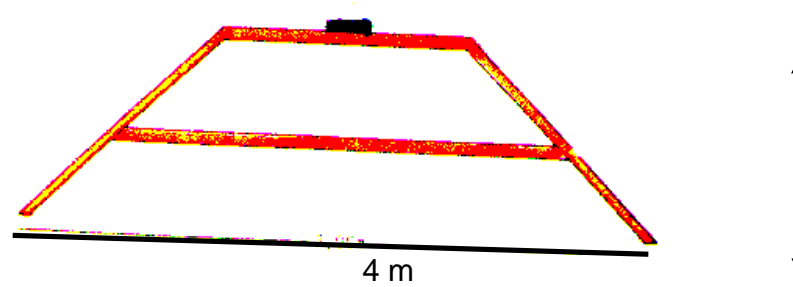


Fig. 6.8. Trapézio.

Figs. 6.6, 6.7 e 6.8 - Instrumentos expeditos para cálculo de nivelamento, declividade e marcação de curvas de nível.

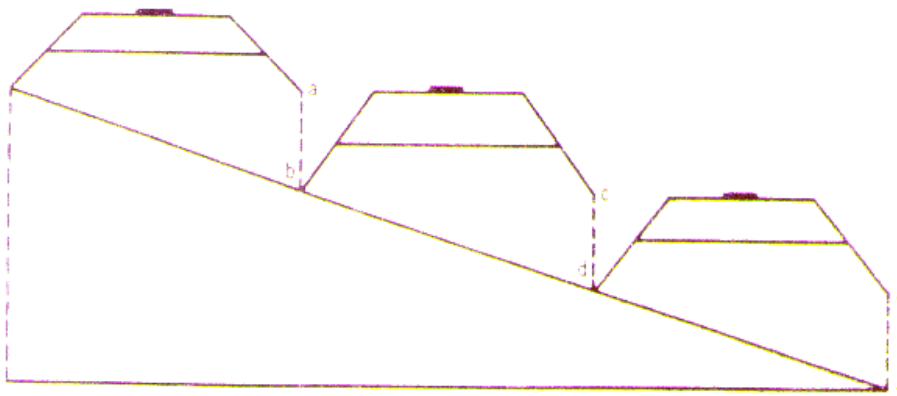


Fig. 6.9. Determinação de declividade com trapézio.

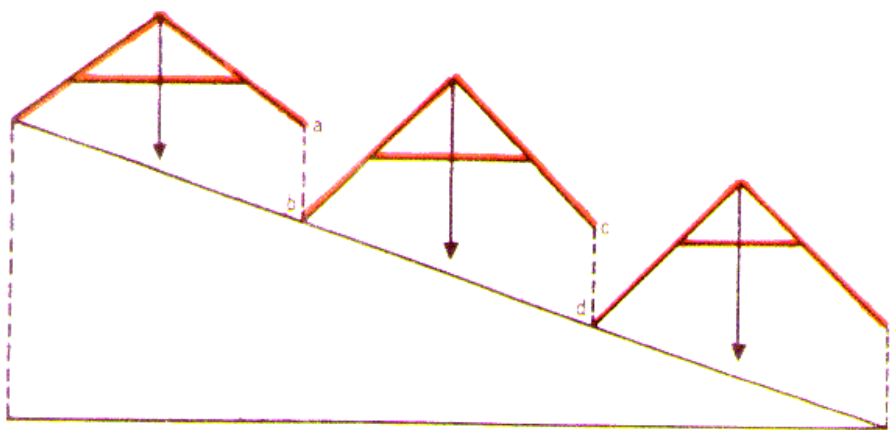


Fig. 6.10. Determinação da declividade com triângulo

Em função da diferença de nível obtida, calcula-se a inclinação pelo mesmo processo descrito para a régua.

C. Nivelamento com nível de mangueira

O nível de mangueira pode ser formado por duas réguas de madeira com 2,00m de altura por 0,015m de espessura e 0,07 m de largura. As réguas são graduadas em centímetros e providas de um pé retangular para apoio no solo. As duas réguas são conectadas numa mangueira plástica, transparente, com 1/2" de diâmetro e cujo comprimento pode variar de 10 a 20 metros. As extremidades da mangueira coincidem com a graduação superior de cada régua e a parte da mangueira que coincide com cada uma das réguas vai nela fixada. A mangueira é cheia com água tendo-se o cuidado de extrair as bolhas de ar. O método baseia-se no princípio dos vasos comunicantes.

Obtém-se a diferença de nível, para o cálculo da declividade, esticando-se a mangueira horizontalmente no sentido da inclinação, sendo que a diferença de nível relacionada com a distância horizontal parcial, (que é o comprimento da mangueira) é determinada pela expressão:

$DN = 100 \cdot h / L$, onde:

DN = Diferença de nível;

L = Comprimento da mangueira e

h = Altura

D. Nivelamento com clinômetro

Sabendo-se a distância horizontal DH, entre dois pontos quaisquer, A e B, por exemplo, e com o auxílio de um clinômetro mede-se o ângulo de inclinação entre o ponto A de visada (onde o aparelho encontra-se localizado) e o ponto B, estando este na mesma altura de referência, ou seja, se o aparelho estiver a 1,70m de altura (altura dos olhos do observador), o ponto visado deverá ter obrigatoriamente a mesma altura.

E. Nivelamento com nível de precisão

Através deste método é possível o estudo do perfil topográfico. O nível é instalado em uma ponta da linha a ser nivelada ou fora dela. Desta posição são lidas as cotas de todas as estacas possíveis, acima e abaixo do local onde está instalado o aparelho. A diferença de nível entre os pontos será obtida pela soma algébrica das diferenças parciais de nível (Figs. 6.11 e 6.12).

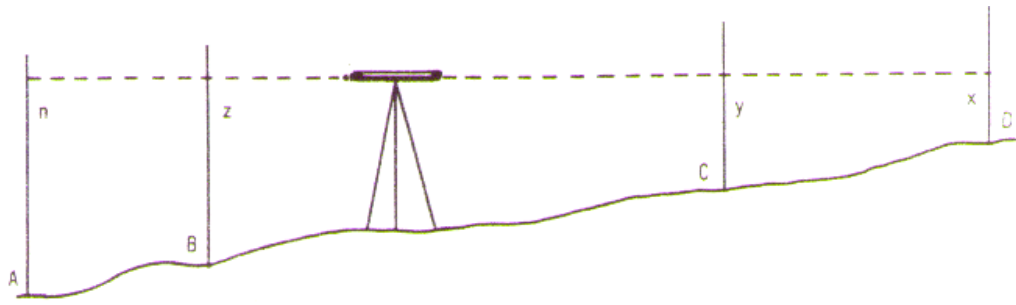


Fig. 6.11. Nivelamento simples com nível de luneta

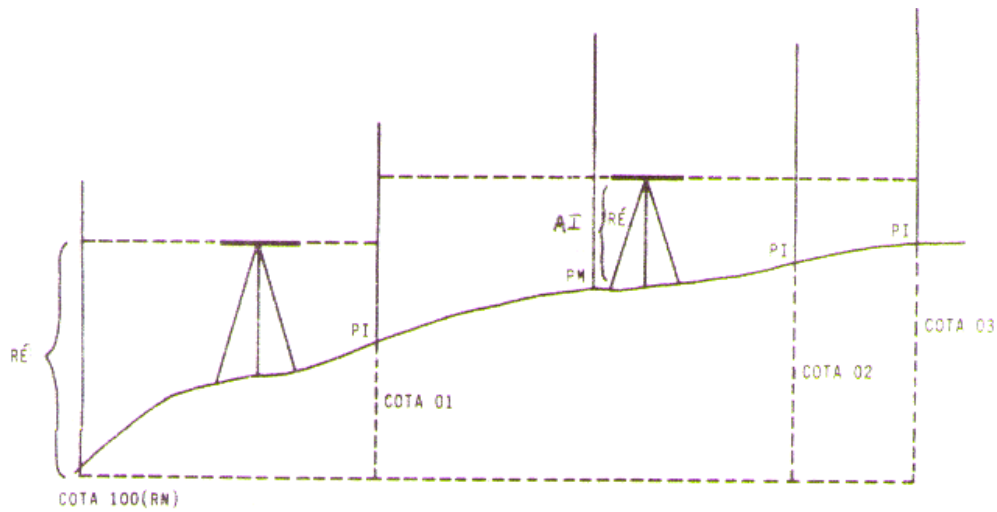


Fig. 6.12. Nivelamento composto com nível de luneta

À medida que se procede ao nivelamento, preenche-se uma caderneta de campo, como no exemplo (Tabela 6.2):

Tabela 6.2: Cardeneta de Campo.

Estaca	Leituras	
	Positiva	Negativa
0		
1	0,85	
2	1,52	
3		0,40
4		0,90
DN – diferença de nível		
DN = 0,85 + 1,52 – (0,40 + 0,90) * DN = 2,37 - 1,30 * DN = 1.07		

F. Nivelamento composto

Aplica-se este processo quando o desnível é superior a altura da mira (4,00m) porque vai ser necessária a mudança do aparelho em uma sequência de nivelamentos simples. Para tanto, devemos ter em mente os seguintes conceitos:

- altura do aparelho: (I) refere-se à altura do fio médio da luneta com relação ao plano de referência, estando o aparelho nivelado.
- referência de nível: (RN) pode ser uma cota arbitrária, atribuindo-se a ela um valor elevado (100 ou 1000m) de tal sorte que no decorrer da operação não existam contas negativas. Quando o plano de referência é o nível do mar, a referência de nível é o zero.
- visada à ré: ao se começar o nivelamento, o nível de precisão é instalado em um ponto tal, sobre ou ao lado da linha a ser nivelada. Por convenção, a visada feita sobre a primeira estação chama-se visada à ré.
- visada à vante: as leituras da mira, feitas a partir da 1ª visada são chamadas de visadas à vante, de tal sorte que, para cada trecho de uma estação, temos um a visada à ré e uma ou mais visadas à vante. Elas podem ser denominadas de Pontos Intermediários (PI) e Pontos de Mudança (PM). Os pontos intermediários são determinados pelas visadas de vante, até a penúltima estaca a ser vista de uma estação com o nível. A última estaca possível de ser focalizada antes de se mudar o aparelho, chama-se ponto de mudança.

No andamento do serviço preenche-se a seguinte caderneta de campo (Tabela 6.3).

Tabela 6.3: Caderneta de campo durante o serviço.

Estacas	Ré	Ai	PI	PM	Cotas
0	2,50	102,50	-	-	100,00
1	-	-	1,00	-	101,50
2	3,00	105,00	-	0,50	102,00
3	-	-	0,80	-	104,20
4	-	-	2,70	-	102,30
5	-	-	-	3,10	101,90

As cotas adicionadas às visadas a ré dão a altura do aparelho. Os pontos intermediários e os pontos de mudança do aparelho nos fornecem as cotas.

6.3.2.2. Locação das Curvas de Nível

As curvas de nível podem ser locadas em campo por meio de instrumental rudimentar ou com aparelhos de precisão. Os processos mais utilizados são:

- locação com esquadros;
- locação com nível de mangueira;

- locação com nível de precisão; e
- locação com teodolito

A. Locação com esquadros

O trabalho inicia calculando-se a declividade do terreno por um dos métodos citados no item anterior. Uma vez determinada a inclinação, calcula-se o espaçamento das niveladas ou linhas mestras com o auxílio de tabela própria, seja para a locação de estruturas mecânicas ou vegetativas. A demarcação deve ser iniciada a partir da parte mais elevada da vertente, consistindo na alternância de posições do trapézio ou do triângulo, no sentido transversal à linha de declive, os pontos da mesma cota são obtidos pela centralização da bolha no nível de pedreiro ou pela verticalidade dada pelo fio de prumo, verificada pela referência a um indicador no meio exato do travessão do esquadro triangular. Nos pontos nivelados colocam-se piquetes (Figs 6.13 e 6.14).

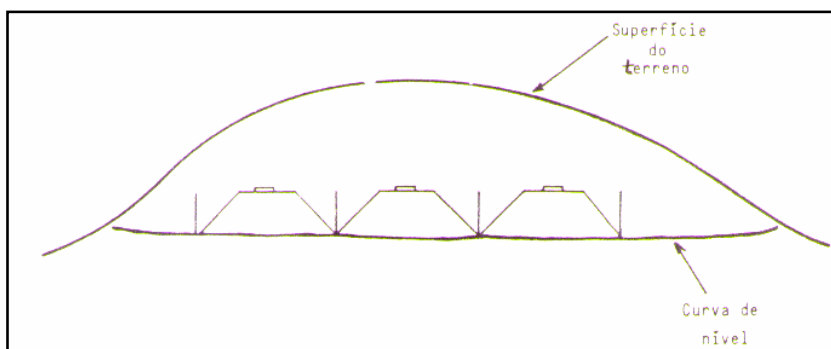


Fig. 6.13. Locação das curvas de nível com trapézio.

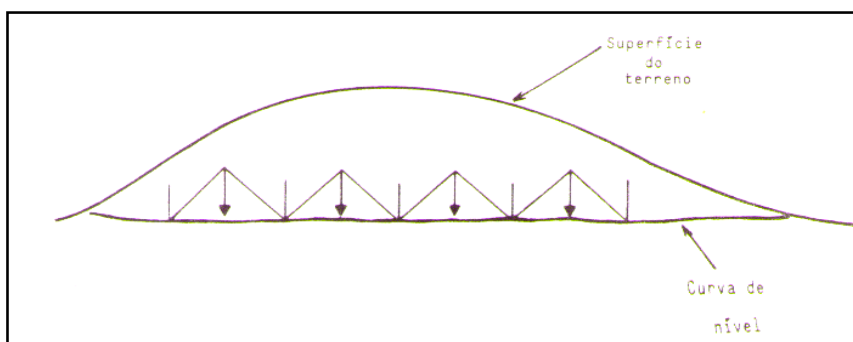


Fig. 6.14. Locação de curvas de nível com triângulo.

B. Locação com nível de mangueira

O processo consiste em se alternar as réguas graduadas, com a mangueira esticada, procurando os pontos da mesma altitude que são dados pela coincidência dos

níveis de água em cada uma das réguas graduadas, colocando-se varas para a orientação dos trabalhos mecanizados (Figura 6.15).

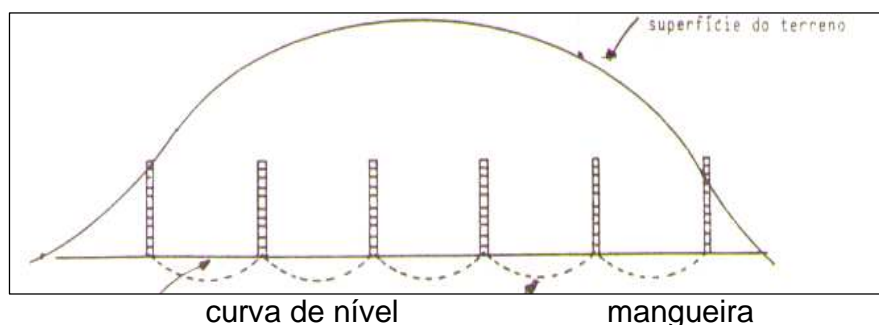


Fig. 6.15. Locação de curva de nível com nível de mangueira.

C. Locação com nível de precisão ou teodolito

É o processo que fornece maior precisão. Calculada a declividade por meio de nivelamento simples ou composto, tomada das distâncias horizontais, e obtido o espaçamento entre as niveladas, o trabalho tem início a partir da parte superior da vertente. Instala-se o aparelho no ponto inicial da linha de nível a ser locada, podendo-se instalá-la, acima ou abaixo desse ponto, segundo a conveniência. Visando-se uma baliza, coloca-se uma referência na altura correspondente à visada, efetuada com o fio médio da luneta. Para a marcação dos pontos subseqüentes, o balizeiro caminha de 20 a 30 metros, sempre no sentido perpendicular ao declive, até que o fio médio da luneta do aparelho coincida com a marca feita na baliza (Fig. 6.16).

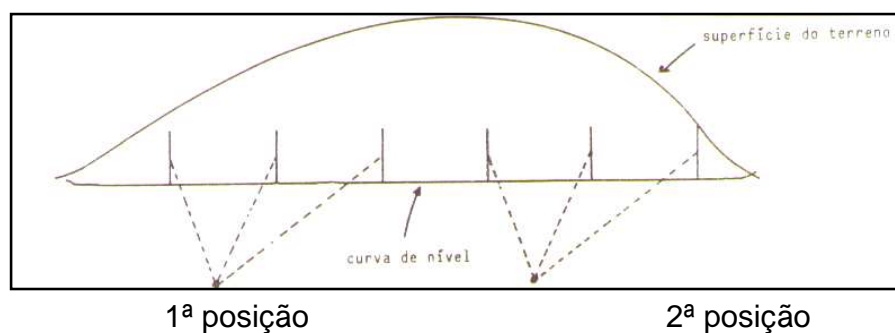


Fig. 6.16. Locação de curva de nível com teodolito ou com nível.

Dessa forma, marcam-se com piquetes, quantos pontos sejam alcançados pela luneta, sendo que no último ponto o aparelho será transferido e reinstalado, onde a baliza poderá receber uma nova marca de referência ou continuar com a mesma.

D. Locação de curvas com gradiente (curvas em desnível)

Curvas com gradiente tem a característica de apresentar declividade uniforme ou variável, de acordo com a sua finalidade. O seu gradiente ou pendente é variável, podendo ser de 1 o/oo (um por mil) a até 5 o/oo (cinco por mil). Tendo-se a direção pré-determinada, basta encontrar diretamente no campo os desníveis requeridos, utilizando de nível de precisão, com mira.

Exemplo: Localizar uma curva em desnível com 0,5% (5 o/oo), para se construir um canal em contorno, sendo o estaqueamento de 20 em 20 metros.

$DN = DH \cdot d = 20 \cdot 0,005 = 0,01$ metros, onde:

DN = diferença de nível

DH = distância horizontal

d = desnível desejado

Procedimento em campo: a partir do ponto A, com determinada leitura da mira, marcam-se 20 metros e procura-se um ponto sobre este raio que proporcione uma visada de 0,01m (ou 1cm) maior, uma vez que, o terreno está em declive. Então, vão se fazendo, de 20 em 20m, como no caso de exemplo, visadas sempre cumulativas, ou seja: a 2ª visada com 2cm, a 3ª com 3cm e assim por diante, até que se atinja o ponto final. Quando uma leitura não puder ser feita por ultrapassar a altura da mira, muda-se o aparelho para outra estação, recomeçando-se o trabalho do último ponto lido.

Um processo expedito consiste no uso do esquadro retangular ou trapezoidal, com um dos pés ajustáveis. Por exemplo: à distância de 3 metros entre os pés e se deseja localizar uma linha com 3 o/oo de declive, basta abaixar-se no pé ajustável, 0,009m (0,9 cm) e com esse desnível a bolha terá que estar nivelada.

6.3.2.3. Terraceamento

Terraceamento é um dos métodos de conservação do solo mais antigos e também um dos mais utilizados que visam reduzir a velocidade da água das chuvas erosivas que escorrem sobre o terreno. Ele é um método mecânico, que visa formar obstáculos físicos e parcelar o comprimento de rampa possibilitando, assim, a redução da velocidade e subdividindo o volume do deflúvio superficial, possibilitando sua infiltração no solo. Também, disciplinar o seu escoamento até um leito estável de drenagem natural ou artificial.

Na fig. 6.17 e 6.18 observa-se o detalhe de um terraço e o uso de um conjunto de terraços projetados e construídos, segundo as condições locais, para controlar a erosão de uma determinada área.

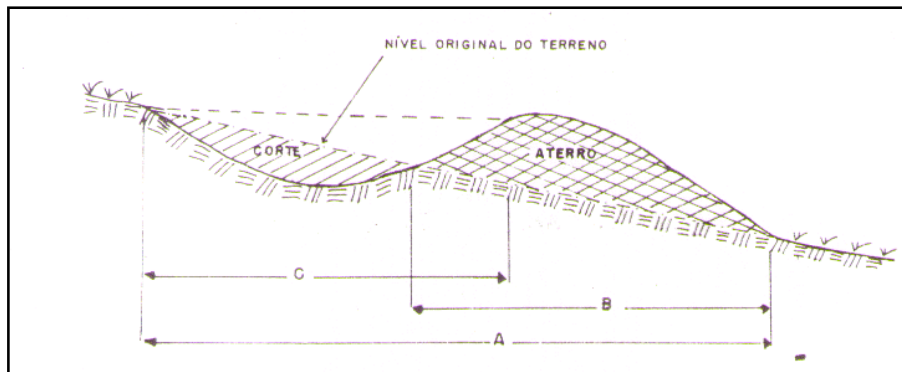


Fig. 6.17. Representação esquemática de um terraço em perfil, mostrando: A - faixa de movimentação de terra, B - Camalhão ou dique e C - o canal.

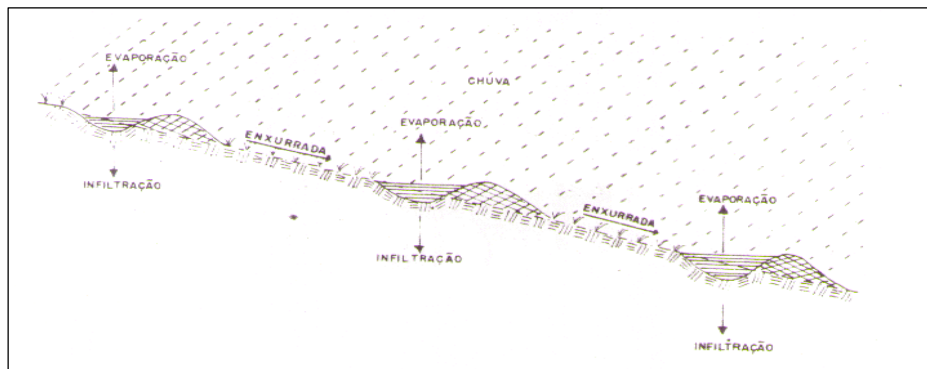


Fig. 6.18. Representação esquemática de um terraceamento mostrando a retenção das águas da enxurrada e o parcelamento do declive.

Devido ao custo relativamente alto de construção e manutenção de um sistema de terraceamento, deve-se fazer um estudo criterioso das condições locais de clima, solo, sistema de cultivo, culturas a serem implantadas, declividade do terreno e equipamentos disponíveis, para que se tenha segurança e eficiência no controle da erosão.

O terraceamento é indicado para terrenos que apresentam declividade entre 6 a 12%, porém este método pode ser usado, com sucesso, em declives maiores, como também pode ser necessário a sua indicação em encostas menos íngrimes, dependendo da intensidade das chuvas e da suscetibilidade do solo à erosão.

É importante ressaltar que esta prática deve, obrigatoriamente, estar associada à outras práticas conservacionistas, como: plantio em curva de nível, plantio em faixas de retenção, rotação de culturas, cordões vegetados, alternância de capinas, manutenção da cobertura morta, etc (Fig.6.19).

De acordo com a topografia da região, recomenda-se que os terraços sigam os seguintes padrões:

- até 12% é indicado o uso do terraço de base larga mesmo em área que futuramente sejam transformadas em pastagens, construído com lâmina terraceadora.

- de 12 a 15% é indicado o uso do terraço do tipo base estreita, construído com o arado terraceador de discos, ou com lâmina terraceadora.
- acima de 15% recomenda-se o uso de terraços com faixa viva.



Fig. 6.19. Associação de práticas conservacionistas em Lagoa Dourada/MG. Terraços com gradiente e plantio de milho em curvas de nível (abril/96).

A. Espaçamento entre terraços

Em função das características de solo, topografia, condições climáticas, cultura a ser implantada, sistema de cultivo e disponibilidade de maquinário, define-se qual o tipo de terraço que melhor atende cada gleba, buscando-se eficiente controle da erosão, sem causar transtornos ao agricultor durante as operações agrícolas.

As características físicas do solo, a declividade e a intensidade da precipitação determinam se o terraço será de infiltração (em nível) ou com gradiente (em desnível).

A declividade do terreno é fator determinante na largura da faixa de movimentação de terra (terraço de base estreita, média ou larga), e na definição se o terraço será do tipo comum ou patamar (acima de 18% de declividade recomenda-se a construção de terraço do tipo patamar).

A quantidade, intensidade e distribuição das chuvas são fatores fundamentais no volume do deflúvio superficial, que por sua vez, deve ser levado em consideração no dimensionamento da capacidade de retenção e condução de água, assim como, no espaçamento entre terraços.

As culturas e o sistema de cultivo se relacionam diretamente com a intensidade de mecanização que orientarão na escolha do terraço de base estreita, média ou larga.

As máquinas e implementos disponíveis, assim como, a situação financeira do agricultor, condicionam o tipo de terraço em função da maior ou menor capacidade de movimentação de terra.

Importante o terraço ter capacidade e segurança na retenção para posterior infiltração, ou na condução disciplinada das águas do deflúvio superficial, independente da sua forma, devendo receber manutenção periódica para limpeza do canal e camalhão.

Para que um sistema de terraceamento funcione com plena eficiência, é necessário um correto dimensionamento, tanto no que diz respeito ao espaçamento entre terraços, como a sua seção transversal. O espaçamento entre terraços é calculado em função da capacidade de infiltração de água, resistência que o solo oferece à erosão, uso e manejo do solo, enquanto a seção transversal deve ser dimensionada em função do volume de água possível de ser escoada pela superfície do terreno situada imediatamente acima do terraço. Das águas da chuva que caem na superfície do solo, parte se infiltra e o excedente escoar pela superfície, sendo recolhida pelo terraço. Se em nível, este deverá reter todo o volume de água escoada para posterior infiltração. Quando em desnível, deverá dar vazão ao escoamento superficial de forma disciplinada, sem causar erosão em seu interior (Fig.6.20).



Fig. 6.20. Detalhe de terraço com gradiente (Prados/MG) out/95.

Mesmo o terraço sendo a prática conservacionista mais difundida entre os produtores, ainda existe muita erosão nas áreas terraceadas, onde as principais causas diagnósticas são:

- utilização do terraço como uma prática conservacionista isolada, diminuindo-se por isso sua eficiência;
- dimensionamento do espaçamento entre terraços utiliza tabelas empíricas ou adaptadas de outros países com número pequeno e insuficiente de informações que não levam em conta as classes de solos identificadas em levantamentos pedológicos mais recentes;
- maioria dos terraços construídos em nível sem considerar o tipo de solo. Dessa forma, nos solos menos permeáveis (principalmente aqueles com horizonte B textural) ocorrem fracassos, pois o fundo do canal do terraço pode vir a localizar-se no horizonte B que se caracteriza por ter uma baixa taxa de infiltração. Em consequência, a água acumula-se no canal até

- transbordar, quando rompe o camalhão do terraço que é construído predominantemente com material mais arenoso do horizonte A;
- nos solos com horizonte b latossólico (principalmente o latossolo roxo) o uso intensivo e inadequado de máquinas e implementos pesados tem ocasionado a formação de uma camada compactada e pouco permeável a uma profundidade de 10 a 20 cm. Essa camada diminui a infiltração da água da chuva, aumenta o volume da enxurrada, e contribui para o rompimento dos terraços devido ao transbordamento de água sobre os camalhões;
- as tabelas em uso não fazem distinção entre tipos de uso da terra, além de culturas anuais ou permanentes, embora as pesquisas tenham mostrado que diferentes culturas anuais e permanentes oferecem diferentes proteções ao solo no processo de erosão;
- as tabelas em uso também não levam em consideração o sistema de preparo do solo e manejo dos restos culturais. Dados recentes de pesquisas comprovam que diferentes sistemas de preparo do solo e manejos de restos culturais possibilitam perdas de solo e água, diferenciadas; e
- freqüentemente, o terraço é construído com seção transversal menor que o necessário (ao redor de 0,60 a 0,70 m²), fazendo com que em solos permeáveis não tenha capacidade suficiente para reter toda a água das chuvas.

Uma nova tabela de espaçamento de terraços foi desenvolvida em função de um efetivo controle da erosão, representado por um avanço por estar apoiada em dados de pesquisas sobre perdas por erosão de solo e água, considerando tanto a cobertura vegetal, os sistemas de preparo do solo, o manejo de restos culturais, bem como a erodibilidade de classe de solos identificadas em levantamentos pedológicos recentes (LOMBARDI NETO *et al.*, 1993).

B. Cálculo do espaçamento entre terraços

A equação usada para determinar o espaçamento vertical entre terraços é:

$$EV = 0,4518.K.D^{0,58} . (u + m)/2$$

Onde:

- EV = espaçamento vertical entre terraços, em metros;
- D = declive do terreno, em porcentagem;
- K = índice variável para cada tipo de solo;
- u = fator de uso do solo e;
- m = fator de manejo do solo (preparo do solo e manejo dos restos culturais).

Para a organização da tabela de espaçamento de terraços utilizando a equação acima foram adotados critérios referentes a **solo, uso da terra, preparo do solo e manejo dos restos culturais e declividade**, que serão detalhados a seguir.

Solos

Estabeleceram-se quatro grupos de solos, de acordo com qualidades e características, conforme especificado na Tabela 6.4, com respectivos índices a serem utilizados na fórmula para a determinação do espaçamento entre terraços.

Tabela 6.4. Agrupamento de solos segundo suas qualidades, características e resistência à erosão e seus respectivos índices.

Grupo de resistência à erosão	Principais Características					Índice
	Profundidade	Permeabilidade	Textura	Razão Textura I (1)	Grandes Grupos de Solos	
A - alto	muito profundo (>2,0m) ou profundo (1 a 2m)	rápida/rápida moderada/rápida	média/média m. arg. /m. arg. argilosa/arg	< 1,2	LR, LE, LV, LH, LVr, LVt, Lea e LVa	1,25
B - moderado	profundo	rápida/rápida rápida/moderada	arenosa/média arenosa/argilosa média/argilosa argil./m. argilosa	1,2 a 1,5	PLn, TE, PVIs, R, RPV, RLV, Lea ⁽³⁾ e LVa ⁽³⁾	1,10
C - baixo	profundo moderadamente profundo	lenta/rápida lenta/moderada rápida/moderada	arenosa/média ⁽²⁾ média/argilosa ⁽²⁾ arenosa/argilosa arenosa/m. arg.	>1,5	Pml, PVp, PVIs, PC e M.	0,90
D – muito baixo	moderadamente profundo	rápida, moderada ou lenta/lenta	muito variável	muito variável	Li-b, Li-ag, gr, Li-fi, Li-ac, e PVp (rasos)	0,75

⁽¹⁾ Média da porcentagem de argila do horizonte B (excluindo B₃) sobre a média da porcentagem de argila de todo horizonte.

⁽²⁾ Somente com mudança textural abrupta entre os horizontes A e B.

⁽³⁾ Somente aqueles com horizonte A arenoso.

Uso da Terra.

Resultados de pesquisas têm mostrado que as diferentes culturas anuais apresentam efeitos diversos nas perdas de solo e água por erosão. Isso demonstra que cada cultura, devido à densidade de cobertura vegetal e do sistema radicular, influi diretamente no processo erosivo.

Baseado nos dados de pesquisa relativo à intensidade de perdas de solo e água, as principais culturas foram reunidas em sete grupos, recebendo cada grupo um índice a ser utilizado como fator de uso da terra na equação (Tabela 6.5).

Tabela 6.5. Grupo de culturas e seus respectivos índices.

Grupo	Culturas	Índice “U”
1	feijão, mandioca e mamona	0,50
2	amendoim, algodão, arroz alho, cebola, girassol e fumo	0,75
3	soja, batatinha, melancia, abóbora, melão e leguminosas para adubação verde	1,00
4	milho, sorgo, cana-de-açúcar, trigo, aveia, centeio, cevada, outras culturas de inverno e frutíferas de ciclo curto, como o abacaxi	1,25
5	banana, café, citros e frutíferas permanentes banana, café, citros e frutíferas permanentes	1,50
6	pastagens e/ou capineiras	1,75
7	reflorestamento, cacau e seringueira	2,00

Outras culturas, não citadas na Tabela 6.5, deverão ser enquadradas nos grupos em função da semelhança da intensidade de cobertura vegetal do sistema radicular.

Preparo do solo e manejo dos restos culturais

A tabela antiga utilizada para determinação do espaçamento entre terraços não considerava o sistema de preparo do solo e o manejo dos restos culturais, sendo, conforme já ressaltado, uma das principais causas do insucesso na utilização do terraceamento.

Os diferentes tipos de manejo de restos culturais e os equipamentos mais comuns usados na agricultura foram reunidos em cinco grupos, recebendo, cada um, um índice que será utilizado como fator de uso do solo e manejo dos restos culturais na equação de espaçamento de terraços (Tabela 6.6).

Declividade do Terreno

Para que os terraços sejam viáveis de implantação e permitam um trabalho eficiente das máquinas agrícolas, o espaçamento horizontal mínimo entre eles deve ser em torno de 12 metros. Espaçamentos menores tornam-se antieconômicos, pois dificultam a construção e manutenção dos terraços, assim como os cultivos mecânicos.

Além da limitação mecânica na construção e manutenção dos terraços e cultivos, as declividades máximas em que se recomenda a adoção do terraceamento variam em função do tipo de solo como especificados na Tabela 6.7.

Tabela 6.6. Grupo de preparo do solo e manejo de restos culturais e seus índices.

Grupos	Preparo primário	Preparo secundário	Restos culturais	Índices
1	Grade aradora (ou pesada) ou enxada rotativa	Grade niveladora	Incorporado ou queimados	0,50
2	Arado de disco ou Aiveca	Grade niveladora	Incorporados ou queimados	0,75
3	Grade leve	Grade niveladora	Parcialmente incorporados com ou sem rotação de culturas	1,00
4	Arado escarificador	Grade niveladora	Parcialmente incorporados com ou sem rotação de culturas	1,50
5	Inexistente	Plantio sem revolvimento do solo, roçadeira rolo-faca, herbicidas (plantio direto)	Superfície do terreno	2,00
Caso o tipo de preparo do solo e manejo dos restos culturais não ter sido mencionado, procurar enquadrá-lo no grupo mais semelhante.				

Tabela 6.7. Limitações para uso do terreno em função da declividade nos diferentes Grupos de Solos.

(*) Grupo de solo	Declividade máxima (%)
A	16
B	14
C	12
D	12
(*)Vide Tabela 5.4.	

C. Organização das tabelas para determinação do espaçamento entre terraços

A organização de uma tabela para determinar os espaçamentos vertical e horizontal foi feita com base na equação (1):

$$EV = 0,4518 \cdot K \cdot D \cdot 0,58 \cdot \frac{(u + m)}{2} \quad (1)$$

O espaçamento horizontal é dado pela equação (2):

$$EH = \frac{100 \cdot EV}{D} \quad (2)$$

Onde:

EH = espaçamento horizontal

EV = espaçamento vertical

D = Declividade (%)

Procedendo-se os cálculos para as variáveis de solo e declividade do terreno das equações (1) e (2), construiu-se a Tabela 5.8, para valores de $(u + m)/2$ igual a 1,00 (tabela unitária).

D. Uso da Tabela

A Tabela 6.8 permite estabelecer os espaçamentos vertical e horizontal entre os terraços rapidamente, dispensando o cálculo da equação 1, onde são levados em consideração o solo e a declividade, mantendo os fatores de uso e manejo constante iguais a 1,00.

Aplicando-se valores de uso e manejo, conforme as Tabelas 6.6 e 6.7 na expressão $(u + m)/2$, obtêm-se um índice que será multiplicado pelo valor da declividade encontrada na Tabela 6.8 para estabelecer o espaçamento entre os terraços de cada gleba, com o uso e manejo pré-definidos, onde o espaçamento é determinado em função do solo, declividade, uso da terra.

Exemplo 1 - Deseja-se terracear uma gleba com solo Latossolo Vermelho-Escuro, fase arenosa ou, segundo mapas mais recentes- Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, A moderado, textura média, com declividade média de 7%, a ser cultivado com algodão continuamente, com preparo do solo feito com arado de discos e grade niveladora onde os restos da cultura anterior serão queimados.

Pelas características descritas, enquadra-se esse solo no grupo A (Tabela 6.4); a cultura do algodão tem como índice de uso 0,75 (Tabela 6.5) e o manejo descrito enquadra-se no grupo 2 com índice de 0,75 (Tabela 6.6).

Aplicando-se esses valores na expressão $(u + m)/2$, temos:

$$\frac{0,75 + 0,75}{2} = 0,75$$

A Tabela 6.8 para o solo do grupo A, com declividade de 7%, apresenta o valor EV = 1,75 e

EH = 24,90; como o valor de uso e manejo é de 0,75, então teremos:

$$EV = 1,75 \times 0,75 = 1,31\text{m.}$$

$$EH = 24,90 \times 0,75 = 18,70\text{m.}$$

Tabela 6.8. Espaçamento entre terraços para valores de $(u + m)/2$ igual a 1,00 (tabela unitária).

TERRAÇOS EM NÍVEL					TERRAÇOS EM DESNÍVEL				
Solo A		Solo B			Solo C		Solo D		
Decliv e %	EH	EV	EH	EV	EH	EV	EH	EV	Decliv e %
1	56,50	0,56	49,70	0,50	40,70	0,41	33,90	0,34	1
2	42,20	0,84	37,20	0,74	30,40	0,61	25,30	0,51	2
3	35,60	1,07	31,30	0,94	25,60	0,77	21,40	0,64	3
4	31,60	1,26	27,80	1,11	22,70	0,91	18,90	0,76	4
5	28,70	1,44	25,30	1,26	20,70	1,03	17,20	0,86	5
6	26,60	1,60	23,40	1,40	19,20	1,15	16,00	0,96	6
7	24,90	1,75	22,00	1,54	18,00	1,26	15,00	1,05	7
8	23,60	1,89	20,80	1,66	17,00	1,36	14,20	1,13	8
9	22,40	2,02	19,80	1,78	16,20	1,45	13,50	1,21	9
10	21,50	2,15	18,90	1,89	15,50	1,55	12,90	1,29	10
11	20,60	2,27	18,20	2,00	14,90	1,63	12,40	1,36	11
12	19,90	2,39	17,50	2,10	14,30	1,72	11,90	1,43	12
13	19,20	2,50	16,90	2,20					13
14	18,60	2,61	16,40	2,30					14
15	18,10	2,72							15
16	17,60	2,82							16
EH – Espaçamento horizontal EV – Espaçamento vertical									

Para essas condições de uso e manejo, o espaçamento vertical entreterraços será de 1,31m e o espaçamento horizontal de 18,70 metros.

No mesmo caso, porém, se o agricultor adotar um preparo de solo com arado escarificador e grade leve e restos culturais parcialmente incorporados, tem-se:

$$\frac{u + m}{2} = \frac{0,75 + 1,50}{2} = 1,125$$

Neste caso, o espaçamento vertical será:

$$EV = 1,75 \times 1,125 = 1,97m.$$

$$EH = 24,90 \times 1,125 = 28,15m.$$

Portanto, o espaçamento horizontal será de 28,15m.

Exemplo 2 - Deseja-se terracear uma gleba com Latossolo Roxo, com declividade média de 8%, a ser cultivada com soja no verão, sendo o preparo do solo feito com arado de disco, queimando-se os restos da cultura anterior; no inverno, com

trigo, sendo o preparo do solo com grade pesada, incorporando os restos de cultura da soja.

A Tabela 6.5 apresenta os índices de uso para as culturas.

soja = 1,00; trigo = 1,25

O valor dos índices de uso será:

$$\frac{(1,00 + 1,25)}{2} = \frac{2,25}{2} = 1,125$$

A Tabela 6.6 apresenta os valores de preparo e manejo de restos culturais:

grade aradora, restos incorporados = 0,50

arado de disco, restos queimados = 0,75

O valor do índice de manejo será:

$$\frac{(0,50 + 0,75)}{2} = \frac{1,25}{2} = 0,625$$

Os índices de uso e manejo para entrar na tabela serão:

$$\frac{(1,125 + 0,625)}{2} = \frac{1,750}{2} = 0,875$$

O espaçamento entre terraços será:

$$EV = 1,89 \times 0,875 = 1,65\text{m.}$$

No mesmo caso, porém, se o agricultor adotar para a soja o plantio direto e para o trigo o arado escarificador, o valor do índice de manejo será:

$$m = \frac{2,0 + 1,50}{2} = \frac{3,50}{2} = 1,750$$

O índice de uso e manejo para entrar na tabela será:

$$\frac{(1,125 + 1,750)}{2} = \frac{2,875}{2} = 1,438$$

O espaçamento vertical será de:

$$EV = 1,89 \times 1,438 = 2,72\text{m.}$$

É importante ressaltar que esse sistema para determinação do espaçamento dos terraços está basicamente assentado sobre resultados de pesquisas, os quais mostram que o preparo do solo, o manejo de restos culturais e as características físicas do solo dadas por levantamentos pedológicos recentes são de maior importância, quando

aliados à declividade e a textura da camada superficial do solo. Isoladamente os dois últimos fatores, como eram usados nas tabelas anteriores, não transmitem o que está sendo realizado em termos de movimentação do solo.

Nota-se que o maior número de variáveis possíveis a ser aplicado no novo sistema torna-o mais condizente com a realidade, permitindo um melhor planejamento das práticas conservacionistas a serem adotadas em cada gleba. Além de conferir maior segurança no uso do terraceamento, proporciona ao agricultor opções de alteração do espaçamento em função de diferentes manejos de restos culturais, usos e preparo do solo.

6.3.2.4. Cobertura Vegetal/Cobertura Morta

O fator isolado mais importante que influi sobre a erosão ou perdas de solo por enxurrada, é a cobertura do solo seja ela, com plantas em crescimento (cobertura viva) ou palhada destas (Fig 6.21). A cobertura do solo pode ser alcançada com um rápido crescimento da cultura, o qual permitirá a proteção contra as gotas da chuva.

O rápido crescimento das culturas é proporcionado por adequadas características físicas, químicas e biológicas do solo. Ao contrário é prejudicada pela baixa fertilidade, compactação (pé de grade), drenagem imperfeita etc.

O conhecimento do estado nutricional do solo, ou seja, do nível de macro e micronutrientes disponíveis à cultura, através da análise química, é de grande importância, pois permitirá ao produtor programar a calagem e as adubações mineral, verde e orgânica, que permitirão um rápido crescimento das plantas e a cobertura de toda a área de plantio. Isto irá reduzir o risco potencial de erosão e, além disso, maior quantidade massa vegetal será devolvida ao solo promovendo uma melhor proteção do mesmo após a colheita, mantendo e aumentando o teor de matéria orgânica.



Fig. 6.21. Cobertura morta de mucuna protegendo o solo contra a erosão.

Quando determinadas culturas não fornecerem adequada cobertura do solo, o plantio consorciado com outras culturas deve ser efetuado. Em relação aos resíduos das culturas, estes não devem ser queimados, mas sim, preservados sobre a superfície do

solo, evitando-se a sua incorporação, a não ser por medidas fitossanitárias quando, então, estes deverão ser amontoados para a queima.

A permanência dos restos culturais, ou de qualquer outro tipo de palhada, é fundamental para a proteção dos solos contra a ação da chuva, do sol e do vento. Além disso, a palhada ajuda na manutenção da umidade do solo oferecendo às culturas, melhores condições delas resistirem, por maior tempo, a um período de seca. A palhada também atenua a variação brusca da temperatura mantendo-a adequada para o desenvolvimento dos macros e microorganismos do solo, tão importantes na manutenção de suas características físicas, químicas e biológicas. Em solos desnudos ou sem cobertura, por exemplo, a temperatura pode facilmente atingir 60 a 65°C durante o dia. Nestas condições, as bactérias que fixam nitrogênio no sistema radicular das leguminosas, como o feijoeiro e a soja, têm sua sobrevivência comprometida. A palhada ainda reduz a incidência de ervas daninhas o que diminui a necessidade da capinas e, conseqüentemente, a exposição do solo à ação dos agentes erosivos.

Outras formas de se manter o solo coberto e protegido durante o ciclo da lavoura e após a colheita, plantio direto, cultivo mínimo e roçar o mato ao invés de capinar.

6.3.2.5. Quebra-Ventos ou Cortinas Vegetais

Existe uma forma de erosão, muitas vezes pouco perceptível ou valorizada, que é a erosão eólica (ação dos ventos). Além da erosão, os ventos fortes são extremamente prejudiciais às culturas, desidratando, queimando e acamando as plantas.

Uma das principais técnicas utilizadas para minimizar os efeitos nocivos dos ventos sobre os solos e culturas é o uso de cortinas vegetais. Estas podem ser plantadas sobre a crista dos camalhões ou mesmo em linhas, demarcando os talhões que estarão protegidos.

A regra básica a ser observada na instalação de quebra-ventos é a proporção entre a altura da cortina vegetal e a área protegida. Normalmente, considera-se 1 metro de altura de quebra-vento para 10 metros de proteção.

Os vegetais mais usados para este fim são: capim “camerun” (capim elefante), capim cidreira, feijão guandu, eucalipto, grevilea, cedrinho, acácia negra e outras.

6.3.2.6. Cordão Vegetal

É uma prática simples recomendada para a pequena e média propriedade, em áreas que não possibilitam a construção de terraços, devido à declividade, ou onde a mecanização é realizada por tração animal.

Consiste no plantio de espécies que possuem rápido crescimento do sistema radicular e parte aérea possibilitando segurar a terra e não deixar que a água da chuva, correndo morro abaixo, provoque erosão.

Para se formar o cordão vegetal, abrem-se dois ou três sulcos com arado de tração animal, numa faixa de até um metro, onde plantam-se as mudas das espécies recomendadas.

Algumas espécies usadas são: cana-de-açúcar, capim “camerun anão” (elefante anão), capim cidreira e capim vetiver, entre outras que podem ser plantadas em nível ou desnível, dependendo das características do solo. O espaçamento entre um cordão e outro não deve ser menor que 10 metros.

O cordão vegetal funciona como uma barreira física, evitando que a água da chuva que não se infiltrar, ganhe velocidade e provoque erosão. Portanto, ele é considerado uma prática conservacionista complementar. Além disso, é bom salientar, que algumas espécies utilizadas para formar o cordão vegetal, podem ser usadas na alimentação animal, humana ou na industrialização caseira, fornecendo mais uma renda para a família.

6.3.2.7. Cordão de Pedra

É também uma prática adaptada à pequena propriedade, logicamente naquelas localizadas em áreas com pedras soltas aflorando à superfície. Além de ajudar no controle da erosão, reduzindo a velocidade de escoamento das águas das chuvas possibilitando o aproveitamento da área, antes cheia de pedras. Sua construção consiste na abertura de um canal, geralmente em nível, onde as pedras vão sendo empilhadas.

6.3.2.8. Adição de Matéria Orgânica

A adição de matéria orgânica ao solo tem por objetivo melhorar suas condições físicas químicas e biológicas, permitindo um adequado crescimento das culturas. Esse aporte de matéria orgânica pode ser feito de várias maneiras, através da adubação verde, adubação com esterco de animais (boi, suínos etc), restos de culturas, composto orgânico, húmus de minhocas, entre outros. Entretanto, o agricultor nem sempre tem chance de encontrar com facilidade esterco de animais (seja pela disponibilidade do produto, seja pelo custo), ou ainda fazer adubação verde. Uma forma de ele conseguir um adubo orgânico de boa qualidade é através do composto.

Adubação Verde

A adubação verde pode ser conceituada como o manejo de plantas visando à melhoria ou manutenção da capacidade produtiva do solo. Este conceito abrange a tradicional prática de incorporação de leguminosas, assim como a utilização de outras espécies vegetais, em rotação ou não, para cobertura do solo ou incorporação. Quando a rotação é feita utilizando-se, leguminosas como cultura principal ou na forma de adubo verde, consegue-se, ainda, incorporar nitrogênio ao sistema de plantio reduzindo os custos com fertilizantes nitrogenados. As gramíneas, com seu sistema radicular abundante contribuem para estruturar o solo ao mesmo tempo em que aumenta o aporte de matéria orgânica abaixo da superfície.

Atualmente, o conceito de adubação verde tem evoluído para, não somente a incorporação da massa produzida. Também, como participante do processo de

conservação de solo, através da prática de rotação de cultura, sucessão ou consorciação, sendo deixada na superfície do solo, sem incorporação. Desse modo, visa-se proteger o solo contra as variações de temperatura, impacto direto da gota da chuva e a ação dos ventos. Neste contexto, a adubação verde entra no planejamento conservacionista da propriedade.

A. Benefícios da adubação verde

- proteção da camada superficial do solo contra as chuvas de alta intensidade, o sol e o vento;
- manutenção de elevadas taxas de infiltração de água pelo efeito combinado do sistema radicular e da cobertura vegetal. As raízes, após sua decomposição, deixam canais no solo, enquanto a cobertura evita a desagregação e selamento superficial e reduz a velocidade do escoamento superficial;
- promove grande e contínuo aporte de massa vegetal ao solo, de maneira a manter, ou até mesmo elevar, ao longo dos anos, o teor de matéria orgânica.
- atenua a amplitude térmica e diminui a evaporação, aumentando a disponibilidade de água para as culturas comerciais.
- sistema radicular rompe camadas adensadas e promove a aeração e estruturação das partículas, induzindo ao “preparo biológico do solo”;
- promove a reciclagem de nutrientes. O sistema radicular bem desenvolvido de muitos adubos verdes tem a capacidade de translocar os nutrientes que se encontram em camadas profundas para as camadas superficiais tornando-os novamente disponíveis para as culturas de sucessão;
- diminui a lixiviação de nutrientes. A adubação verde, por reter os nutrientes na fitomassa e liberá-los de forma gradual durante a decomposição do tecido vegetal, atenua este problema;
- promove a adição de nitrogênio ao solo através da fixação biológica por parte das leguminosas, podendo representar uma importante economia deste nutriente na adubação das culturas comerciais, além de melhorar o balanço de nitrogênio no solo;
- reduz a população de ervas daninhas através do efeito supressor e/ou alelopático, devido ao rápido crescimento inicial e exuberante desenvolvimento da massa vegetal;
- crescimento vegetal dos adubos verdes e sua decomposição ativam o ciclo de muitas espécies de macroorganismos e principalmente microorganismos do solo, cuja atividade melhora a dinâmica física e química do solo; e
- apresenta múltiplos usos na propriedade. Alguns adubos verdes possuem elevada qualidade nutritiva, podendo ser utilizados na alimentação animal (aveia, ervilhaca, guandu e lab-lab), na alimentação humana (tremoço e guandu) ou utilizados como fonte de madeira e lenha (leucena e sabiá).

B. Características importantes na escolha dos adubos verdes

- apresentar rápido crescimento inicial e eficiente cobertura do solo;
- produção de elevadas quantidades de fitomassa (massa verde e seca);

- capacidade de reciclagem de nutrientes apresentando elevadas quantidades de nutrientes na fitomassa;
- facilidade de implantação e condução a campo;
- apresentar baixo nível de ataque de pragas e doenças não comportando-se como planta hospedeira.
- apresentar sistema radicular profundo e bem desenvolvido;
- as espécies devem ser de fácil manejo (incorporação ou acamamento) para implantação dos cultivos de sucessão;
- apresentar potencial para múltipla utilização na propriedade;
- apresentar tolerância ou resistência à seca e geada;
- apresentar tolerância à baixa fertilidade e facilidade de adaptação a solos degradados;
- produção de elevadas quantidades de sementes; e
- não devem comportar-se como invasoras, dificultando o cultivo de culturas de sucessão.

C. Modalidades de adubação verde

Adubação verde de primavera/verão.

Esta modalidade consiste no plantio de adubos verdes no período de outubro a janeiro. Principais espécies utilizadas: mucuna, feijão-de-porco, guandu e crotalárias. As principais vantagens são: grande produção de massa vegetal, elevada quantidade de N fixado biologicamente e a cobertura do solo durante o período de chuvas de alta intensidade. O maior inconveniente é a ocupação do solo durante o período no qual são cultivadas as principais culturas. Para atenuar este problema, recomenda-se subdividir a propriedade em glebas e utilizar a adubação verde de forma escalonada.

Adubação verde de outono/inverno

Esta modalidade prevê a utilização desses adubos no inverno, geralmente na entressafra das principais culturas comerciais. Principais espécies: aveia preta, ervilha forrageira, ervilhaca, espégula ou gorga, xinxo e nabo forrageiro. Vantagens: proteção de áreas agrícolas na entressafra, para o controle da erosão, diminuição da infestação de ervas daninhas, redução das perdas de nutrientes por lixiviação, aporte de nitrogênio, possibilidade de utilização na alimentação animal e cobertura morta para preparos conservacionistas do solo.

Adubação verde intercalar com culturas

Nesta modalidade, o adubo verde é semeado na entrelinha da cultura comercial. Ela é especialmente adaptada a situações na qual o solo deva ser utilizado da forma mais intensiva possível (Fig. 6.22).



Fig. 6.22. Consórcio da cultura de maracujá com feijão de porco no município de Capitão Poço/PA - novembro de 1992.

Adubação verde perene em áreas de pousio

A utilização de adubos verdes em áreas degradadas pelo manejo, ou para controlar erosão como cordões de vegetação, ou ainda em áreas que temporariamente não estão sendo cultivadas pode ser uma prática viável. Principais espécies: guandu, indigofera, leucena e a tefrósia. Estas plantas por possuírem sistema radicular profundo e elevada produção de fitomasssa, apresentam as vantagens de recuperação das características do solo e possibilidade de utilização na alimentação animal.

Alguns resultados de pesquisa indicam que, em geral, o efeito da intercalação da mucuna é excelente em solos com cultivos contínuos, porém o efeito em solos em pousio foi pequeno, e variável com o ano.

Avaliação de leguminosas anuais num período de cinco anos observou que a mucuna intercalada ao milho promoveu um aumento de 21% em relação a testemunha (4.440 kg/ha), seguindo-se o feijão-de-porco (14%) e ervilhaca (10%).

Compostagem

Os resíduos de origem vegetal e animal contêm apreciáveis quantidades de nutrientes que podem ser aproveitados através de processamento simples como a compostagem, possível de ser realizada pelo produtor na propriedade.

A compostagem é um processo de decomposição aeróbia dos resíduos orgânicos em húmus, relativamente estáveis. Os dejetos animais, ricos em nitrogênio, podem ser compostados de forma exclusiva ou combinada com outros materiais de elevada relação carbono/nitrogênio, como palhadas, bagaços de frutas, serragem etc.

As principais condições para uma decomposição efetiva são qualidade e tamanho das partículas do material usado, teor de umidade, temperatura, presença de oxigênio, nitrogênio e carbono em proporções adequadas e pH.

Qualidade e tamanho das partículas do material

A relação carbono/nitrogênio deve propiciar o crescimento e atividade dos microorganismos envolvidos. A variação da relação C/N pode ser de 30 a 50, sendo ideal no máximo de 30. Quando a relação é inferior a 20 e 25, ocorre a amonificação, ocasionando perdas de nitrogênio do material. Relação superior a 50 provoca um retardamento do início da compostagem, sendo o tempo de processamento 50% maior, gerando um produto menos estável e de menor qualidade.

Quando os resíduos agrícolas apresentam-se em partes inteiras (colmo e palha de milho, cana e arroz), recomenda-se sua fragmentação em pedaços menores. Estercos de animais geralmente apresentam relações C/N inferiores a 25, e sua compostagem exclusiva acarretará perdas de nitrogênio em forma de amônia. Essas perdas podem ser reduzidas pela incorporação de superfosfatos ou termofosfatos à razão de 7 a 12 Kg/t de resíduo compostado.

A concentração final de nitrogênio do composto está em torno de 2,5 a 3,0%, sendo que deste total 50 a 70% se apresentam em forma prontamente assimiláveis pelas plantas.

Teor de umidade

O nível adequado de umidade no composto está entre 40 e 60%. A intensa atividade do processo provoca altas temperaturas que tendem a secar o material, prejudicando o processo. O excesso de água tende a provocar condições anaeróbias com conseqüente liberação de odores desagradáveis. Em casos de falta d'água, ela pode ser regada uniformemente sobre o material em compostagem. Em caso de excesso de água, materiais absorventes, como palhas e serragem, devem ser incorporados até a adequação do teor de umidade. A necessidade de rega verifica-se pela temperatura do composto; sua elevação demasiada exige umedecimento.

Aeração do composto

A quantidade de oxigênio é de vital importância para a eficiente oxidação da matéria orgânica. O adequado suprimento de oxigênio é atingido pelo revolvimento do material em compostagem em intervalos de duas semanas.

Temperatura e pH

A temperatura e o pH variam de modo interdependente de acordo com o estágio da compostagem. O monitoramento da temperatura pode ser realizado mantendo-se introduzidos no composto, até o fundo, alguns pedaços de barras de ferro. Retirando-se essas barras e tocando-as com a mão, podem ocorrer três situações:

- O contato suportável indica neste caso que o processo de fermentação está normal;
- O contato insuportável indica uma demasiada elevação da temperatura, devendo compactar o material, se úmido, ou regar uniformemente com água, se estiver seco e;
- O contato é frio ou levemente morno, indicando necessidade de revolvimento ou ainda que o processo de compostagem já está no final. E, se após a aeração, a temperatura mantiver baixa, o produto está pronto, podendo ser utilizado.

O material pronto apresenta-se quebradiço quando seco e moldável quando úmido. O composto pronto não atrai moscas, nem oferece condições para sua multiplicação e não tem cheiro.

Preparo da meda ou leira

O Preparo do composto requer um local próprio e deve ser próximo do local de sua utilização e de fonte de água. O local deve ser plano ou ter pequeno caimento.

As dimensões da pilha são: 3 a 4m de largura por 1,5 a 1,8m de altura, para facilitar o manuseio. Seu comprimento pode variar de acordo com a quantidade de material disponível e espaço para revolvimento. O local das pilhas deve ser protegido das enxurradas, contornado-os com valas de escoamento da água de chuva. A compostagem deve obedecer à proporção de três partes de resíduos vegetais para uma parte de dejetos animais (Fig. 6.23).

Inicia-se a construção da pilha de composto distribuindo uniformemente uma camada de resíduos vegetais, de 15 a 25 cm de espessura, de preferência bem fragmentados. Quando os resíduos desta primeira camada se constituírem por partes de plantas inteiras, devem ser molhados e, após, comprimidos por meio de varas, como se fosse bater feijão. Por cima desta camada, espalha-se uma camada de 5 a 7 cm de esterco de curral, molhando-se novamente o material. Segue-se esta seqüência até completar a altura desejada. A última camada deve ser de resíduos vegetais, sobre a qual se deposita ainda uma camada de sapé ou outro capim para proteção contra a chuva e evaporação. O tempo de duração é, normalmente, de oito a dez semanas.

Utilização do composto

Quanto mais rápida a utilização do composto melhor. Entretanto, quando isto não é possível, o composto deve ser armazenado em local protegido do sol e chuva, de preferência coberto com lona de polietileno ou sacos velhos de fibra.

As concentrações dos elementos fertilizantes dos compostos orgânicos variam, sendo normalmente de: 1 a 2% de N e de 0,5 a 1% de P e K, além dos micronutrientes. Uma boa adubação exige dosagens de 15 a 30 t de composto/ha. A utilização do fertilizante orgânico pode ser combinada com a mineral. No caso da associação, a adubação mineral deverá ser aplicada alguns dias após a distribuição do composto orgânico. Não se deve misturar o composto com calcário, uma vez que este processo provocaria perdas de N, o que poderá ser percebido pelo cheiro de amônia.

Outro método de produção de matéria orgânica de boa qualidade é a vermicompostagem, o qual consiste na decomposição de restos orgânicos por minhocas.

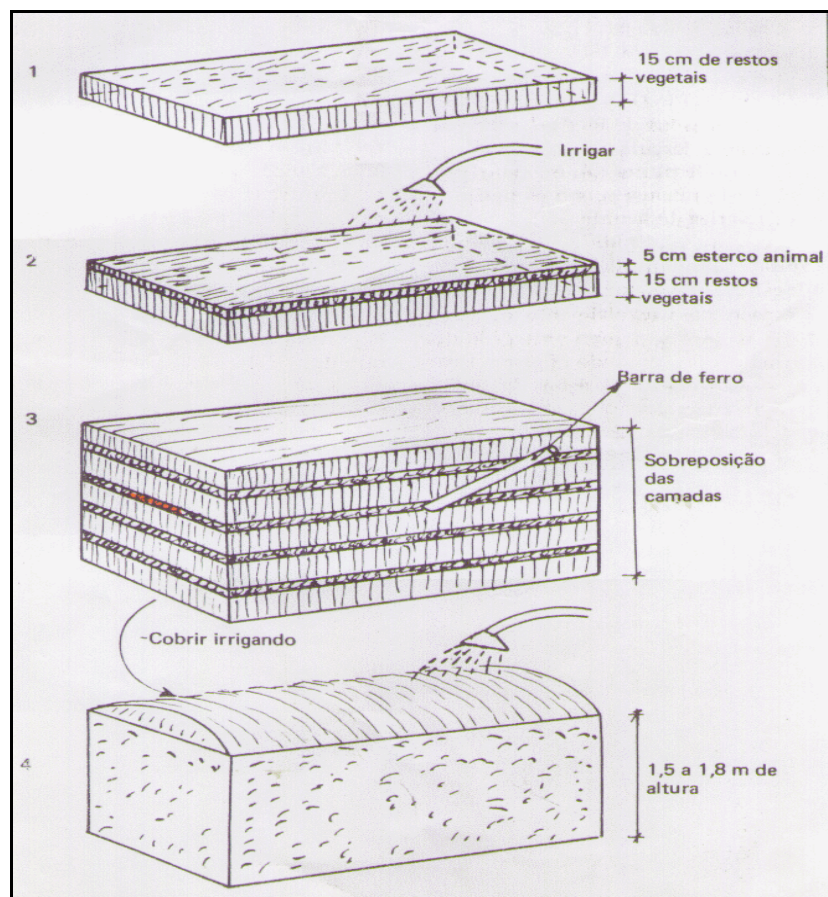


Fig. 6.23. Montagem da meda de compostagem

6.3.2.9. Rotação de Culturas

Entende-se por rotação de culturas a seqüência ordenada de diferentes culturas, no tempo e no espaço. A condição ideal de um sistema de rotação de culturas é aquele que adiciona matéria orgânica de forma contínua ao solo.

A rotação de culturas é fundamentada nos seguintes parâmetros:

- no fato de uma cultura extrair do solo maiores quantidades de determinados nutrientes do que outros;
- nos diferentes sistemas radiculares que exploram profundidades variáveis do solo;
- nos diferentes tipos de cobertura do solo;
- na adição de materiais orgânicos de qualidade diferenciada; e
- no controle de pragas e doenças.
- as principais vantagens da rotação são:
 - otimiza a fertilidade do solo;
 - diminui a incidência de pragas e doenças;
 - melhores resultados econômicos, através de um adequado planejamento das culturas; e
 - controla ervas daninhas com o mínimo de despesas.

Em relação ao sistema de rotação de culturas, existem duas situações a serem consideradas:

Médias e grandes propriedades rurais, onde pela disponibilidade de área, é possível adotar um sistema de rotação para culturas econômicas.

Pequenas propriedades rurais, que não dispõem de área suficiente para um programa de rotação das culturas econômicas, necessitando muitas vezes de toda a área disponível para uma determinada cultura cuja produção será utilizada na própria propriedade (exemplo: milho x suíno).

Com vistas a pequena propriedade recomenda-se que o técnico oriente diretamente os agricultores para:

- adotar sistemas de consórcio visando ao melhor aproveitamento das áreas e maior resultado econômico;
- utilizar culturas de inverno para adubação verde e/ou pastagem;
- utilizar leguminosas de verão nas áreas de milho solteiro, como é o caso da mucuna;
- intercalar culturas que permitam o máximo de rendimentos por efeitos positivos de alelopatia e/ou incorporação de nutrientes para a cultura seguinte (leguminosa x gramínea); e
- procurar fazer rotação mesmo nas culturas mais sujeitas a doenças, caso do feijão, tomate, pimentão.

Quando da adoção de um programa de rotação de culturas é desejável que:

- a cultura anterior beneficie a posterior;
- haja o completo aproveitamento do adubo aplicado, plantando-se, de preferência, uma cultura aproveitadora após uma exigente;
- os implementos agrícolas sirvam para as diferentes culturas.
- as culturas mantenham o solo sempre coberto;
- as culturas conservem a bioestrutura do solo;
- haja controle de doenças, pragas e invasoras; e
- as culturas tenham mercado compensador e/ou possam ser utilizadas na propriedade.

6.3.2.10. Locação de Estradas e Caminhos

Um dos principais fatores causadores de erosão nas áreas agrícolas são as estradas e vicinais, tão importantes no escoamento da produção.

A má locação dessas estradas é responsável, muitas vezes, pelos mais graves problemas de erosão, pois faz com que a água da enxurrada acumule em determinados pontos e em grande volume, ganhando velocidade, o que aumenta o seu potencial erosivo.

As estradas devem ser localizadas procurando acompanhar os espigões ou ser construídas de maneira a ficarem com declives suaves. No caso de construí-las perpendiculares aos espigões, devem respeitar os terraços (quando existirem), acompanhando as elevações do camalhões.

É de fundamental importância, ainda, a construção de caixas de retenção (ou bacias de captação) laterais, as quais têm a função de segurar a água que escorre na estrada.

6.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTOL, I. Degradação física do solo sob a cultura do alho. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.2, p.47-50, 1989.

WÜNSCHE, A., DENARDIN, J.E. Conservação e manejo dos solos. In: Planalto Riograndense, considerações gerais.1. Passo Fundo, EMBRAPA. CNPT, 1980. 17 p. (EMBRAPA, CNPT, Circular técnica, 2).

FOTOS: Adoildo Melo, Cláudio Capeche e José Ronaldo.

6.5. PUBLICAÇÕES PARA CONSULTA

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Piracicaba, São Paulo: Ícone, 1990, 355p.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento. Manual de uso, manejo e conservação do solo e da água: Projeto de Recuperação, conservação e manejo dos recursos naturais em microbacias hidrográficas. 2.ed.rev., atual., e ampl. Florianópolis:EPAGRI,1994.384p.

OLIVEIRA, J. B. de; JACOMINE, P.K.T. & CAMARGO, M.N. Classes gerais de Solos do Brasil.: guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201 P.

RAMALHO FILHO, A & BEEK, K. J. Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras. Rio de Janeiro, RJ. EMBRAPA-CNPQ, 3 ed. Ver. 1994. 65 p.

INFORME AGROPECUÁRIO / LEVANTAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS - Belo Horizonte, v.9 no 105, setembro 1983.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Classificação de Solos. Práticas de conservação de solos. Rio de Janeiro. SNLCE Séria Miscelânea, 3. Rio de Janeiro, 1980. 88 p.

CURI, N.; LARACH, J.O I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A .C. & FONTES, L. E. F. Vocabulário de Ciência do Solo. Campinas, SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1993. 90 P.

SOUZA CRUZ. Plano Diretor de Solos. Rio de Janeiro, 1ª edição, 1994. 40 p.

LOMBARDI NETO, F. & DRUGOWICH, M. I. Manual Técnico de Manejo e Conservação do solo e Água. Campinas, CATI, 1993. Volumes I, III e IV.

SATURNINO, H. M.; LANDERS, J. N. o Meio Ambiente e o Plantio Direto. Brasília: Embrapa-SPI, 1997. 116 p.

Capítulo 7

REVEGETAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Fabiano de Carvalho Balieiro
Sílvia Roberto de Lucena Tavares

7.1. INTRODUÇÃO

A cobertura vegetal e a diversidade florística dos ecossistemas são importantes indicadores do grau de estabilidade ou perturbação a que foram submetidos, além de serem imprescindíveis para a determinação do estágio sucessional em que se encontram (TILMAN, 1996; CHAPIN III *et al.*, 1997).

A estrutura vertical e horizontal das florestas tropicais está em contínua mudança, com árvores crescendo, outras morrendo e outras sendo recrutadas. A queda de uma árvore ou mesmo a ocorrência de tempestades, ciclones e deslizamentos são fenômenos naturais que levam à renovação das florestas tropicais por meio da sucessão secundária (BUDOWSKI, 1965; WHITMORE, 1983; COSTA, 1992, JARDINS *et al.*, 1993). Em áreas antropizadas, porém, o processo de sucessão ocorre de forma mais lenta e pode tomar rumos diferentes do previsto na sucessão natural. A constante ocorrência de incêndios, por exemplo, associados a dominância de espécies invasoras como as gramíneas, cipós e lianas, restringem o processo sucessional, fazendo com que estas áreas tenham uma estrutura bastante diferenciada da original, com predomínio de espécies mais adaptadas a este tipo de ambiente (UHL *et al.*, 1990; ROSCOE *et al.*, 2000).

Os principais processos reguladores dos ingressos vegetativos em áreas degradadas são as fontes de propágulos, os agentes de dispersão, as condições microclimáticas e o substrato (WHITMORE, 1983; KAGEYAMA e CASTRO, 1989). Quando pelo menos um desses fatores não se mostra em condições de reagir prontamente, o processo de resposta ambiental como um todo pode falhar. Neste caso, os mecanismos reprodutivos biológicos, não permitem que a dinâmica da sucessão natural seja ativada dentro de um período biológico compatível. Sendo assim, intervenções visando a recuperação da área devem ocorrer, de forma a não permitir que os processos de degradação se acentuem a resposta ecológica seja dificultada (CAMPELLO, 1998; REIS, 2006).

Nesse capítulo, a sucessão ecológica e as estratégias de revegetação de áreas degradadas são abordadas de forma ampla com o intuito de situar o leitor no universo de potencialidades de uso da diversidade tropical para esse fim. Alguns exemplos serão dados, mas acredita-se que o espaço não esgota as infinitas possibilidades de uso de técnicas e situações já testadas.

7.2. SUCESSÃO PRIMÁRIA E SECUNDÁRIA DE FLORESTAS

Sucessão primária pode ser conceituada como sendo a seqüência de processos ecológicos que ocorrem em áreas desprovidas de vegetação, na direção da formação de um ecossistema mais complexo, onde o acúmulo de biomassa, matéria orgânica no solo e os fluxos de nutrientes e energia são paulatinamente incrementados. Desta interação meio-organismos surgem comunidades complexas, mas estáveis tendo em vista que a estabilidade de processos de um ecossistema é dado pela sensibilidade de espécies funcionalmente similares (*sinúsias similares*) à fatores ambientais, ao passo que , a diversidade tem grande importância funcional a medida em que diferenças nessa sensibilidade faz com que ecossistemas sejam mais vulneráveis a mudanças (CHAPIN III *et al.*, 1997; TILMAN, 1996).

A sucessão secundária se dá em ambientes já estabelecidas e encontra-se associada a sua renovação, ou seja, qualquer que seja a perturbação (natural ou antrópica), essa passa por uma seqüência de processos em direção ao estabelecimento daquela “ordem anterior”. A abertura de clareiras em florestas então é reconhecidamente como um fator de renovação de florestas tropicais que levam a uma progressiva, mas positiva mudança na composição florística da floresta, envolvendo combinações de estágios florísticos pioneiros, secundários iniciais, tardios e mais maduros, chamados de clímax (JARDINS *et al.*, 1993). Para WHITEMORE (1978), o processo sucessional pode ser dividido em 3 fases: (a) **fase de clareira**: início da recomposição florestal, com predominância de indivíduos jovens (plântulas e mudas) germinadas de bancos pré-existent no solo, e ou que chegaram a clareira; (b) **fase de edificação**: incluindo indivíduos “finos e extremamente altos”, ou seja em intenso crescimento vertical, dado a competição por luz e (c) **fase madura**: onde a maioria dos indivíduos chega a fase reprodutiva, estando a floresta em equilíbrio dinâmico e a biomassa tende a se estabilizar na capacidade produtiva do ecossistema. Nessa fase, há predomínio do crescimento diamétrico, com expansão lateral das copas das árvores. A velocidade com a floresta irá se recompor é inversamente proporcional ao tamanho e intensidade do dano a ela associado e diretamente relacionada ao seu potencial de regeneração. Segundo

KAGEYAMA *et al.* (1989), esse potencial depende do potencial seminal edáfico, representado pelos estoques de sementes no solo; do potencial vegetativo (brotações e plântulas em recrutamento) e do potencial adventivo, que é representado pelos propágulos que chegam a área perturbada.

7.3. ESTRATÉGIAS DE REVEGETAÇÃO COM VISTAS A RAD

Em áreas sob recuperação é recomendado que se utilize uma mistura de espécies capaz de incorporar certo nível de diversidade e haja maximização no uso dos recursos disponíveis e posteriormente, possibilite a evolução natural da floresta para um sistema mais avançado de sucessão e mais próximo da estabilidade. Na seleção das espécies devem ser priorizadas aquelas com funções ecológicas específicas, mas com elevada tolerância a fatores adversos presentes nestas áreas, como elevada temperatura, baixa umidade, elevada incidência de radiação, competição com invasoras, baixa disponibilidade de nutrientes, etc. Segundo RODRIGUES e GANDOLFI (1998) o levantamento da vegetação regional é fase de extrema importância em programas de recuperação de áreas degradadas, pois a partir das informações sobre os tipos de vegetação florestal características da região, as suas espécies definidoras, a sua estrutura fitossociológica e a classificação sucessional dessas espécies é que se pode definir as estratégias de recuperação para cada situação identificada. A escolha adequada, das espécies a serem usadas na restauração, praticamente já garante o sucesso do projeto, pois teremos mudas se desenvolvendo adequadamente, com baixa mortalidade pós-plantio, o que se traduz em redução de custos do projeto. Para esses autores, a quantidade de espécies a serem usadas em programas de RAD deve depender do grau de isolamento dessa área, pois como foi observado por CAMPELLO (1998) em áreas sob recuperação em Porto Trombetas – PA, o número reduzido de espécies do projeto não inibiu o processo sucessional na área, dado a pressão da floresta nativa sobre área. Contrariamente, em áreas onde a fragmentação é grande, deve-se priorizar a seleção de um número maior de espécies, pois a dispersão e entrada de novos propágulos a área será dificultado.

Em áreas fortemente impactadas, como áreas com subsolo exposto ou áreas mineradas, a intervenção antrópica deve ser mais intensa de forma a mitigar os fatores restritivos ao estabelecimento de uma comunidade mais ou menos diversa. É fato que, quanto maior a disponibilidade de recurso para o condicionamento de substratos e estabelecimento de comunidades vegetais mais complexas, mais intenso será processo sucessional da área (ver REIS, 2006), mas alternativas mais econômicas e ecológicas devem ser priorizadas. Dentre as estratégias de recuperação de áreas degradadas, duas merecem destaque. Àquela em que se priorizam leguminosas fixadoras de N₂ atmosférico de rápido crescimento surgem como uma opção ecológica interessante para áreas fortemente impactadas, pois o recobrimento rápido do solo/substrato e os aportes de carbono e nitrogênio ao solo são priorizados (FRANCO *et al.*, 1992; FRANCO e FARIA, 1997; REIS, 2006).

7.4. SISTEMAS AGROFLORESTAIS (SAF's)

Sistemas agroflorestais (SAFs), por definição, são formas de uso e manejo dos recursos naturais, nos quais as espécies lenhosas (árvores, arbustos e palmeiras) são utilizadas em associações com cultivos agrícolas ou com animais, no mesmo espaço territorial, de maneira simultânea ou em uma sequência temporal. Não se trata de um conceito novo, mas sim de um novo termo empregado para designar um conjunto de práticas e sistemas tradicionais de uso da terra, usados principalmente nas regiões tropicais e sub-tropicais, apesar de também serem encontrados nas regiões temperadas.

As diversas culturas e interesses das comunidades produtoras geram uma grande variedade de tipos de SAFs, o que acarreta enorme amplitude no número de espécies envolvidas, na disposição das plantas no campo, no manejo, enfim, na complexidade do sistema. Por exemplo, existem SAFs com apenas uma espécie arbórea consorciada com outra agrícola, normalmente dispostas em linhas ou faixas, assim como também existem sistemas envolvendo inúmeras espécies integradas entre si e com o ambiente, manejados com base nos processos e fluxos naturais. Apesar de todas essas formas de cultivo ser normalmente denominadas de sistemas agroflorestais, existe diferenças extremas quanto ao manejo e mesmo quanto à visão do cultivo e do próprio ser humano dentro do ambiente em que vive (VAZ, 2000). Embora existam diversos tipos de sistemas agroflorestais, normalmente, os SAFs são meios de produção que tendem a uma diversidade maior do que em monocultivos de plantas, sendo esses preconizados como alternativas à monocultura agrícola, por serem capazes de inúmeros efeitos positivos, como manter a fertilidade dos solos (principalmente devido a uma maior produção de fitomassa), controlar os processos erosivos e reciclagem de nutrientes. O potencial de inclusão de grande biodiversidade e a geração maior de matéria orgânica nos SAFs podem ser pontos determinantes na recuperação de áreas degradadas, pois o fluxo de água na serrapilheira seria também um importante mecanismo de transferência de nutrientes para o solo, que estariam dissolvidos e prontamente disponíveis para serem reabsorvidos pelas raízes. O plantio misto de espécies florestais nativas pode ser um sistema mais adequado do que o plantio puro por proporcionar simultaneamente a melhor estruturação, a maior quantidade de C orgânico e aumentar os níveis de nutrientes no solo, em função provavelmente de uma maior eficiência na ciclagem de nutrientes (GAMA-RODRIGUES, 1997). O tipo de manejo também é um fator determinante na quantidade de matéria seca e de nutrientes aportados ao solo. Por exemplo, SZOTT *et al.* (1991), comparando sistemas agroflorestais de café com *Erythrina SP*, indicam que, quando a leguminosa arbórea é podada, há um acréscimo no solo de matéria seca (2,6 vezes), de N (2,6 vezes), de P (3,2 vezes), de K (3,5 vezes), de Ca (2 vezes), de Mg (2,3 vezes), devido à deposição do material podado.

7.4.1. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Esses sistemas têm sido classificados de diferentes maneiras, conforme os arranjos espaciais e temporais, a importância relativa e a função dos seus componentes, assim como os objetivos da produção e suas características e suas características sociais e econômicas.

Os componentes dos sistemas agroflorestais podem encontra-se distribuídos no tempo de forma seqüencial, com uma relação cronológica entre si, ou em relação simultânea, associados uns aos outros na área considerada, ao mesmo tempo.

Segundo NAIR (1990), a classificação dos sistemas agroflorestais mais difundida é aquela que considera a natureza dos seus componentes (Fig. 7.1), agrupando-se em três categorias: sistemas silviagrícolas, sistemas silvipastoris e sistemas agrosilvipastoris.

SISTEMAS SILVIAGRÍCOLAS

Correspondem a sistemas de manejo do solo para o cultivo simultâneo de culturas agrícolas e espécies florestais, com função de produzir bens (produtos) e serviços (quebra-ventos, cercas-vivas, sombreamento dos cultivos, conservação do solo, etc...).

A associação entre os componentes pode ocorrer de forma temporária, quando o cultivo agrícola dura menos do que a rotação do componente florestal, e permanente quando o cultivo permanece ao longo de uma ou mais rotações do componente florestal.

Outro fator que merece destaque na interpretação desse sistema é a distribuição espacial do componente florestal, podendo ocorrer de forma regular, quando as espécies florestais estão alocadas e distribuídas na área seguindo um espaçamento pré-definido e irregular quando elas se encontram dispostas e distribuídas de forma aleatória em relação às culturas agrícolas. Alguns exemplos clássicos desses sistemas são: o cultivo em aléias de espécies arbóreas e o manejo de pousio florestal.

(i) Plantio em aléias: nesse sistema as espécies arbóreas ou arbustivas formam corredores onde são dispostas as linhas de plantio de culturas anuais. A principal finalidade do método é tornar perene a deposição de resíduos vegetais (senescentes ou oriundos de poda) ao solo. Desta forma, pretende-se manter ou aumentar a produtividade das culturas anuais a partir da melhoria da fertilidade e do microclima local, seja pela ciclagem de nutrientes, pelo controle de ervas daninhas ou pela adição de cobertura morta. Espécies leguminosas fixadoras de N₂, como o feijão guandú (*Cajanus cajan*), a glirícidia (*Gliricidia sepium*), a leucena (*Leucaena leucocephala*) e o ingá (*Inga* spp.), têm sido utilizadas nesses sistemas por possuírem copa mais aberta e proporcionarem a passagem de luz para as outras culturas, além de apresentarem elevada capacidade de rebrota e produção de biomassa. Esse sistema permite uma cobertura do solo constante, reduzindo a intensidade dos processos erosivos.

(ii) Manejo do pousio: o plantio de espécies arbóreas de rápido crescimento e elevado potencial de incorporação de matéria orgânica de qualidade ao solo (relação C/N mais estreita) é recomendado para áreas em pousio, levando à diminuição do número de meses em pousio e à ganhos de produtividade da cultura subsequente. Esse sistema permite que a área seja mantida com cobertura vegetal, diminuindo a exposição do solo aos agentes erosivos (vento e água), além de reduzir a pressão sobre os remanescentes florestais nativos, como fonte de madeira para uso local. A introdução de espécies pioneiras ou secundárias iniciais fixadoras de N₂ atmosférico como o ingá (*Inga edulis*), o vinhático (*Plathymenia foliosa*), o mongolo-jacaré (*Parapiptadeneia gonocanta*), o ângico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*) e as acácias (*Acacia mangium*, *A. holosericea*, *A. angustissima*, *A. auriculiformis* – essas são exóticas e seu uso deve ser restrito), pode contribuir para a restauração da fertilidade de solos degradados e a antecipação da sucessão ecológica nessas áreas (FRANCO *et al.*, 1992; DIAS *et al.*, 1994; CAMPELLO,

1998; REIS, 2006). Vale ressaltar que deve-se dar preferência à espécies nativas da flora brasileira aos programas de enriquecimento de capoeiras.

SISTEMAS SILVIPASTORIS

É a associação de pastagens, animais e árvores. Segundo GARCIA *et al.* (2003), três situações podem ser identificadas neste sistema: *Pastejo do sub-bosque natural* em florestas e outras vegetações naturais – os animais são introduzidos em florestas e em áreas com outros tipos de vegetação natural, para o aproveitamento do sub-bosque, visando proporcionar sombra aos animais, além de beneficiar o pasto e conservar o solo; *Pastejo em pasto introduzido em floresta plantada* – espécies forrageiras cultivadas sob árvores de floresta plantada com os mesmos objetivos da situação anterior; e o *Pasto complementar*, formado por espécies arbóreas forrageiras – fornece aos animais a chance de completar a sua dieta básica, normalmente de extrato herbáceo, com espécies arbóreas.

Os sistemas silvipastoris podem ser classificados como *eventuais*, em que a associação árvore-pasto-animal acontece em determinado momento de uma exploração arbórea ou pecuária convencional; incluem-se também nesta categoria os sistemas silvipastoris que evoluíram de pastagens convencionais, com a regeneração natural das árvores úteis ou com o plantio de mudas de espécies arbóreas; são *verdadeiros* quando o componente arbóreo, o pasto e os animais são considerados integrantes do sistema desde o planejamento, coexistindo na associação dentro de um determinado nível de participação, são plantios regulares, feito nos espaçamentos ou em densidades próprias, em que a possibilidade de supressão de um componente por outro é deliberadamente reduzida.

As denominadas cercas vivas e o próprio moirão vivo, embora possam ser usadas em desenhos voltados para adubação de sistemas agrícolas, tem grande potencial em áreas de pastagem, pois usam espécies arbóreas, arbustivas ou gramíneas e herbáceas preenchendo as funções de proteção, abrigo e quebra-vento. O cipreste comum (*Cupressus lusitanica*), tem sido apontado por DUBOIS (1998) como espécie promissora no estabelecimento de cortinas de proteção, e é encontrado em várias propriedades da Região Serrana do Rio de Janeiro. Espécies selecionadas para essa finalidade devem ser plantadas perpendicularmente à direção dos ventos, em linhas únicas ou múltiplas, protegendo as culturas de ventos quentes, frios ou secos, da deposição de poeira, de aerossóis salinos (em regiões costeiras), entre outros. Espécies de gramíneas e herbáceas, geralmente, são plantadas na base das cortinas de plantas arbóreas para a proteção contra ventos transportando partículas de solo de áreas circundantes. O sabiá (*Mimosa caesalpinhiifolia*) é uma espécie nativa com grande potencial de uso como cerca viva. Além de possuir acúleos, que impedem a passagem de animais, fixa nitrogênio em associação com bactérias diazotróficas, é tolerante a queima e suporta a poda, ou seja, rebrota com facilidade, além de possuir flores melíferas e taxa de crescimento rápido, o que proporciona uma cobertura também rápida do solo.

O moirão vivo visa o plantio de linhas de espécies arbóreas ou arbustivas dentro ou entre propriedades rurais, dividindo piquetes ou delimitando suas fronteiras. Espécies utilizadas para esse fim, como a *Gliricidia sepium*, podem constituir-se ainda de “bancos de proteínas”, em associação com o plantio de espécies herbáceas ou arbustivas fixadores de N₂, visando a melhoria da qualidade das pastagens. Desta forma, aumenta-

se a capacidade de suporte das pastagens, retardando ou mitigando os processos de degradação associados a perda da produtividade do solo e do poder de resiliência do substrato.

SISTEMAS AGROSILVIPASTORIS

Caracterizados pela associação de espécies arbóreas ou arbustos e cultivos agrícolas e animais. DUBÉ *et al.* (2000) demonstraram que o manejo do eucalipto consorciado, com arroz no primeiro ano, soja no segundo e pasto de braquiária para engorda de novilhos em fase posterior da cultura, permitiu retornos econômicos mais atrativos que a monocultura de eucalipto. Esse sistema manteve ainda a cobertura do solo em todas as fases de desenvolvimento do eucalipto, reduzindo assim as perdas por erosão.

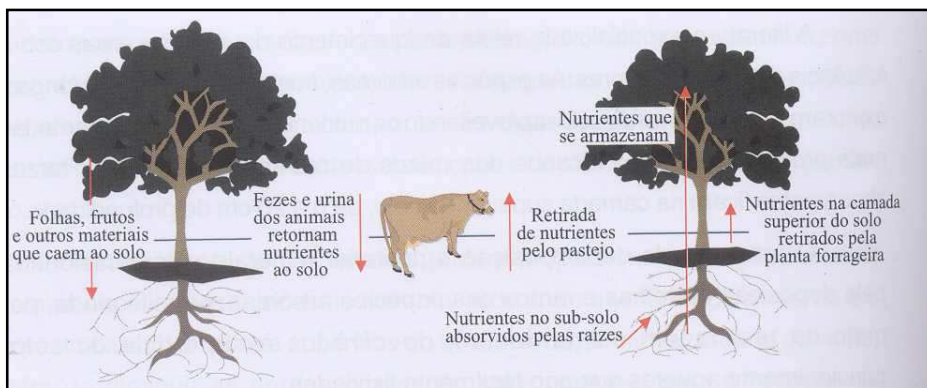


Figura 7.1. Representação diagramática da classificação dos sistemas agroflorestais de acordo com a natureza de seus componentes.

7.4.2. SISTEMAS AGROFLORESTAIS COMO ALTERNATIVA A RAD

Os sistemas agroflorestais (SAF) tem sido apontado por muitos pesquisadores a alternativa mais sensata para o manejo de solos tropicais, especialmente para áreas acidentadas, com alta fragmentação florestal e, nas quais o recurso financeiro dos produtores, limita investimentos em insumos. A possibilidade de se ter um sistema mais diverso permite que o dono da terra diversifique sua produção e não esteja submetido as “altos e baixos” repentinos de determinados produtos. Outro caráter interessante desses sistemas é a possibilidade de permitirem a conservação e o fluxo gênico de espécies da flora e fauna nativa, quando árvores são inseridas a eles.

Em todos esses sistemas há uma ênfase na manutenção da cobertura do solo, por todo o ano e não apenas no período de cultivo agrícola. Essa prática visa amortecer o impacto erosivo das chuvas, atenuar as variações de temperatura na camada superficial

do solo, conservar a umidade no mesmo e aumentar a estabilidade das unidades estruturais do solo (os agregados). Desta forma, aumenta-se a resistência das forças de coesão e adesão, que mantêm as partículas primárias do solo (areia, silte e argila) unidas, contra as forças de natureza externa, como o impacto, abrasão ou atrito e as oriundas do escape do ar interno dos agregados.

A inserção de leguminosas herbáceas, arbustivas ou arbóreas, que se associam com bactérias diazotróficas (responsáveis pela fixação biológica de N_2 - FBN) e fungos micorrízicos arbusculares têm sido apontada como uma alternativa ecológica e econômica para o manejo de solos tropicais degradados. Ela permite que quantidades significativas de N sejam incorporadas aos sistemas agrícolas, diminuindo os gastos com fertilizantes e o passivo ambiental do uso dos mesmos (GILLER & WILSON, 1991; DUBOIS, 1998; FRANCO & BALIEIRO, 2000). Essa entrada adicional de N, em combinação com as características bioquímicas da serapilheira (como os teores de polifenóis) dessas espécies permitem que o solo estoque mais C (MARTENS, 2000; TARRÉ *et al.*, 2004; RESENDE *et al.*, 2006; BALIEIRO *et al.*, 2008), com consequências positivas sobre a sua agregação em superfície, aumentando a percolação da água no perfil e diminuindo o escoamento superficial e a erosão.

O enriquecimento de capoeiras, o uso de serapilheira como condicionadora do substrato e fonte de propágulo e a semeadura direta são outras estratégias práticas não muito difundidas em programas de recuperação de áreas degradadas e suas avaliações em áreas de recomposição florestal (BRIENZA JR *et al.*, 1998; SOARES *et al.*, 2005) devem ser incentivados para que sejam sanadas as limitações e testadas as viabilidades técnicas e ecológicas dessas práticas.

Em resumo, a avaliação dos possíveis benefícios e danos causados pela introdução de espécies arbóreas nos sistemas agrícolas, ou seja, aos SAFs é essencial para a indicação de tecnologias de produção em solos tropicais, principalmente quanto ao seu potencial de proteção do solo contra os processos erosivos.

Os sistemas agroflorestais existem desde o momento em que o homem deixou de ser nômade e passou a cultivar e domesticar espécies vegetais e animais. Entretanto, o seu estudo, sob o ponto de vista de produtividade e eficiência na conservação do solo e água, se intensificou apenas nas últimas décadas. Desta forma, para aqueles que desejam se aprofundar no tema vale citar alguns trabalhos, como os de GILLER & WILSON (1991); NAIR (1993), COUTO *et al.* (1998); BUCK *et al.* (1998); DUBOIS (1998); ALAVALAPATI *et al.* (2004); MÜLLER *et al.* (2004). Os vários Anais do Congresso Brasileiro sobre Sistemas Agroflorestais merecem também destaque, pois descrevem, por meio de exemplos diversos, os potenciais e as limitações dos sistemas agroflorestais nos trópicos, com ênfase no Brasil.

7.4.3. COMO IMPLANTAR UM SISTEMA AGROFLORESTAL (SAF)

Os sistemas agroflorestais (SAFs), dependendo da avaliação da área degradada e do acordo do TAC (Termo de Ajuste de Conduta) realizado entre as partes envolvidas (em conformidade com os órgãos ambientais para recuperação ambiental da área), além dos atores envolvidos e da estrutura fundiária dos sites degradados, pode ser uma alternativa de uso nos PRADs (Plano de Recuperação de Áreas Degradadas) a serem utilizados na recuperação de vários ambientes: micro-bacias, matas ciliares, áreas para retorno de

preservação, corredores ecológicos, fragmentação florestal, controle de processos erosivos, etc. No entanto, é necessário avaliar o contexto social, econômico e ambiental em que se situa a área a ser recuperada, pois os sistemas agroflorestais são sistemas que possuem espécies produtivas de ciclo mais longo, implicando em muitos anos de manejo e uso agrícola da área e só se justifica em pequenas propriedades com a mão-de-obra familiar, em associações de produtores em regime de mutirão ou em empresas que arquem com o custo da mão-de-obra para implantação e condução dos SAFs.

Respeitando as particularidades para a implantação efetiva de SAFs em RADs, a próxima estratégia é de se conhecer a filosofia biológica dos sistemas a serem implantados. A vitalidade de qualquer sistema produtivo reside na sua adaptação ao meio onde se insere. As espécies vegetais que não são nativas devem ter proveniências de locais com clima semelhante, principalmente quanto à precipitação e à temperatura, essa última muito relacionada com a latitude e a altitude do lugar. Ainda que bastante modificadas geneticamente pelo melhoramento, as plantas cultivadas têm origem em algum tipo de vegetação natural, que deve ser semelhante ao tipo de vegetação em que se pretende implantar um sistema.

Da mesma forma que se leva em conta o clima da região, é preciso observar as diferenças microclimáticas em uma paisagem. Dentro de uma micro-bacia hidrográfica existem diversos microambientes diferenciados devido a alguns fatores, principalmente quanto à topografia, que se relacionam com os tipos de solos, retenção de umidade, disponibilidade de nutrientes e de matéria orgânica, exposição do terreno à luz solar. Por exemplo, as encostas voltadas para o sul recebem pouca insolação, principalmente no inverno, quando podem até mesmo não receber diretamente a luz do sol por um período. Formam, portanto, um ambiente muito mais úmido e sombrio e são comumente chamadas de “Noruega” na linguagem popular. Pelo mesmo motivo, as encostas voltadas para o norte e para o oeste podem ser mais ensolaradas e mais secas.

O perfil de uma encosta normalmente possui o topo convexo voltado para o céu, podendo ser reto na parte mediana ou ter apenas um ponto de inflexão, sendo côncavo na parte inferior (Figuras 7.2 e 7.3). A superfície convexa é controlada pelos escorregamentos, especialmente o rastejamento, e tende a exportar nutrientes, matéria orgânica, água e solo. Nas partes inferiores, as encostas são controladas por transporte de água, que sobrepuja o rastejamento, e são normalmente côncavas em relação ao céu. Nestas áreas acumulam-se os materiais provindos de outras partes do relevo.

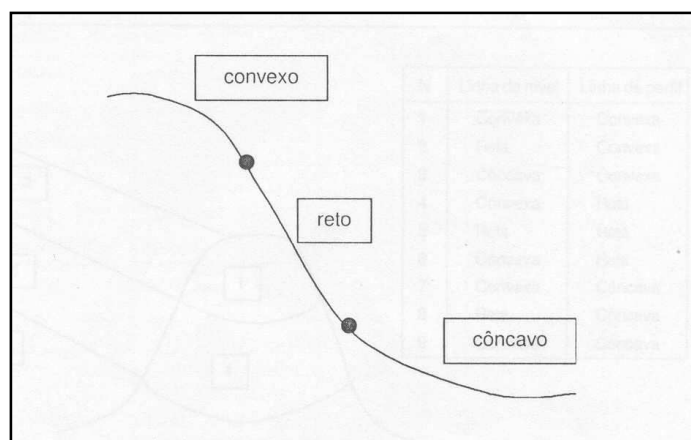


Fig. 7.2. Perfil de uma encosta, mostrando o topo convexo e a base côncava.

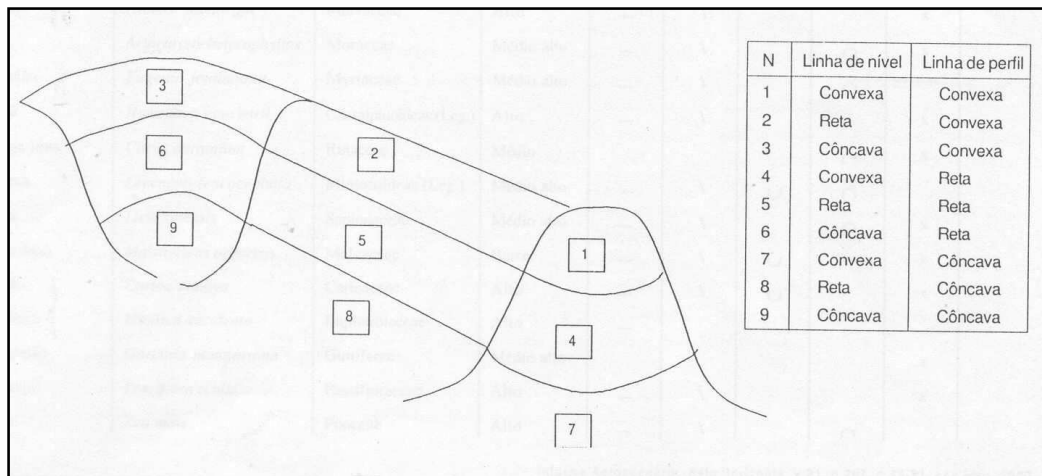


Fig. 7.3. Tipos de vertentes

Muitas espécies são adaptadas a determinados microambientes, pois desenvolveram características fisiológicas, biológicas, etc., que as permitem viver nestes locais, muitas vezes vencendo obstáculos que limitam a vida. Da mesma forma, as espécies cultivadas também apresentam preferências por determinados microambientes e, em sua maioria, adaptam-se aos locais mais férteis. A escolha das espécies para um SAF está diretamente relacionada com o tipo e o manejo do sistema. Quanto maior o número de espécies, maior a complexidade em combiná-las, mas alguns critérios podem ser seguidos tornando mais fácil a compreensão das inter-relações entre essas espécies e o manejo a ser dado para otimizar o sistema. Além de adequar as espécies ao ambiente, a produção de um SAF pode-se ampliar com o aproveitamento de duas variáveis praticamente não utilizadas na maioria dos sistemas de produção: o tempo e o espaço.

A composição das espécies pode incluir plantas com diversos ciclos de vida, desde culturas anuais até frutíferas ou espécies madeireiras, que pode gerar produção por um longo período. Da mesma forma, as plantas podem alcançar diversas alturas, como a vegetação natural ocupa seus diversos estratos. Nos sistemas mais complexos, a densidade de plantas é bem maior e isso só é possível com uma boa combinação de espécies. Uma árvore de crescimento lento pode ficar ao lado de uma outra de crescimento mais rápido. Da mesma forma, duas árvores que tenham a mesma velocidade de crescimento podem ficar muito perto uma da outra, enquanto ocupam lugares diferentes no estrato da vegetação. É preciso observar que a classificação quanto ao estrato não significa exatamente o tamanho da planta, mas o nível que ela ocupa em relação às suas plantas companheiras. Desta forma, o arroz, por exemplo, é de estrato alto, pois no momento em que ele se encontra no sistema, não deve ocorrer planta alguma sobre ele. Já o abacaxi suporta certo sombreamento, podendo ficar sob copas de árvores, e o mesmo ocorre com o gengibre e a batata doce. Já a laranja-lima deve ocupar o estrato médio do sistema. Portanto, o conhecimento das espécies é um fator essencial para uma boa implantação e manejo do sistema. A Tabela 7.1 apresenta alguns exemplos de espécies e características que ajudam a formar associações adequadas.

Vale salientar que em muitos locais, no entanto, o ambiente sofreu enormes alterações com as atividades humanas e todas as características, principalmente do solo, foram drasticamente perturbadas. Muitas vezes, a recuperação de ambientes degradados requer a utilização de espécies bem mais rústicas, provenientes de ecossistemas de regiões com climas geralmente mais secos ou mais inférteis, pois essas espécies são aptas a sobreviver em condições não previstas na natureza de climas mais amenos e propícios à ebulição da vida. Essas espécies mais rústicas podem ser vistas como uma transição para a melhoria do ambiente, além de uma forma momentânea de gerar algum recurso. Esta é a filosofia adotada por uma boa parte de pesquisadores da EMBRAPA envolvidos em pesquisas para a recuperação de áreas degradadas, onde muitas vezes indicam o uso em RAD de espécies rústicas (em sua maioria leguminosas), através de pacotes tecnológicos de uso de baixo insumo agrícola e agregado a esses pacotes, biotecnologias desenvolvidas na empresa.

7.5. RECUPERAÇÃO DE MATA CILIAR

As matas ciliares, matas ripárias ou matas de galeria, são formações vegetais que acompanham os cursos d'água ou lagos, cumprindo importantes funções na manutenção do regime hídrico da bacia hidrográfica, no sustento da fauna e na estabilidade dos ambientes.

Apesar de serem formações vegetais protegidas por legislação há mais de três décadas (Lei Federal nº 4771 de 15 de setembro de 1965) e novamente contemplada na Constituição Federal de 1988, as matas ciliares vêm sendo intensamente devastadas, seja para a retirada da madeira, para a exploração agropecuária ou simplesmente por ação antrópica indiscriminada.

Ultimamente, a restauração de áreas deflorestadas com o plantio de árvores nativas, em especial as formações ciliares, vem sendo alvo de muitos trabalhos e pesquisas, principalmente devido à conscientização da sociedade quanto à necessidade de reverter o estado de degradação do meio ambiente e à exigência legal. Os primeiros plantios mistos de espécies nativas, ainda que sem divulgação dos métodos utilizados, foram os da floresta da Tijuca e o de Itatiaia (RJ), Numa segunda fase e já com publicações dos métodos e resultados, foram os plantios de Cosmópolis (SP), onde não se preconizava o uso de espécies pioneiras, mas uma distribuição das plantas totalmente ao acaso [13].

No Estado de São Paulo, a partir de 1978, a CESP vem realizando a recuperação de áreas desnudas ao redor dos seus reservatórios, usando basicamente espécies arbóreas nativas da região, numa concepção de floresta mista de muitas espécies. Inicialmente, usou-se o modelo de mistura de espécies totalmente ao acaso, mas devido ao longo tempo para o estabelecimento da floresta e ao insucesso de determinadas espécies em crescer nessas condições, buscou-se reavaliar o método e alterar a forma de plantio de florestas mistas com espécies arbóreas nativas.

O acaso das combinações no campo permitiu separar as espécies em grupos de acordo com os seus comportamentos em relação à luminosidade e esses resultados, aliados aos conceitos da sucessão secundária, levaram a mudanças no método de plantio. Usando a terminologia de BUDOWSKI (1965), classificaram-se as espécies em pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e clímaxes. As espécies pioneiras e clímaxes

eram sombreadoras e sombreadas, respectivamente, sendo complementares entre si no consórcio. As espécies secundárias iniciais teriam o papel de tutorar as secundárias tardias. Desta forma, as pioneiras, antes consideradas pouco importantes na silvicultura de espécies nativas, passaram a ser consideradas imprescindíveis ao estabelecimento da floresta.

Mais recentemente, a pesquisa tem avançado rumo à melhoria nos modelos de implantação, adequando as densidades de plantio, tanto das pioneiras como dos estágios mais avançados da sucessão, através de densidades mais altas para as espécies comuns e mais baixas para as denominadas espécies raras, tornando a estrutura da floresta implantada mais próxima dos ecossistemas naturais. Esses modelos já vêm sendo utilizados em escala operacional pelas unidades da CESP (KAGEYAMA & GANDARA, 2000). O agrupamento de espécies se faz com base no comportamento ecológico e silvicultural das espécies, gerando dois grandes grupos:

1. Pioneiras ou sombreadoras: espécies de crescimento mais rápido, onde estão incluídas as pioneiras típicas, as secundárias iniciais, as pioneiras antrópicas (espécies não tipicamente pioneiras em áreas degradadas pelo homem) e as secundárias/pioneiras antrópicas.
2. Não pioneiras ou sombreadas: espécies de crescimento mais lento, beneficiadas por um sombreamento parcial, onde estão incluídas as espécies secundárias tardias e as climáticas.

Considerando que as matas ciliares são fundamentais para o equilíbrio ambiental, a sua recuperação pode trazer benefícios muito significativos sob vários aspectos. Em escala local e regional, as matas ciliares protegem a água e o solo, proporcionando abrigo e sustento para a fauna e funcionam como barreiras, reduzindo a propagação de pragas e doenças em culturas agrícolas. Em escala global, as florestas em crescimento fixam carbono, contribuindo para a redução dos gases de efeito estufa.

Tabela 7.1. Espécies com potencial para composição de sistemas agroflorestais, estratos que ocupam, tipos de terrenos e de solos.

Nome comum	Nome científico	Família	Estrato	Tipo de terreno				Tipo de solo	
								Argiloso	Arenoso
Abacate	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	Médio alto					x	
Abacaxi	<i>Ananas comosus</i>	Bromeliaceae	Baixo	—	\	C		x	x
Abóbora	<i>Cucurbita maxima</i>	Cucurbitaceae	Médio				C		
Açaí-da-mata	<i>Euterpe precatoria</i>	Palmae	Médio alto	—					
Amora	<i>Morus alba</i>	Moraceae	Médio	—	\			x	
Aroeira	<i>Myracrodruon urundeuva</i>	Anacardiaceae	Alto	—	\			x	
Arroz	<i>Oryza sativa</i>	Poaceae	Alto	—	\	C	C	x	
Bacupari	<i>Rheedia sp.</i>	Guttiferae	Médio baixo	—		C			
Balsa	<i>Ochroma pyramidale</i>	Bombacaceae	Alto	—	\				
Bálsamo	<i>Myroxylon peruiferum</i>	Papilionideae (Leg.)	Alto	—	\	C		x	
Batata-doce	<i>Ipomoea batata</i>	Convolvulaceae	Baixo	—	\	C	C	x	
Cacau	<i>Theobroma cacao</i>	Sterculiaceae	Médio baixo	—	\	C	C		
Café	<i>Coffea arabica</i>	Rubiaceae	Baixo	—	\	C	C		
Cana-de-açúcar	<i>Saccharum officinarum</i>	Poaceae	Médio	—				x	
Carambola	<i>Averrhoa carambola</i>	Oxalidaceae	Médio	—					
Castanha-do-pará	<i>Bertholletia excelsa</i>	Lecythidaceae	Emergente	—	\	C	C	x	
Cedro	<i>Cedrela fissilis</i>	Meliaceae	Alto	—	\	C			x
Copaíba	<i>Copaifera langsdorffii</i>	Caesalpinoideae (Leg.)	Alto	—		C		x	
Cupuaçu	<i>Theobroma grandiflora</i>	Sterculiaceae	Médio	—	\	C	C		
Eritrina	<i>Erythrina spp.</i>	Fabaceae (Leg.)	Alto	—	\				
Freijó	<i>Cordia alliodora</i>	Boraginaceae	Médio	—			C	x	x
Gengibre	<i>Zingiber officinale</i>	Zingiberaceae	Baixo	—	\	C			
Guanandi	<i>Calophyllum brasiliensis</i>	Guttiferae	Alto				C	x	
Hibisco	<i>Hibisco sabdariffa</i>	Malvaceae	Alto	—	\			x	
Jaca	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	Moraceae	Médio alto	—	\		C	x	
Jambolão	<i>Eugenia jambolana</i>	Myrtaceae	Médio alto	—	\		C		
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>	Caesalpinoideae (Leg.)	Alto	—	\			x	
Laranja-lima	<i>Citrus aurantium</i>	Rutaceae	Médio				C	x	
Leucena	<i>Leucaena leucocephala</i>	Mimosoideae (Leg.)	Médio alto	—	\	C	C		
Lichia	<i>Lichi sinensis</i>	Sapindaceae	Médio alto	—	\		C	x	
Malvaisco	<i>Malvaviscus arboreus</i>	Malvaceae	Baixo	—	\	C		x	x
Mamão	<i>Carica papaya</i>	Caricaceae	Alto	—	\	C		x	
Mandioca	<i>Manihot esculenta</i>	Euphorbiaceae	Alto	—					
Mangostão	<i>Garcinia mangostana</i>	Guttiferae	Médio alto					x	
Maracujá	<i>Passiflora eculis</i>	Passifloraceae	Alto	—	\			x	
Milho	<i>Zea mais</i>	Poaceae	Alto	—	\		C		

Tabela 7.1. Espécies com potencial para composição de sistemas agroflorestais, estratos que ocupam, tipos de terrenos e de solos.

Nome comum	Nome científico	Família	Estrato	Tipo de terreno				Tipo de solo	
								Argiloso	Arenoso
Mogno	<i>Swietenia macrophylla</i>	Meliaceae	Alto	—	\		U		
Mutambo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Sterculiaceae	Médio		\		U	x	
Parapará	<i>Jacaranda copaia</i>	Bignoniaceae	Alto				U	x	
Pau-d'alho	<i>Gallesia integrifolia</i>	Phytolaccaceae	Médio alto	—			U		x
Pupunha	<i>Bactris gasipaes</i>	Palmae	Alto	—				x	
Seringueira	<i>Hevea brasiliensis</i>	Euphorbiaceae	Médio alto	—	\		U	x	
Soja	<i>Glycine maz</i>	Fabaceae (Leg.)	Médio alto	—			U		
Sumaúma	<i>Ceiba pentandra</i>	Bombacaceae	Emergente	—	\			x	x
Tamboril	<i>Enterolobium contorsiliquum</i>	Mimosoideae (Leg.)	Alto	—			U		

FONTE: Milz (1997).

7.5.1. RECUPERAÇÃO DE MATA CILIAR USANDO SISTEMAS AGROFLORESTAIS

A necessidade de restauração das florestas ribeirinhas teve subsídio na legislação com a Lei de Política Agrícola – Lei nº 8171 de 17 de janeiro de 1991, que determinou a recuperação gradual das áreas de preservação permanente, estabelecendo um período de 30 anos para a recuperação da vegetação nativa nas áreas onde foi eliminada. No entanto, diversos problemas contribuem para a pouca presteza de restauração desses ecossistemas. Um deles é o custo da implantação das florestas, atividade esta, que não gera renda ao agricultor, devido ao seu caráter apenas de preservação.

Nos locais onde a matriz florestal foi amplamente alterada pela agricultura ou outras atividades antrópicas, a regeneração natural encontra-se muito baixa ou nula, havendo necessidade de implantação de mudas de espécies nativas de diferentes grupos ecológicos e de manutenção periódica do plantio para controle de espécies competidoras agressivas. As diversas pesquisas realizadas no Brasil (principalmente no estado de São Paulo) obtiveram resultados importantes na diminuição do tempo e do custo de implantação das florestas de proteção no entorno dos reservatórios. Em 1988, o tempo de implantação das florestas era de cerca de 5 a 7 anos, ao custo de US\$ 4.000,00/ha. Atualmente, os plantios são considerados formados, sem a necessidade de outras intervenções, com 2 anos, ao custo de US\$ 1.500,00/ha, com a perspectiva de redução para cerca de US\$ 1.000,00/ha (KAGEYAMA & GANDARA, 2000). Ainda assim, essa quantia é muito elevada para a maioria dos produtores rurais, responsáveis por arcar esses custos.

Atualmente, tem-se discutido muito o uso de sistemas de produção biodiversos em formações ciliares, atividades essas com menor impacto ambiental quando comparadas com os sistemas tradicionais, como exemplo, podemos citar os vários modelos de

sistemas agroflorestais. É preciso salientar que, nas formações ciliares, áreas previstas pela lei como de preservação permanente, os sistemas agroflorestais deveriam ser cogitados, mas utilizados apenas como uma forma de restauração do ambiente degradado. A permissão do uso de sistemas agroflorestais com produção mais duradoura seria justificável somente para pequenas propriedades, onde a área agrícola disponível não é suficiente para a sustentação econômica. Há muitas controvérsias sobre a legislação do aumento da fronteira agrícola sobre áreas de proteção permanente que devem ser recuperadas em grandes propriedades. De toda a forma, são muitos benéficos os sistemas temporários e destinados à diminuição dos custos de manutenção nesses casos. O uso de sistemas agroflorestais como uma estratégia de implantação ou de manutenção da restauração ecológica, utilizando-se, temporariamente, o espaço entre as mudas de nativas com culturas econômicas, pode auxiliar no controle de espécies competidoras, diminuindo os custos da restauração. A possibilidade do uso de sistemas agroflorestais nessas circunstâncias aumentaria a escala de restauração das formações ciliares degradadas pela invasão da atividade agrícola ou outra atividade antrópica qualquer e seria benéfica a diversos produtores.

Em resumo: A recuperação de matas ciliares em locais onde a regeneração natural é dificultada pela forte interação da matriz florestal tem custo alto para a maioria dos agricultores que têm essa tarefa a ser cumprida, onde a necessidade de manutenção do plantio torna-se uma das principais razões de elevação dos custos. O uso de sistemas agroflorestais como estratégia para a recuperação das matas ciliares não é atualmente permitido pelos órgãos ambientais, em função da quase ausência de informações sobre as vantagens e desvantagens para esse uso específico. Na verdade, existe uma grande lacuna na área do conhecimento em todo o país, no que se refere as bases científicas que deveriam subsidiar as tomadas de decisões das políticas públicas de reflorestamento heterogêneo no Brasil. Atualmente, existe uma grande carência de conhecimento no que se refere ao estabelecimento de parâmetros de avaliação e monitoramento capazes de verificar a qualidade dos reflorestamentos heterogêneos, bem como indicar a capacidade de resiliência em áreas implantadas. É de suma importância, que as pesquisas científicas avancem no que diz respeito à restauração florestal, que embora sendo uma área recente, têm-se desenvolvido muito e agregado conhecimentos, envolvendo principalmente a dinâmica de formações vegetais nativas. Isso não elimina a necessidade de muitos outros estudos que preencham lacunas do conhecimento e promovam um maior sucesso dos projetos de recuperação e conservação da biodiversidade.

Com o incremento de trabalhos nesta área, existem hoje (particularmente para o Estado de São Paulo) diversos modelos possíveis de serem utilizados no repovoamento vegetal, pelo plantio de espécies arbóreas de ocorrência em ecossistemas naturais, procurando recuperar algumas funções ecológicas das florestas, bem como a recuperação dos solos. Em geral, estes modelos envolvem levantamentos florísticos e fitossociológicos prévios, bem como estudos de biologia reprodutiva e da ecofisiologia das espécies e de seu comportamento em banco de sementes, em viveiros e em campo, o que, em conjunto com um melhor conhecimento de solos, microclimas, sucessão secundária e fitogeografia, deve favorecer a auto-renovação da floresta implantada (BARBOSA, 1999).

Dividindo os produtores em dois grupos, o pequeno produtor e o empresário rural, que têm características e objetivos diferentes, supõe-se que sejam distintos os tipos de sistemas agroflorestais destinados a cada um. O pequeno produtor certamente tem possibilidade de administrar produções mais diversificadas e, na maioria dos casos, tem

interesse de obter produtos agrícolas em sistemas de restauração. Neste caso, aumentar um pouco a mão-de-obra dentro dos sistemas de restauração tem a compensação da geração de renda, que seria feita de qualquer forma na propriedade, o que significa o aproveitamento da área e da mão-de-obra utilizada. Já o grande produtor ou empresário rural, não deve visar à produção agrícola dentro dos sistemas de restauração, mas tem grande interesse em diminuir tanto quanto possível a mão-de-obra empregada na implantação do sistema de restauração.

VAZ da SILVA, 2002, instalou e conduziu um experimento em uma grande propriedade de uma usina de cana-de-açúcar na região de Piracicaba no Estado de São Paulo, utilizando dois tipos de sistemas agroflorestais, um SAF complexo dirigido ao pequeno produtor e um SAF simples, dirigido ao empresário rural (grande produtor), comparando-os entre si e com a revegetação florestal preconizada pelos órgãos ambientais e com uma área testemunha (sem revegetação). O objetivo do trabalho foi comparar os sistemas agroflorestais em duas hipóteses: a) que eles não interfeririam de forma negativa na recuperação ecológica do ambiente (quanto ao crescimento das mudas arbóreas nativas, no desenvolvimento de microrganismos ou na recuperação da fertilidade do solo) e b) que diminuiriam os custos e/ou geraria renda ao produtor rural, quando comparados a recuperação das matas ciliares degradadas utilizando os sistemas tradicionais apenas com arbóreas nativas. Ambos os objetivos foram concluídos, tendo o Sistema Agroflorestal Simples obtido melhor resposta no crescimento em altura e área basal de algumas espécies testadas. O resultado sugere que a recuperação do ambiente ciliar degradado apenas com espécies arbóreas seja uma estratégia parcial, que normalmente gera sistemas menos densos, com lacunas de nichos onde possibilita a entrada no sistema de espécies daninhas invasoras. A inclusão de plantas herbáceas e não apenas as arbóreas, nos sistemas de recuperação florestal trazem benefícios ecológicos e econômicos, além de tratar o ambiente de forma mais integrada. O SAF simples necessitou de menor número de manejos e conseqüentemente, exigiu menos mão-de-obra que o Sistema Florestal Tradicional, o que reverte em menor custo (16% a menos), principalmente de manutenção.

Em relação a sugestões para outros estudos posteriores, VAZ da SILVA (2002) sugere outras pesquisas no SAF simples sobre leguminosas que tenham facilidade de auto-semeio, de forma a diminuir a necessidade de mão-de-obra pela metade, já que há grandes evidências que sistemas agroflorestais não apresentam competição com as arbóreas, podendo, inclusive, promover melhor o desenvolvimento das mesmas.

Logo, a recuperação das matas ciliares é uma necessidade ambiental que tem urgência de pesquisa em várias áreas e precisa de ações conjuntas entre diversos atores da sociedade. A inclusão de agricultores nas pesquisas incorpora uma gama de conhecimentos informais e aumenta a abrangência dos estudos, permitindo trocas e evoluções de ambas as partes. O estudo de sistemas agroflorestais, principalmente de SAFs simples, para a recuperação de ambientes estratégicos para a sociedade, como são as matas ciliares, são objetos plenamente adequados para a pesquisa participativa, pois existem claras tendências da capacidade de recuperação destes sistemas, porém ainda há necessidade do aprofundamento de diferentes questões. A principal delas parece ser a definição de critérios para o manejo agroflorestal da maneira a garantir os baixos impactos da produção aliada à restauração, inclusive de forma a fundamentar revisões da legislação ambiental.

Para se ter uma idéia da situação das áreas degradadas nas diferentes formações florestais na maioria das matas ripárias do país, um estudo realizado no Estado de São Paulo, mostra que de todo o estado, estima a existência de mais de 1,3 milhão de hectares de áreas marginais a cursos d'água sem vegetação ciliar. Esta projeção já indica a expressiva necessidade de recuperação. Se fossem recuperadas apenas as matas ciliares no Estado de São Paulo, seria necessário produzir mais de dois bilhões de mudas. Novamente aqui, reside mais um problema para o sucesso dos reflorestamentos induzidos no Estado de São Paulo (no qual podemos ampliar para os outros estados federativos), que é o não cumprimento do plantio com alta diversidade devido à indisponibilidade de mudas, tanto no aspecto de quantidade como também de diversidade. Estudos atuais mostram a necessidade de estabelecimentos de florestas com maior diversidade, pois sem dúvida as florestas tropicais formam os biomas com maior diversidade de espécies do planeta. Muito dos problemas de implantação e manejo de reflorestamento com essências nativas para fins de RAD, reside no uso de um elenco de espécies arbóreas relativamente pequeno (entre 30 e 35 espécies de diferentes estágios sucessionais), que precisam ser enriquecidas com outras espécies, para ampliar diversidade florística e promover a sustentabilidade das florestas implantadas.

A alta diversidade de espécies de florestas tropicais vem sendo enfatizada mais para as espécies arbóreas, já que estes tipos de organismos são mais conhecidos botanicamente, por serem mais facilmente levantados e identificados. Porém, mesmo assim, ainda hoje vem sendo identificadas novas espécies arbóreas nestas florestas. É muito freqüente, em levantamentos fitossociológicos em parcelas de 1 ha, encontra-se mais de 100 espécies arbóreas diferentes nessa pequena área, seja qual for o bioma florestal, sendo que para a Amazônia, OLIVEIRA (1999) chegou a encontrar mais de 300 espécies arbóreas em um único hectare.

Essa alta diversidade de florestas tropicais está associada a uma alta freqüência de espécies dominadas raras, ou aquelas que ocorrem a uma muito baixa densidade de indivíduos na mata, e justamente sendo a maioria delas e as que são as mais desconhecidas quanto às características ecológicas e, portanto, de difícil manejo e conservação (KAGEYAMA & GANDARA, 1994).

REIS (1993), na região de Santa Catarina, onde as espécies vegetais da Mata Atlântica foram intensamente estudadas, mostrou que o número de espécies arbóreas representava somente cerca de 30% das espécies vegetais, sendo que os restantes 70% das espécies referentes às lianas, às espécies arbustivas, às herbáceas e às epífitas. KRICHER (1997) estimou em cerca de 100 vezes mais a diversidade de animais e microrganismos em relação ao número de espécies vegetais. Desta forma, se considerarmos um número de espécies vegetais de um dado hectare como sendo 500, que é plenamente normal de ocorrer, o número de espécies dos organismos animais e microrganismos fica estimado em 50.000 neste mesmo hectare, sendo impressionante e possível de ser entendida a cifra de que o número total de espécies estimado pode atingir um valor de 50 milhões ou até mais, com somente 1,5 milhões identificados taxonomicamente, ou somente 3% do total.

A alta diversidade de espécies das florestas tropicais permite entender que a grande diferença desses biomas com aqueles de baixa diversidade nos climas temperados é a grande interação entre as plantas e os animais e microrganismos, ou seja, é possível constatar-se que a grande maioria das espécies arbóreas tropicais (97,5%) é polinizada por insetos, morcegos e beija-flores (BAWA *et al.* 1985) e que, nos

ecossistemas tipicamente tropicais, as sementes são também dispersas por animais frugívoros (ESTRADA & FLEMING, 1986). Assim é possível entender que essa alta associação de espécies arbóreas com animais e microrganismos tem grande implicação com a conservação genética *in situ*, devendo assim considerar que esses organismos associados devem estar presentes nos programas de conservação. Se a conservação *in situ* das florestas tropicais é considerada como uma forma de conservar a biodiversidade, não só as espécies alvo que estão sendo monitoradas são objetos de conservação, mas também as demais espécies associadas a elas devem receber igual tratamento.

Olhando sob o prisma da RAD, as atividades de produção que têm como consequência a degradação ambiental estão sujeitas a sanções cada vez mais drásticas e corretivas, para as quais os órgãos ambientais têm a responsabilidade legal, seja nos processos de licenciamento ambiental, seja na definição de parâmetros e nas suas técnicas, capazes de orientar o mercado consumidor cada vez mais exigente, conceito também incorporado na série ISSO 14001, considerada um importante estímulo ao gerenciamento e manejo com melhoria contínua dos reflorestamentos heterogêneos no Brasil.

Finalmente, torna-se necessário a conscientização e o bom senso de todos os atores envolvidos na área ambiental, de que ainda necessitam-se de muitas pesquisas e entendimentos das complexas inter-relações que ocorrem no interior e nas vizinhanças de uma floresta nativa, e que a determinação das possíveis metodologias e monitoramentos a serem empregadas para a reabilitação de áreas degradadas com plantio de florestas tropicais e sub-tropicais heterogêneas, não sejam inviável economicamente, não sejam socialmente justa e ecologicamente insustentável, gerando resultados muito longe daquilo que se preconiza muitos atores por absoluta falta do entendimento de um sistema tão complexo, como o de uma floresta tropical. Logo, a aplicabilidade de leis e resoluções, com conhecimento e, principalmente bom senso, são alguns dos focos importantes que devem ser seguidos pelas políticas e agentes públicos envolvidos com a matéria.

7.6. RECUPERAÇÃO DE VEGETAÇÃO DO SEMI-ÁRIDO

Compreendendo uma área de 1.640.000 Km², a região nordeste do Brasil apresenta uma cobertura vegetal diversificada, onde a caatinga participa com cerca de 800.000 Km² (AB'SÁBER, 2000), se constituindo na maior formação vegetal dessa região, que é composta predominantemente por plantas de porte arbustivo e caducifólia tolerante ao déficit hídrico (HUECK, 1972) e (ANDRADE-LIMA, 1977). A caatinga pode ser considerada a vegetação brasileira mais heterogênea, formada por uma vegetação estépica de clima semi-árido quente, adaptada as condições climáticas e pedológicas regionais (AB'SÁBER, 2000) e com grande variabilidade em aspectos físicos, vegetacionais e florísticos (EGLER, 1951). Para ANDRADE-LIMA (1977), o domínio das caatingas é limitado pela isoietal anual de 1.000mm, e para AB'SÁBER, entre 300 a 800 mm, com irregularidades pluviométricas, fortíssima evaporação e uma estiagem de seis a nove meses.

Para RODAL (1992), a vegetação da caatinga é bastante variada do ponto de vista fisionômico e florístico, sendo considerada uma vegetação pobre em função da baixa riqueza por área, reduzido número de espécies arbustivo-arbóreas e pela presença de vegetação caducifólia bastante diversificada em tipos florísticos e com cactáceas

dispersas por toda a parte. Essa diversidade fisionômica da caatinga está relacionada a fatores abióticos, principalmente o clima, sendo a distribuição das chuvas responsável pela maioria das variações das paisagens nordestina. Por isso, o clima e o solo interagem com a flora e influenciam diretamente na vegetação (DUQUE, 1973).

A região semi-árida brasileira vem sofrendo cada vez mais o impacto das atividades humanas sobre os seus recursos naturais. A Embrapa Semi-Árido gerou mapas que mostram o grau de degradação ambiental para cada um dos estados e enfatizam o nível de severidade com que eles aparecem. Uma das últimas pesquisas realizadas aponta que os estados do Ceará e da Paraíba têm as maiores áreas, em termos percentuais, com problemas de degradação ao nível severo, seguidos de perto pelos estados de Pernambuco e Bahia. O nível de degradação ambiental severo aparece principalmente nas áreas dos estados onde se encontram solos do tipo Bruno-não-cálcicos. O nível de degradação ambiental acentuado está mais relacionado às áreas de solos litólicos, ou seja, solos mais jovens (menos intemperizados). As tabelas (7.2, 7.3 e 7.4), apresentados em seguida, resumem a distribuição das áreas degradadas nos estados, os principais tipos de ocupações da terra, o tempo de ocupação e a suscetibilidade aos processos erosivos. A localização geográfica das áreas com problemas ambientais é apresentada em forma esquemática na Fig. 7.4., e os grandes domínios fisionômicos do semi-árido na Fig. 7.5.

Tabela 7.2. Áreas de degradação ambiental nos estados do NE em ha e %.

Solos			AL	BA	CE	PB	PE	PI	RN	SE
Severo	NC	ha	90.40 0	2.031.3 0	4.253.0 0	2.106.1 0	2.629.8 0	588.700	896.200	271.200
		%	3,26	3,63	28,98	37,36	16,58	2,34	16,92	12,29
Acentua do	LI	ha	-	667.300	885.600	692.500	721.100	54.000	141.100	-
		%		1,19	6,03	12,28	7,34	0,21	2,66	
Modera do	PE TRE CB	ha	-	163.200	509.900	298.500	154.400	792.300	265.800	-
		%		0,29	3,47	5,29	1,57	3,17	5,01	
Baixo	PL	ha	-	-	2.060.0 0	429.300	-	61.100	602.100	-
		%			14,03	8,62		0,24	11,35	
TOTAL		ha	90.40 0	2.861.8 00	7.708.5 00	3.526.4 00	2.505.3 00	1.496.1 00	1.905.2 00	271.200
		%	3,26	5,11	52,51	63,55	25,49	5,96	35,94	12,29

Tabela 7.3. Escala de degradação ambiental e áreas atingidas na região nordeste.

	Vegetação Hiperxerófila	Vegetação Hipoxerófila	Ilhas Úmidas	Agreste Área de Transição	Total
Área em Km²	317.608	399.777	83.234	124.424	925.043
% NE	19,09	24,04	5,00	7,48	56,61
% TSA	34,33	43,21	9,00	13,45	-

Tabela 7.4. Compartimentação ambiental do trópico semi-árido (TSA).

Níveis de Degradação Ambiental	Tipos e Associações de Solos	Relevo	Sensibilidade à Erosão	Tempo de Ocupação	Área mais Seca do TSA (%)	TSA (%)	NE (%)
Severo	NC	Suave Ondulado, Ondulado	Forte	Longo (algodão)	18,42	12,80	7,15
Acentuado	LI	Ondulado, Forte Ondulado, Montanha	Muito Forte	Recente Cult. de Subsist.	10,23	3,40	1,90
Moderado	PE TRE CB	Ondulado e Forte Ondulado	Moderado	Longo cultivo comercial	10,21	3,40	1,89
Baixo	PI	Plano e Suave Ondulado	Moderado	Médio, Pastagem e Cult. de Subsist.	7,07	2,35	2,35
Total				20.364.900 ha (65,93)		21,95	12,25

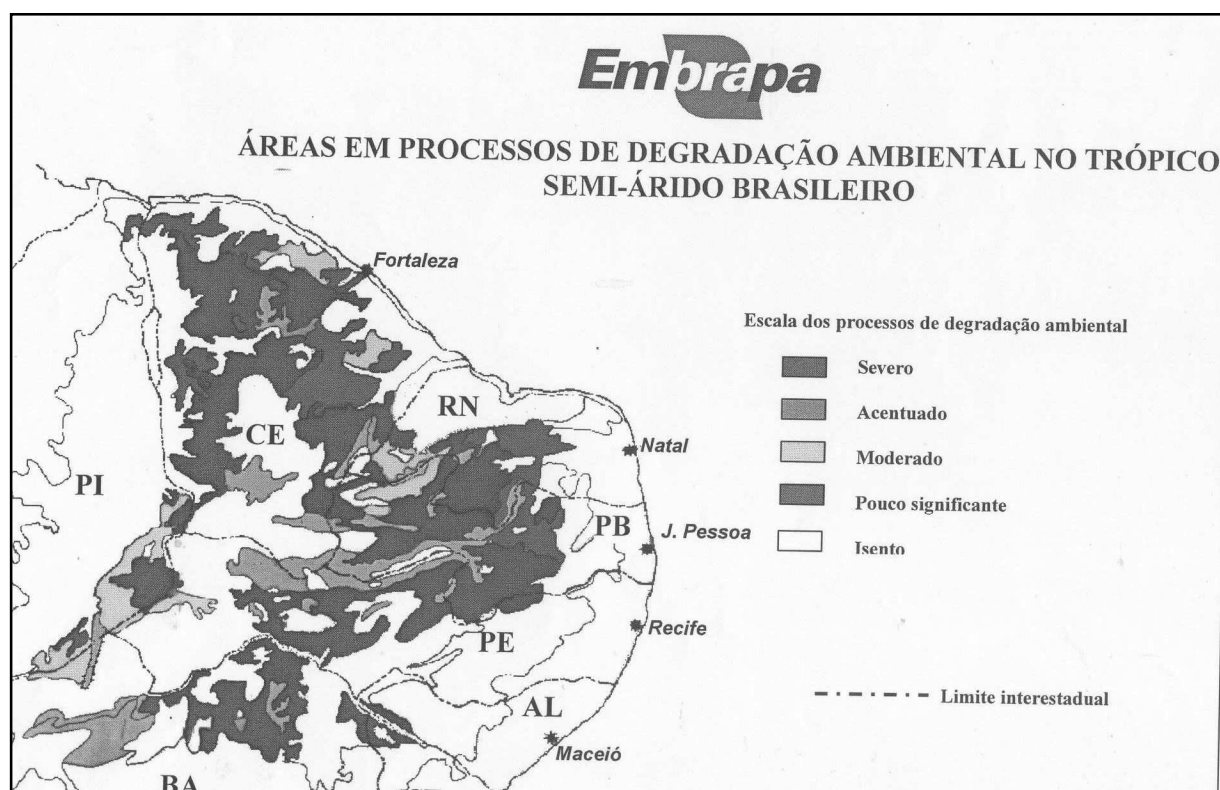


Fig. 7.4. Áreas em processo de degradação ambiental no trópico semi-árido brasileiro.

É fundamental observar que a degradação ambiental não só se manifesta pela sensibilidade do solo à erosão, mas, sobretudo pelo uso a ele imposto. É importante salientar que as observações de campo e análise visual de documentos satelitários demonstram nitidamente que as áreas mais devastadas comportam solos de alta fertilidade, que foram e/ou estão sendo intensivamente explorados. Neste contexto estão os Bruno-não-cálcicos, sobretudo pelo cultivo do algodão, os podzólicos eutróficos e similares, pelos cultivos de subsistência e comerciais, principalmente a mamona e os planossolos que por terem textura leve e ocuparem relevos predominantemente planos e suaves ondulados, são bastante cultivados, inclusive com o uso de tração animal, embora seja solos de média a baixa fertilidade natural.

Como pode ser observada no quadro 7.3 e segundo os critérios utilizados, a área do Trópico Semi-Árido (TSA) afetada por degradação ambiental a níveis elevados é de mais de 20 milhões de hectares, ou seja, cerca de 22% da área do TSA e 12% da área do nordeste. Porém, o mais preocupante é que esta área crítica alcança quase 66% da região mais seca do TSA. Este estudo foi baseado nos tipos de solos predominantes, que são os bruno-não-cálcicos, litólicos, podzólicos eutróficos, terras roxas estruturadas, cambissolos e planossolos.

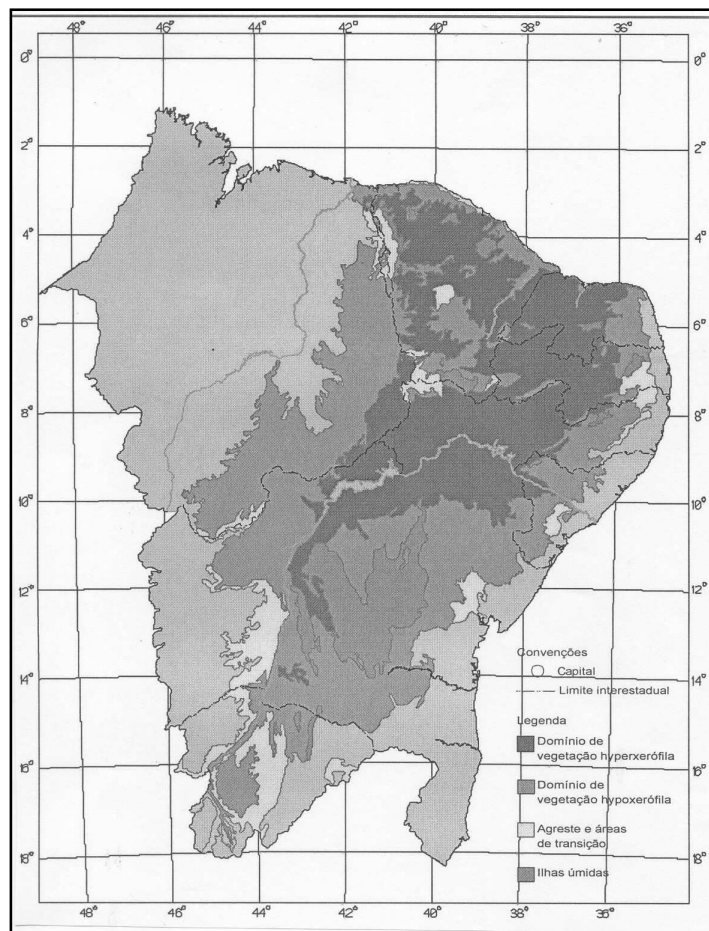


Fig. 7.5. Grandes domínios fisionômicos do semi-árido.

Como todo e qualquer bioma, a caatinga (apesar da discriminação e carência de estudos e investigações pela maioria dos pesquisadores e profissionais brasileiros envolvidos em Programas de Recuperação de Áreas Degradadas - PRADs), também possui o seu potencial de regeneração natural e/ou de utilização de tecnologias adaptadas para a revegetação de suas áreas degradadas, que devem seguir as mesmas estratégias indicadas para os outros biomas nacionais: ou seja; as equipes interdisciplinares devem propor e executar a metodologia que melhor se enquadra nas exigências ecológicas, sociais e econômicas da região. É importante frisar que, na Recuperação de Áreas Degradadas, a metodologia principal é aquela em que as espécies utilizadas estejam em conformidade com o ambiente e que as práticas e os manejos envolvidos prezem, principalmente, a matéria orgânica do solo e a manutenção da água no ecossistema, o que facilita e resulta em baixos valores de entropia no sistema. Outra observação importante é a interação dos ecossistemas. Além do entendimento das áreas degradadas é necessário considerar as implicações das áreas de entorno sobre aquelas degradadas e vice-versa.

7.7. RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS DEGRADADAS

Como discutido no capítulo 1, o Projeto de Avaliação Mundial da Degradação dos Solos do PNUD, estima que o superpastejo seja o principal fator da degradação dos solos no mundo, com um percentual de 34,5% na participação das pastagens nas áreas mundiais degradadas.

O Brasil é um país onde a atividade pecuária é extremamente importante tanto para a economia interna como para gerar divisas ao país com a exportação dos seus produtos. É o maior exportador de carne bovina do mundo e também o segundo maior produtor de bovinos. A área brasileira ocupada por pastagens corresponde a 20% do território nacional e 70% das áreas destinadas à produção agropecuária estão ocupadas com pastagens. Estima-se que 75% das áreas de pastos no Brasil estão degradadas e o restante em vias de degradação. Estes números por si só, já interpretam a importância desta atividade econômica para o país e a dura realidade dos estágios de degradação dos solos sob esta carga animal.

Segundo a Scot Consultoria (GAZETA MERCANTIL, 2008), o Brasil possui 176,46 milhões de ha de áreas de pastagens e um rebanho bovino estimado em 201 milhões de bovinos. Esta área é menor do que o registrado no início deste novo século (2001) que era de 179,20 milhões de ha. De 2001 pra cá, a queda da área de pastagem no País foi de 1,53%. Acredita-se que os 2,74 milhões de ha perdidos tenham sido incorporados pela agricultura (grãos ou cana-de-açúcar dependendo do Estado). Neste mesmo período, o rebanho bovino brasileiro aumentou em 13,96%. Isto indica que o rebanho brasileiro está ganhando em produtividade. No início da década, por exemplo, cada hectare era ocupado em média por 0,98 animais. Hoje, quando se divide o tamanho do rebanho pela quantidade de pasto disponível chega-se a 1,13 bois por hectare.

Em sistemas de produção animal sob pastejo, a base da alimentação são as pastagens. Na pecuária de corte, onde esses sistemas de criação são adotados, as pastagens representam um patrimônio que deve ser preservado, a fim de assegurar a economicidade do sistema de produção.

No Brasil têm sido verificados índices zootécnicos médios bem abaixo do potencial do rebanho bovino utilizado nestes sistemas de produção de carne em pastagens. Foram observadas produções de 64 kg de carne/ha/ano (EUCLIDES FILHO, 2001), idade de abate de 48 meses e taxa de lotação de 0,9 animais/ha (ZIMMER & EUCLIDES FILHO, 1997). Todavia a exploração mais intensiva e tecnificada das pastagens no Brasil permite atingir, seguramente, 1.500 kg de carne/ha/ano (FERNANDES *et al.*, 2002), idade ao abate de 30 meses e rendimento de carcaça de 55% (ZIMMER & EUCLIDES FILHO, 1997). A adoção das tecnologias já geradas e testadas com sucesso no País mostra que com apenas uma pequena incorporação de técnicas de melhoramento do manejo das pastagens, porém sem muito investimento em adubação, a densidade animal por hectare passaria de 0,7 U.A., sendo que 1 U.A. (Unidade Animal) equivalem a 450 kg de peso vivo ou 30 arrobas (onde 1 @ = 15 kg), para 1,0 U.A./ha. Somente com esse pequeno salto tecnológico o rebanho brasileiro aumentaria em 43% na mesma área. Hoje no País, já existem tecnologias que permitem alcançar lotações acima de 8 U.A./ha. Na atualidade o uso dessas técnicas, de forma maciça, não se justifica, pois o mercado mundial não absorveria tanta carne. Mas para se ter uma noção de potencial, se o Brasil chegasse a uma taxa média de lotação de 6 U.A./ha, caberia em nossos 200 milhões de hectares de pastos, todo o rebanho bovino do mundo, sem aumentar um centímetro sequer das áreas de pastagens do País. Melhor ainda, basta o País atingir 3 U.A./ha para liberar (sem perder o tamanho de seu rebanho) 75% das áreas de pastagens para serem utilizadas com atividades ligadas ao setor agrícola (alimentos e bio-combustíveis) e ao setor florestal (celulose, papel e bio-energia), até o ano de 2050, sem também ser necessário aumentar a fronteira agrícola nacional.

Apesar do quadro desolador da degradação das áreas de pastagem, algumas poucas áreas de pasto no Brasil estão sendo mantidas graças ao uso de algumas tecnologias estudadas e desenvolvidas para as condições nacionais. Dentre estas tecnologias, citam-se os sistemas Integração Lavoura-Pecuária (ILP).

A ILP é uma alternativa viável para resolver a questão da degradação das pastagens nos solos tropicais e sub-tropicais. Uma dessas tecnologias foi criada há 17 anos pela EMBRAPA na Fazenda Barreirão em Tocantins e foi gerada em função da busca do equilíbrio econômico e ambiental visando manter uma pastagem de boa qualidade.

A recuperação de áreas de pastagens degradadas pode ser realizada de forma direta ou indireta, como mostra a Fig. 7.6. A escolha do sistema vai depender de um conjunto de condições do solo e do ambiente nos locais a ser implantado.

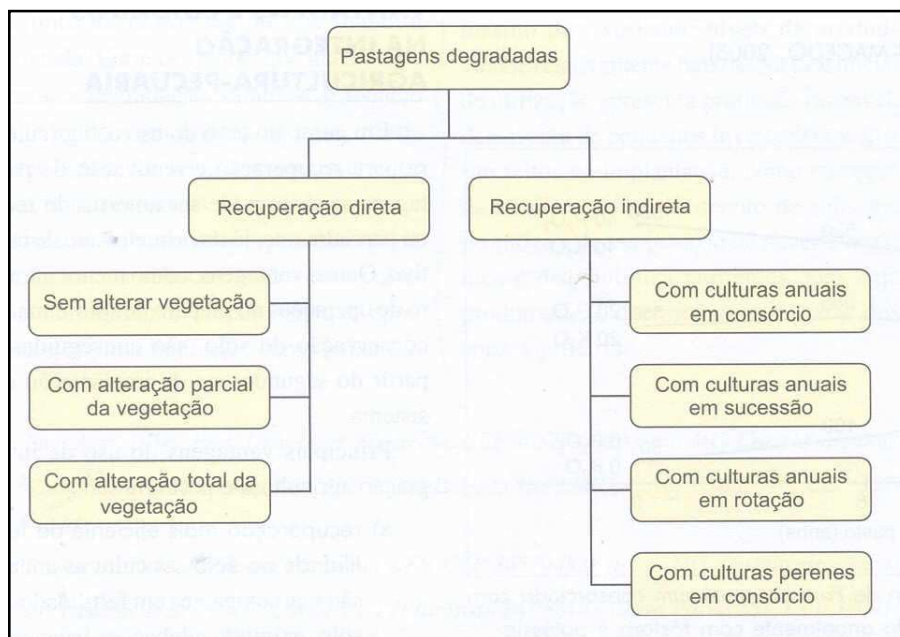


Fig. 7.6. Métodos de recuperação de pastagens degradadas.

7.7.1. DEGRADAÇÃO DAS PASTAGENS

Entende-se por degradação de pastagens o processo evolutivo da perda de vigor, de produtividade, de capacidade de recuperação natural das mesmas para sustentar níveis de produção e qualidade exigidos pelos animais, assim como, o de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e invasoras, culminando com a degradação avançada dos recursos naturais, em razão de manejos inadequados. Nota-se que este conceito é um conceito eminentemente zootécnico, direcionado a atividade fim da pastagem que é a alimentação do animal em sua biomassa. Na verdade, a raiz da questão reside no empobrecimento físico, químico e biológico do solo, pois a perda de funções básicas do solo e o não acúmulo de carbono no sistema levam a deteriorização da pastagem e conseqüentemente a diminuição dos índices zootécnicos anteriormente comentados. Logo, o conceito de degradação é dinâmico e é caracterizado por um conjunto de fatores que agem de maneira associada. A degradação pode ser reduzida ou agravada pelas práticas de manejo. Logo, a degradação das pastagens está quase que invariavelmente ligada à degradação dos solos, que, por sua vez, tem a ver com lotações excessivas e ininterruptas de animais na área.

Muitas vezes, a compactação do solo é largamente considerada como um dos principais fatores para a degradação das pastagens. Essa afirmação é um mito que deve ser derrubado urgentemente em benefício da pecuária. Na verdade, o principal efeito provocado pelos animais na pastagem é o da desfolhação, que reduz a área foliar, com conseqüências sobre os carboidratos de reserva, perfilhamento, crescimento das raízes e de novas folhas.

A principal causa de degradação da pastagem é o empobrecimento do solo, em razão do esgotamento de nutrientes perdidos no processo produtivo, por exportação no

corpo dos animais, erosão, lixiviação, volatilização, fixação e acúmulo nos malhadores e que não foram repostos ao longo dos anos de exploração (Tabela. 7.5). O somatório dessas perdas pode chegar a mais de 40% do total de nutrientes absorvidos pela pastagem em um ano de crescimento, o que provoca um empobrecimento contínuo do solo e a redução do crescimento das pastagens, a uma taxa de aproximadamente 6% ao ano (MARTINS *et al.*, 1996).

Tabela 7.5. Perdas de nutrientes em pastagens que podem ocorrer anualmente

Perda	Nutriente		
	N (%)	P (%)	K (%)
Retido no corpo do animal	9	10	1
Acúmulo no malhador (15% do tempo)	11	12	13
Erosão superficial	3	15	3
Volatilização	15	0	0
Fixação em argila e matéria orgânica (MO)	0	19	0
Lixiviação	5	0	0
Total de perdas por ano	43	56	17

FONTE: MARTINS *et al.*, (1996).

Algumas forrageiras ficam degradadas mais rapidamente, porque foram formadas com forrageiras não adaptadas às condições de solo e clima do local ou com forrageiras de hábito de crescimento inadequado ao relevo da área. São exemplos disto, no primeiro caso, o plantio de espécies de alta exigência nutricional em solos ácidos, de baixa fertilidade e, no segundo caso, o plantio de forrageiras cespitosas (que formam touceiras) em áreas de declividades acentuadas. Neste último caso, mesmo que a fertilidade do solo seja compatível com as exigências da forrageira, o solo estará sujeito à erosão e poderá perder a sua fertilidade, a não ser que o estabelecimento e o manejo da pastagem sejam muito bem conduzidos.

Na prática, com base na vivência sobre o potencial produtivo de uma dada forrageira, o estado de degradação da pastagem segundo VIEIRA & KICHEL (1995), pode ser facilmente avaliado pela observação de algumas características como:

- Disponibilidade de forragem: pastos baixos com escasso material disponível;
- Capacidade de rebrota: produção de matéria seca (MS) não reage à vedação prolongada, mesmo em condições favoráveis de clima;
- Cobertura vegetal: fraca com muitos espaços vazios;
- Lotação: muito baixa para o potencial da forrageira;
- Ganho de peso dos animais: abaixo do possível para a categoria;
- Invasoras e pragas: surgimento eventual (efeito estético e/ou competitivo);
- Características físicas e químicas do solo: compactação, sinais de erosão e deficiências minerais.

A Figura 7.7 sintetiza as etapas da degradação do solo sob pastagem.

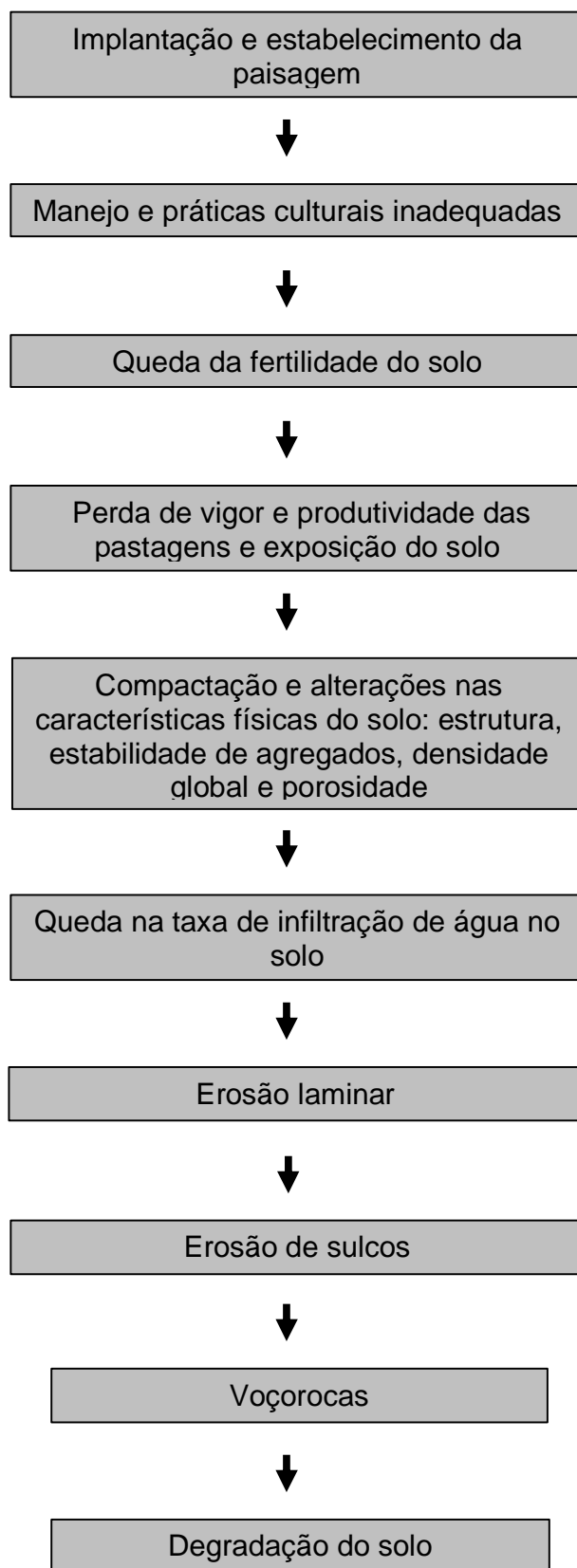


Fig.7.7. Sequência típica de um processo de degradação da pastagem e conseqüentemente do solo:

7.7.2. COMO IMPLANTAR UM SISTEMA ILP

Existem diferentes sistemas de ILP que podem ser utilizados em situações diversas, dependendo das condições técnicas e financeiras das propriedades que trabalham com a pecuária. As alternativas de ILP, disponibilizadas para os produtores rurais e avaliadas por estes, dizem respeito ao consórcio, rotação e sucessão de culturas anuais com forrageiras.

Alguns sistemas ILP trabalham com lavoura no período da safra de verão e produzem forragem, associada ou não com a lavoura para a produção de bovinos de corte durante a entressafra de grãos. Neste sistema poderia ser plantado milho na safra, com o capim sendo introduzido no plantio, durante a adubação de cobertura ou após a colheita do milho. Poderia ser utilizada também a cultura da soja em substituição à cultura do milho.

Outra forma de ILP muito utilizada é a sucessão de culturas anuais (milho, soja) por gramíneas forrageiras, por períodos mais longos. Neste caso, a pastagem permanece na área por dois anos, quando retorna o plantio de grãos. Um exemplo desse sistema pode ser observado na Fig. 7.8. No primeiro ano, a pastagem degradada é substituída por soja em plantio de verão (safra). No segundo ano, planta-se milho associado ao capim, mantendo-se o capim no sistema de produção pecuária por dois anos. Após dois anos de produção de forragem, volta-se a realizar continuamente o sistema, de maneira que sempre 50% da área esteja ocupada com lavoura.

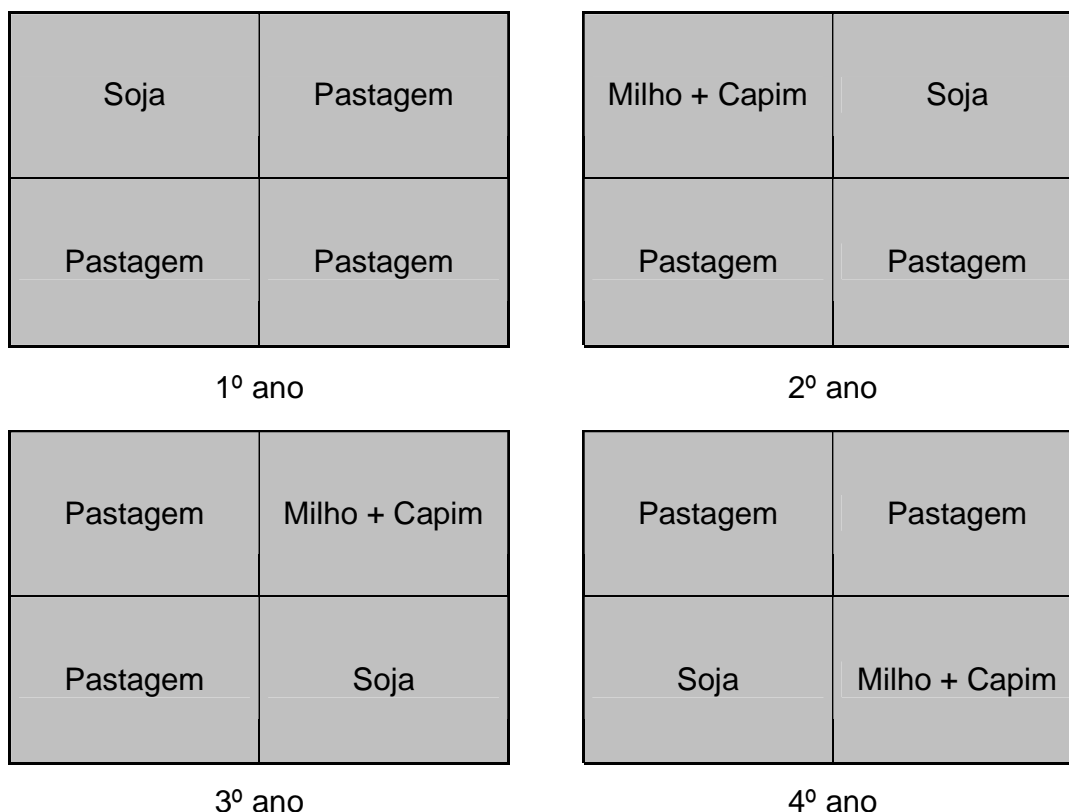


Fig. 7.8. Esquema de Integração Lavoura-Pecuária

Esse processo promove o aumento na produção animal, quebra o ciclo de pragas e doenças e diminui o custo de produção de grãos por meio de menores gastos com inseticidas e herbicidas.

Quando se realiza ILP, utilizando a pastagem somente na entressafra, após a colheita dos grãos é necessário que seja realizado um período de vedação da pastagem de 30 a 45 dias. Esse período permite o término da formação da pastagem e garante acúmulo de forragem para ser utilizada na produção pecuária. Neste sistema é possível a produção de 6 a 7 t/ha de MS, produção suficiente para manter uma taxa de lotação de 1,5 U.A./ha, durante o período da entressafra (de abril ao início de setembro na região sudeste e centro-oeste), respeitando a oferta de forragem de 6%. O período de pastejo deve ser paralisado no início de setembro, para que sejam iniciadas as atividades para o plantio da safra de verão.

Em resumo, a Integração Lavoura-Pecuária permite diversos arranjos que incluem a rotação entre culturas e pastos, a sucessão, em que o pasto é estabelecido após a lavoura e o plantio em consórcio, simultaneamente ou com o pasto plantado alguns dias após a semeadura da lavoura. As prioridades do produtor é que vão determinar a melhor alternativa em cada caso. Embora a ILP traga algumas dificuldades na sua utilização pelo pecuarista, como a exigência de máquinas, equipamentos e o conhecimento para o cultivo agrícola, a ILP pode ser adotada facilmente por aqueles que praticam as duas atividades. As dificuldades de acesso às máquinas de plantio podem ser superadas por prestadores de serviços (aluguel de máquinas) ou por parcerias entre o pecuarista e o agricultor.

Com relação aos consórcios, os Sistemas Barreirão e Santa Fé tornaram-se grandes ferramentas da ILP. No Sistema Barreirão, objetiva-se, fundamentalmente, recuperar/renovar pastagens degradadas com práticas fundamentadas no consórcio de culturas anuais com forrageiras, na redução de riscos climáticos inerentes à cultura e na correção, pelo menos parcial, das limitações físico-químicas do solo. O Sistema Santa Fé consiste na produção consorciada de gramíneas com forrageiras tropicais, tanto no Sistema de Plantio Direto (SPD), como no convencional, em áreas de lavoura, com solo parcial ou devidamente corrigido, objetivando produzir forrageira na entressafra e/ou palhada para o SPD, no ano agrícola subsequente. Além dos consórcios, a rotação pecuária-lavoura e a sucessão lavoura anual-forrageira anual têm-se apresentado como promissoras opções da ILP.

As Tabelas 7.6 e 7.7 mostram o potencial de adaptação de gramíneas e leguminosas forrageiras às condições de fertilidade do solo e saturação por bases (V). Estas espécies são usadas freqüentemente nos programas de recuperação de pastos degradados preconizados pelo Sistema Embrapa de Pesquisa e pelos Sistemas Estaduais de Pesquisa espalhados por todo o País.

Tabela 7.6: Potencial de adaptação de gramíneas forrageiras às condições de fertilidade do solo e saturação por bases (V).

Espécie	Grau de adaptação à baixa fertilidade	V (%)
<i>Andropogon gayanus</i> cvs. Planaltina e Baeti	Alto	30 a 35
<i>Brachiaria decumbens</i>	Alto	30 a 35
<i>B. humidicola</i>	Alto	30 a 35
<i>B. ruziziensis</i>	Médio	30 a 35
<i>Paspalum atratum</i> cv. Pojuca	Médio	30 a 35
<i>Hyparrhenia rufa</i> (capim-Jaraguá)	Baixo e médio	40 a 45
<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Baixo	40 a 45
<i>Setaria anceps</i>	Baixo	40 a 45
<i>Panicum maximum</i> cv. Vencedor	Baixo	40 a 45
<i>P. maximum</i> cv. Centenário	Baixo	40 a 45
<i>P. maximum</i> cv. Colônia	Muito baixo	40 a 45
<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia-1	Muito baixo	40 a 45
<i>P. maximum</i> cv. Tobiata	Muito baixo	40 a 45
<i>P. maximum</i> cv. Mombaça	Muito baixo	50 a 60
<i>Penisetum purpureum</i> (Elefante, Napier)	Muito baixo	50 a 60
Coast-cross, Tifton	Muito baixo	50 a 60

FONTE: Vilela et al. (2000).

Tabela 7.6. Potencial de adaptação de leguminosas forrageiras às condições de fertilidade do solo e saturação por bases (V).

Espécie	Grau de adaptação à baixa fertilidade	V (%)
<i>Stylosanthes guianensis</i> cv. Mineirão	Alto	30 a 35
<i>S. guianensis</i> cv. Bandeirante	Alto	30 a 35
<i>S. macrocephala</i> cv. Pioneiro	Alto	30 a 35
<i>Estilosantes</i> cv. Campo Grande	Alto	30 a 35
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Alto	30 a 35
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Alto	30 a 35
Amendoim forrageiro (<i>Arachis pintoi</i> cv. Amarillo)	Médio e alto	35 a 40
Leucena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	Muito alto	45 a 50
Soja perene (<i>Neonotonia wightii</i>)	Baixo	45 a 50

FONTE: Vilela et al. (2000).

Para que ocorra o sucesso da aplicação de qualquer sistema ILP, deve-se observar a melhor adequação dos fatores que interagem no sistema solo-planta-animal, pois os sistemas de produção animal integrados com agricultura são complexos, uma vez que, além do solo e da planta (pastagem e lavoura), existe a presença do animal (Fig. 7.9).

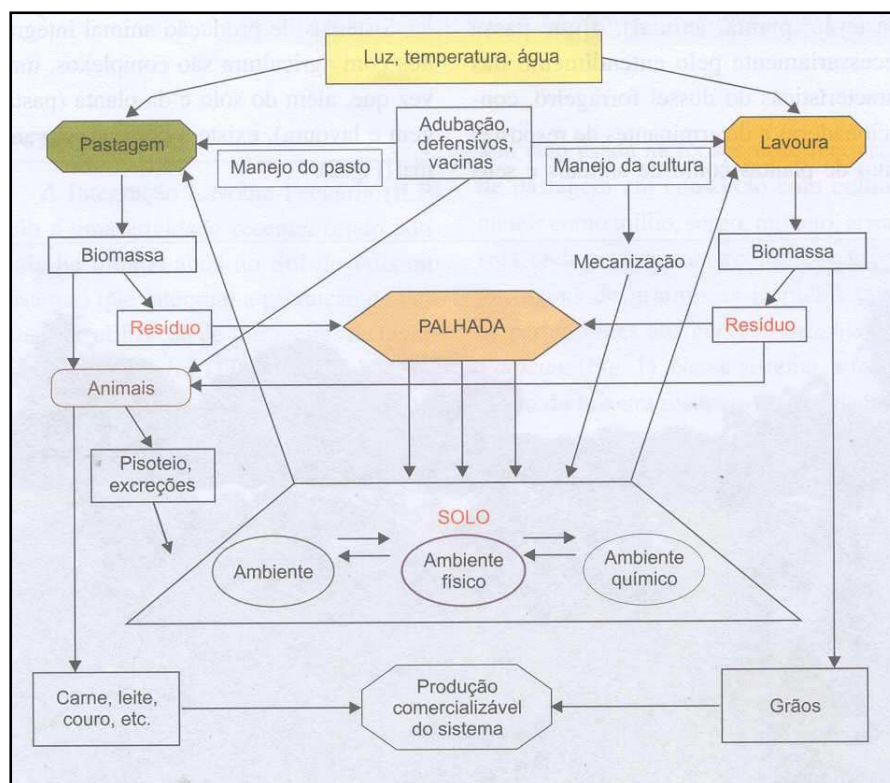


Fig. 7.9: Diagrama das inter-relações observadas em sistema de Integração Lavoura-Pecuária
Fonte: ALVES *et al.* (2007).

7.7.2.1 VANTAGENS E CUIDADOS NA INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA

Em geral, no caso do uso da agricultura para a recuperação e renovação de pastagens, o custo pode ser amortizado total ou parcialmente, já no primeiro ano de cultivo. Outras vantagens, como o menor número de operações no preparo do solo, são conseguidas a partir do segundo ano de implantação do sistema. As principais vantagens do uso da integração agricultura e pecuária são:

- Recuperação mais eficiente da fertilidade do solo: as culturas anuais são mais exigentes em fertilidade do solo, exigindo adubações balanceadas;
- Facilidade de aplicação de práticas de conservação do solo: esta é uma prática corriqueira entre os agricultores;
- Recuperação da pastagem com custos mais baixos: o lucro obtido com a cultura amortiza os gastos da implantação de forrageira;
- Melhoria das propriedades físicas químicas e biológicas do solo: com a rotação lavoura-pasto, evita-se a monocultura, eliminando-se camadas compactadas, há

- incorporações de resíduos animais (esterco e urina), raízes, palhada e forrageira, estimulando-se a vida no solo pelo incremento de matéria orgânica;
- e) Controle de pragas, doenças e plantas daninhas: pela quebra do ciclo de pragas e doenças;
 - f) Aproveitamento do adubo residual: parte do fertilizante aplicado à cultura permanece no solo, sendo depois aproveitado pela forrageira;
 - g) Aumento da produtividade do negócio agropecuário, tornando-se sustentável em termos econômicos e agroecológicos.

O produtor ou pecuarista deve estar atento a alguns problemas que ocorrem na implantação de pastagens em consórcios com culturas anuais. O estabelecimento da forrageira em consórcio ocorre sob condições de competição, principalmente no cultivo simultâneo. Neste caso, torna-se necessário um grande conhecimento sobre o sistema que se deseja implantar, principalmente no que diz respeito à escolha das espécies a serem utilizadas no consórcio e do correto manejo a ser utilizado no sistema.

Finalizando, a adoção dos sistemas de ILP na recuperação de áreas de pastagens degradadas, gera impactos ambientais positivos, equivalentes a serviços ambientais, resultados deste inovador processo de produção agropecuário.

7.8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER, A. N. O domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileiras. **Geomorfologia**, São Paulo, v. 43, p. 1-37, 1974.
- ALAVALAPATI, J. R. R.; MERCER, D. E. (Ed.). Valuing agroforestry systems: methods and applications. Dordrecht: Kluwer, 2004. 314 p. (**Advances in Agroforestry**, 2).
- ANDRADE-LIMA, D. de. The caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica**. São Paulo, v.4, p. 149-153, 1981.
- BALIEIRO, F. C.; PEREIRA M.G.; FRANCO, A. A.; ALVES, B. J. R.; RESENDE, A.S. Soil carbon and nitrogen in afforested pasture with eucalyptus and guachapele. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1253-1260, 2008.
- BARBOSA, L. M. Implantação de mata ciliar. In: **Simpósio mata ciliar: Ciência e Tecnologia**, 1999, Belo Horizonte. Trabalhos. P. 11-35.
- BAWA, K. S.; PERRY, D. R.; GRAYUM, M. H. & COVILLE, R. E., 1985. Reproductive biology of tropical lowland rain forest trees. In: Pollination systems. **American Journal of Botany**. 72: 346-356.
- BRIENZA JR., S., VIELHAUFER, K., VLEK, P.L.G. Enriquecimento de capoeira; mudando a agricultura migratória na Amazônia oriental brasileira. In: **Recuperação de Áreas Degradadas**. DIAS, L.E., MELLO, J.W.V. (Ed.). Viçosa: UFV – Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, p: 177-182, 1998.
- BUCK, L.E.; LASSOIE, J.P.; FERNADES, E.C.M. 1998. Agroforestry in sustainable agriculture systems. Florida, **Lewis Publishers**, 416p.
- BUDOWSKI, G. Distribution of tropical American rainforest species in the light of sucessional process. **Turrialba**, v.5, n.1, p.40-42, jan/mar. 1965.
- CAMPELLO, E.F.C. 1998. Sucessão vegetal na recuperação de áreas degradadas. In: **Recuperação de Áreas degradadas**. DIAS, L.E.; MELLO, J.W.V. (eds.) Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, p: 181-196.

- COSTA, L. G. S. Estrutura e dinâmica de trecho de mata mesófila semi-decídua, na Estação Ecológica de Ibicatu, Piracicaba, SP. **Dissertação de Mestrado**, IB/SP, São Paulo, 186p. 1992.
- CHAPIN III, F.S., WALKER, B.H., HOBBS, R.J., HOOPER, D.U., LAWTON, J.H., SALA, O.E., TILMAN, D. Biotic control over the functioning of ecosystems. **Science**, 277: 500-504, 1997.
- COUTO, L.; DANIEL, O.; GARCIA, R.; BOWERS, W.; DUBÉ, F. 1998. Sistemas agroflorestais com eucalipto no Brasil: uma visão geral. Viçosa: SIF, 49p. (**Documentos SIF, 17**)
- DIAS, L.E.; FRANCO, A.A.; CAMPELLO, E.F.C. 1994. Dinâmica de matéria orgânica e de nutrientes em solo degradado pela extração de bauxita e cultivado com *Acacia mangium* e *Eucaliptus pellita*. In: **SIMPÓSIO SUL-AMERICANO e SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS**, 2, Foz do Iguaçu, Anais... Foz do Iguaçu: s.ed., p.145-153.
- DUBÉ, F.; COUTO, L.; GARCIA, R.; ARAÚJO, G.A.A.; LEITE, H.G.; SILVA, M.L. 2000. Avaliação econômica de um sistema agroflorestal com Eucalipto sp. no nordeste de MG: o caso da Companhia Mineira de Metais. **Rev. Árvore**, 24: 437-444.
- DUBOIS, J.C.L. 1998. Sistemas agroflorestais para a região da Mata Atlântica no Rio de Janeiro. In: **Seminário Estadual sobre a Mata Atlântica**, I, Anais... Nova Friburgo, RJ.
- DUQUE, J. G. **Solo e água no polígono das secas**. 4. Ed. Fortaleza: DNOCS, 1973. 233 p. II. (DNOCS, Publicação, 154).
- EGLER, W. A. Contribuição ao estudo da caatinga pernambucana. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 13, p. 65-77, 1951.
- ESTRADA, A. & FLEMING, T. H. 1986. Frugivores and seed dispersal. **Junk, W. publish**. The Hague. 346p.
- EUCLIDES FILHO, K. Produção de carne em pastagens. In: **Simpósio sobre manejo de pastagem**, 18., 2001, Piracicaba. Anais... Planejamento de sistemas de produção em pastagem. Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 321-349.
- FERNANDES, L. de O.; CAVALLARI, C. H.; MENDONÇA, F. L. de.; LANDIN, V. J. C.; SILVA, A. M. da & PAIVA, D. C. de. Avaliação do desempenho dos bovinos da raça nelore em diferentes gramíneas associadas ou não ao sorgo AG 2501 no processo

- de renovação de pastagem. In: **Congresso Brasileiro das Raças Zebuínas**, 5.; 2002, Uberaba: ABCZ, 2002. p. 345-347.
- FRANCO, A. A. & FARIA, S. M. The contribution of N₂-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. **Soil Biol. Biochem.**, Vol. 29, nº 5/6, pp. 897-903, 1997.
- FRANCO, A.A. & BALIEIRO, F.C. 2000. The role of biological nitrogen fixation in land reclamation, agroecology and sustainability of tropical agriculture. In: **Transition to global sustainability – The Contribution of Brazilian Science**, ROCHA-MIRANDA, C.E. (ed.). Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, p.:209-233.
- FRANCO, A.A.; CAMPELLO E.F.; SILVA, E.M.R.; et al. Revegetação de solos degradados. **Série Comunicado Técnico**, nº. 09. EMBRAPA-CNPAB, Seropédica, 9 p. 1992.
- GAMA-RODRIGUES, A.C. da; BARROS, N.F. de. Biomassa e nutrientes da serapilheira e do solo sob plantios puros e mistos de espécies florestais nativas do sudeste da Bahia, Brasil. (compact disc). In: **XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Rio de Janeiro**, 1997: SBCS, 1977.
- GILLER, K.E.; WILSON, K.J. 1991. Nitrogen fixation in tropical cropping systems. Wiltshire: **CAB**. International, 313p.
- HUECK, K. **As florestas da América do Sul**: ecologia, composição e importância econômica. São Paulo: Polígono, 1972. 466p.
- JARDINS, F.C.S., VOLPATO, M.M.L., SOUZA, A.L. Dinâmica de sucessão natural em clareiras de florestas nativas. Viçosa: **Sociedade de Investigações Florestais**, 1993, 60p.
- KAGEYAMA, P.Y. & CASTRO, C.F.A. Sucessão secundária estrutura genética e plantações e de espécies arbóreas nativas. **Série Técnica IPEF**, n. 41/42, p. 83-93, 1989.
- KAGEYAMA, P.Y.; GANDARA, F.B. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (Ed.). **Matas ciliares**. São Paulo: EDUSP, 2000. cap. 15.2, p. 249-269.
- KRISCHER, J. A. Neotropical companion: an introduction to the animals, plants and ecosystems of the New World Tropics. **Princeton University Press**. Princeton. 1997, 451 p.

- MARTINS, O. C.; VIVIANE, C. A.; BORGES, F.G. & LIMA, R.O. Causas da degradação das pastagens e retabilidade econômica das pastagens corretamente adubadas. In: **Congresso Brasileiro das Raças Zebuínas**, 2., 1996, Uberaba. Anais... Uberaba: ABCZ, 1996. p. 75-83.
- MÜLLER, M. W.; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; BRANDÃO, I. C. S. F. L.; SERÔDIO, M. H. de C. F. (Ed.). Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: sustento da vida e sustento de vida. Ilhéus: **Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais**: Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira; Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2004. 292 p.
- NAIR, P. K. R. Classification of agroforestry systems. In: MacDICKEN, K.G.; VERGARA, N.T. (Eds.). **Agroforestry**: Classification and management, New York: Wiley Interscience, 1990. 382 p.
- NAIR, P.K.R. 1993. An introduction to agroforest. **Kluwer Academic Publisher, Netherlands**, 499p.
- OLIVEIRA, R.J. Dinâmica de plântulas e estrutura da Mata Atlântica secundária de encosta, Peruíbe, SP. 1999. 125p. **Dissertação (Mestrado – Área de Ecologia)** – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- REIS, L. L. Sistema de Agricultura Migratória na Região Serrana do Rio de Janeiro: Aplicação de Indicadores de Sustentabilidade. Seropédica: UFRRJ, 2002, 113 f. **Tese (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo)**, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2002.
- REDENTE, E., McLENDON, T., DEPUIT, E.J. Manipulation of vegetation community dynamics for degraded land rehabilitation. In: **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Florestal**, I. Belo Horizonte, Anais..., Viçosa, MG: SIF, 1993, p.: 265-2778. (tradução)
- REIS, A. Manejo e conservação das florestas catarinenses. 1993. Trabalho apresentado para o curso de professor titular. UFSC, Florianópolis, SC.
- REIS, L.L. Monitoramento da recuperação de ambiental de áreas de mineração de bauxita na Floresta Nacional de Sacará-Taquera, Porto Trombetas (PA). Seropédica: UFRRJ, 2006. 159p. (**Tese de PhD. em Agronomia-Ciência do Solo**)
- RESENDE, M. N. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n.128, p. 3-18, 1985.

- RESENDE, A.S., MACEDO, M., CAMPELLO, E.F.C., FRANCO, A.A. Recuperação de áreas degradadas através da reengenharia ecológica. In: **Dimensões humanas da biodiversidade**, GARAY, I., BEKER, B. (Org.). Petrópolis: Editora Vozes, 2006, p.315-340.
- RODRIGUES, R. GANDOLF, S. Restauração de florestas tropicais: subsídios para uma definição metodológica e indicadores de avaliação e monitoramento. In: **Recuperação de Áreas Degradadas**. DIAS, L.E., MELLO, J.W.V. (Ed.). Viçosa: UFV – Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, p: 203-215, 1998
- ROSCOE, R., BUURMAN, P., VELTHORST, E.J., PEREIRA, J.A.A. Effects of fire on soil organic matter in a “cerrado sensu-stricto” from Southeast Brazil as revealed by changes in $\delta^{13}\text{C}$. **Geoderma**, 95:141-160, 2000.
- RODAL, M. J. N. **Fitossociologia da vegetação arbustivo-arbórea em quatro áreas de caatinga em Pernambuco**. 1992. 224 f. Tese (Doutorado) – UNICAMP, Campinas.
- SZOTT, L.T.; FERNANDES, E.C.M.; SANCHES, P.A. Soil-plant interactions in agroforestry systems. **Forest Ecology and Management**, v.45, p.127-152, 1991.
- TARRÉ, R., MACEDO, R., CANTARUTTI, R.B., REZENDE, C.P., PEREIRA, J.M., FERREIRA, E., ALVES, B.J.R., URQUIAGA, S., BODDEY, R.M., The effects of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under brachiaria pasture in the Atlantic Forest region of the south of Bahia, Brazil. **Plant and Soil**, 234:15-26, 2001.
- UHL, C., KAUFFMAN, J.B., SILVA, E.D. Os caminhos do fogo na Amazônia. **Ciência Hoje**, v.11, n. 65: 24-32, 1990.
- UHL, C. & CLARK, K. Seed ecology of selected Amazon basin successional species emphasizing forest seed banks, seed longevity and seed germination triggers. **Georgia**, Athens, University of Georgia, 1982, 22p.
- VANDENBELDT, R.J. 1990. Agroforestry in semiarid tropics. In: **Agroforestry: classification and management**, MacDICKEN, K.G., VERGATA, N.T. (Editores). Toronto, John Wiley & sons, p:150-194.
- VAZ da SILVA, P.P. Sistemas Agroflorestais como opção de manejo para microbacias. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.21, n.207, p.75-81, Nov./dez. 2000.
- VAZ da SILVA, P.P. Sistemas Agroflorestais para a Recuperação de Matas Ciliares em Piracicaba, SP. Piracicaba, 2002. 98 p. **Dissertação (Mestrado)** – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

- VIEIRA, J. M. & KICHEL, A. N. Estabelecimento e recuperação de pastagens de *Panicum maximum*. In: **Simpósio sobre Manejo de Pastagens**, 12., 1995, Piracicaba. Anais... Piracicaba:FEALQ, 1995. p. 147-196.
- WHITMORE, T.C. Secondary succession from seed in tropical rain forest. **Forestry Abstracts**, v.44: 767-779, 1983.
- TILMAN, D. Biodiversity: population versus ecosystem stability. **Ecology**, v.77: 350-363, 1996.
- ZIMMER, A.H. & EUCLIDES FILHO, K. As pastagens e a pecuária de corte brasileira. In: **Simpósio Internacional sobre Produção Animal em Pastejo**, Viçosa, MG. Anais... Viçosa, MG: UFV, 1997. p. 349-380.

Capítulo 8

MONITORAMENTO DE ÁREAS RECUPERADAS OU EM RECUPERAÇÃO

Guilherme Montandon Chaer

8.1. INTRODUÇÃO

A melhoria contínua da qualidade do solo ou substrato de áreas degradadas sob processo de recuperação é fator essencial para promover a manutenção do crescimento vegetal, restabelecimento dos mecanismos de sucessão ecológica e aumento da biodiversidade. Desse modo, o monitoramento da qualidade do solo/substrato assume grande importância nos programas de recuperação de áreas degradadas, tendo em vista a necessidade de verificação da eficiência das intervenções propostas em propiciar a melhoria das funções produtivas e ambientais do solo. A avaliação da qualidade do solo é feita pela seleção e análise de um conjunto de indicadores os quais podem incluir características físicas, químicas ou biológicas do solo. A escolha de um método adequado para a análise de dados resultantes da análise dos indicadores é fundamental para identificar mudanças qualitativas no solo resultantes dos processos de intervenção. De modo geral, sugere-se o uso de métodos integrativos que permitem a análise conjunta dos indicadores e maior facilidade na interpretação dos resultados. As duas principais estratégias usadas são a (i) análise dos dados por meio de ordenações multivariadas ou (ii) por meio de modelos para determinação de índices de qualidade do solo. A seguir são apresentados aspectos relevantes acerca desses métodos e exemplos de como eles podem ser empregados em estudos envolvendo a recuperação de áreas degradadas.

8.2. ÍNDICES DE QUALIDADE DO SOLO

Modelos para o cálculo de índices de qualidade do solo (IQS) evoluíram a partir de modelos desenvolvidos para acessar o potencial produtivo dos solos. Esses modelos usavam uma combinação de informações tanto subjetivas quanto empíricas que relacionavam propriedades do solo com medidas de produtividade. Por exemplo, KINIRY et al. (1983) propuseram um modelo multiplicativo para gerar um índice de produtividade (PI) o qual descrevia o relacionamento entre produtividade vegetal e cinco propriedades do solo:

$$PI = \sum_{i=1}^r (A \times B \times C \times D \times E \times RI)_i \quad (1)$$

onde A , B , C , D e E são os valores de suficiência para água disponível, aeração, densidade do solo, pH e condutividade elétrica e RI é o peso baseado na distribuição de raízes ideal em cada horizonte i do solo. O termo “suficiência” refere-se ao crescimento ótimo da raiz. Assim, esse modelo assume que a produtividade vegetal é primariamente dependente do crescimento ótimo das raízes e que a distribuição vertical das mesmas é geneticamente controlada e totalmente expressa sob condições ótimas de solo. Vários índices de produtividade alternativos foram desenvolvidos pela modificação do conjunto de propriedades e das funções de suficiência propostos por KINIRY et al. (1983) de forma a melhorar o desempenho do modelo para diferentes tipos de solo e sistemas de produção (PIERCE et al., 1983; GALE et al., 1991).

Os modelos de IQS são similares em conceito aos de índice de produtividade, exceto que nos IQS as propriedades do solo representam, além de produtividade, outras funções do solo. Desse modo, um IQS deve representar o desempenho de funções produtivas e ambientais chaves do solo. Algumas funções importantes do solo incluem: o suporte físico para as raízes das plantas; a retenção, suprimento e ciclagem de nutrientes; a retenção e a condutividade de água; o suporte para as cadeias alimentares e a biodiversidade do solo; o tamponamento e filtragem de substâncias tóxicas e o sequestro de carbono (BEZDICEK et al., 1996; DAILY et al., 1997). Uma vez definido o conjunto de indicadores capazes de representar o desempenho dessas funções chaves do solo, o IQS é gerado por meio de um modelo matemático que integra as medidas dos indicadores. O método mais comumente usado para este fim é o aditivo-ponderado (tradução livre de “weight-additive model”) o qual pode ser representado pela seguinte equação:

$$SQI = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \times W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (2)$$

onde n representa o número total de indicadores de qualidade do solo, S_i é o valor da pontuação atribuído ao indicador i , e W_i é o peso do indicador i relativo ao grau de importância desse indicador na qualidade geral do solo. Um dos primeiros proponentes do modelo aditivo-ponderado foram KARLEN & STOTT (1994) os quais designaram um IQS para acessar a capacidade do solo de resistir à erosão pela água. Eles sugeriram que um solo de alta qualidade deveria acomodar a entrada de água, facilitar a transferência e absorção de água, resistir à degradação e sustentar o crescimento vegetal. O método usado para definir um IQS com base nessas quatro funções do solo consiste dos seguintes passos: (i) definição de pesos de importância para cada função

do solo; (ii) definição de um subconjunto de indicadores de qualidade do solo capazes de representar cada função; (iii) definição de pesos para cada indicador de acordo com a sua importância relativa para representar a respectiva função do solo; (iv) pontuação dos valores do indicador e (v) o cálculo do IQS.

KARLEN & STOTT (1994) sugeriram o uso de funções de pontuação padrão não-lineares (SSF – “non-linear standard scoring functions”) descritas por WYMORE (1993) como método para transformar os valores dos indicadores para uma escala normalizada entre zero e um de acordo com a sua adequabilidade em especificar uma função do solo. As SSF são definidas pela seguinte equação:

$$Score(S) = \frac{1}{1 + ((B - L)/(x - L))^{2s(B+x-2L)}} \quad (3)$$

onde x é valor observado do indicador de qualidade do solo; B é o valor da linha base definido como o valor do indicador onde a função pontua 0,5 (ou 50% do limite superior); s é a declividade da tangente da função de pontuação no valor da linha base B , e L é o limite inferior do indicador abaixo do qual ele irá pontuar em zero, se s for positivo, ou em um, se s for negativo (Fig.8.1). Na prática, essa função permite gerar três tipos de curvas sigmóides para pontuar indicadores de qualidade do solo (Fig.8.1). O primeiro tipo (SSF3), comumente chamada de “mais é melhor”, possui o parâmetro s positivo e uma forma que é zero a partir de $-\infty$ até o valor L , aumenta até “um” do ponto L ao ponto U (limite superior), e é “um” a partir desse ponto até ∞ . O segundo tipo (SSF9), denominado “menos é melhor”, possui s negativo e forma inversa à da anterior. O último tipo (SSF5) é uma curva em forma de sino, ou curva de “ótimo”, a qual é formada pela combinação das duas curvas anteriores onde o ponto ótimo “O” corresponde ao limite superior da SSF3 e ao limite inferior da SSF9 (Fig.8.1). KARLEN & STOTT (1994) sugeriram que o tipo e os parâmetros das SSF para cada indicador devem ser definidos a partir de informações de especialistas, ou de bancos de dados específicos.

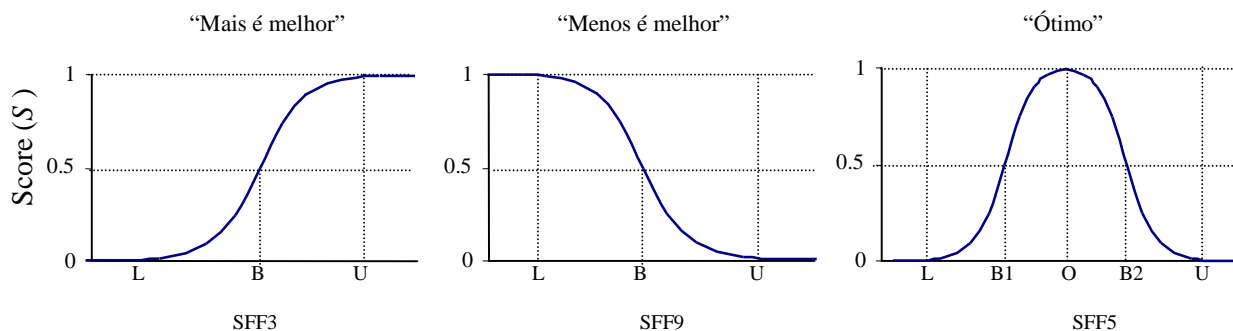


Fig. 8.1. Funções de pontuação não-lineares usadas para ranquear indicadores de qualidade do solo. (L – limite inferior; B – linha base; U – limite superior; O – ótimo). (Adaptado de WYMORE, 1993).

Após a pontuação dos indicadores, o IQS é calculado da seguinte forma (Tabela 8.1): (1) a pontuação de cada indicador (S_i) é multiplicada pelo seu respectivo peso (W_i); (2) os produtos $S_i \times W_i$ de cada indicador (I) representando a respectiva função (F) são somados para produzir a pontuação da função (S_F); (3) as pontuações das funções são multiplicadas pelos seus respectivos pesos (W_F) e (4) os produtos $S_F \times W_F$

somados para produzir o IQS. O IQS pode também ser calculado diretamente por meio da equação 2, se o peso geral correspondente a cada indicador for calculado. Isso pode ser feito simplesmente pela multiplicação do peso atribuído ao indicador pelo peso de sua respectiva função, ou pela soma desses produtos caso o indicador esteja associado a mais de uma função. No entanto, deve ser ressaltado que o cálculo simplificado do IQS suprime a obtenção dos índices de qualidade de cada função o que pode ser indesejável em muitas situações.

Tabela 8.1. Método geral proposto por KARLEN & STOTT (1994) para definir pesos para os indicadores de qualidade e para calcular o IQS.

Função do solo (F)	Pontuação (S _F)	Peso (W _F)	Produto (S _F x W _F)	Indicador (I)	Pontuação (S _I)	Peso (W _I)	Produto (S _I x W _I)
F ₁	S _{F1}	W _{F1}	S _{F1} x W _{F1}	I _{1,F1}	S _{1,F1}	W _{1,F1}	S _{1,F1} x W _{1,F1}
:				:	:	:	:
:				I _{n,F1}	S _{n,F1}	W _{n,F1}	S _{n,F1} x W _{n,F1}
:							Σ = S_{F1}
F _i	S _{Fi}	W _{Fi}	S _{Fi} x W _{Fi}	I _{1,Fi}	S _{1,Fi}	W _{1,Fi}	S _{1,Fi} x W _{1,Fi}
				:	:	:	:
				I _{n,Fi}	S _{n,Fi}	W _{n,Fi}	S _{n,Fi} x W _{n,Fi}
							Σ = S_{Fi}
			Σ = IQS				

Devido à flexibilidade do modelo conceitual proposto por KARLEN & STOTT (1994) o mesmo tem sido aplicado em diversos tipos de solo e sistemas de cultivo para avaliar os efeitos de práticas de manejo sobre a qualidade do solo (KARLEN *et al.*, 1994; HUSSAIN *et al.*, 1999; GLOVER *et al.*, 2000; CHAER, 2001; HUANG *et al.*, 2004; ZHANG e ZHANG, 2005). Por exemplo, CHAER (2001) propôs uma modificação do modelo proposto por KARLEN E STOTT (1994) para quantificar o efeito de diferentes manejos na cultura do eucalipto sobre a qualidade do solo a partir de atributos químicos, físicos, microbiológicos e bioquímicos do solo. A qualidade do solo foi avaliada considerando-se cinco funções do solo relacionadas à sustentabilidade da atividade florestal: (1) receber, armazenar e suprir água; (2) armazenar, suprir e ciclar nutrientes; (3) promover o crescimento das raízes; (4) promover a atividade biológica e (5) manter a homeostase do solo (Tabela 8.2). Cada função foi associada a um conjunto de indicadores de qualidade do solo, selecionados para quantificar a performance da referida função no ambiente. Os valores determinados para cada indicador foram transformados em escores (EI's) por meio de funções de pontuação (WYMORE, 1993) definidas para cada indicador. A Tabela 8.2 apresenta um exemplo de como o modelo foi organizado e como foi feito o cálculo do índice de qualidade. Para facilitar a distribuição dos pesos, alguns indicadores, denominados "indicadores nível 1", foram compostos pela estratificação em "indicador nível 2" (Tabela 8.1). Por exemplo, o indicador nível 1 "nutrientes minerais" foi estratificado nos teores de P, S-SO₄⁼, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ (indicadores nível 2).

Tabela 8.2. Organização estrutural do modelo de cálculo de índice de qualidade do solo (IQS) (KARLEN E STOTT, 1994) adaptado para solos de florestas de eucalipto em Neossolos Quartzarênicos (CHAER, 2001).

Funções	Peso	Score	Valor	Indicadores	Peso	Score	Valor	Indicadores	Peso	Score	Valor
				Nível 1				Nível 2			
1- Receber, armazenar e suprir água	0.2	0.94	0.19	Densidade do solo	0.20	0.99	0.20				
				Matéria orgânica	0.80	0.93	0.75				
							0.94				
2- Promover o crescimento das raízes	0.2	0.80	0.16	Densidade do solo	0.25	0.99	0.25				
				Matéria orgânica	0.25	0.93	0.23				
				Acidez/Toxidez de Al	0.25	0.38	0.09	pH	0.33	0.60	0.20
								H+Al	0.33	0.21	0.07
								Al	0.33	0.31	0.10
											0.38
				Nutrientes minerais	0.25	0.92	0.23	P	0.33	0.99	0.33
								S-SO4-	0.17	1.00	0.17
								K	0.17	0.77	0.13
								Ca	0.17	0.74	0.12
3- Armazenar, suprir e ciclar nutrientes	0.2	0.90	0.18					Mg	0.17	1.00	0.17
							0.80				0.92
				Matéria orgânica	0.13	0.93	0.12				
				P orgânico	0.13	0.97	0.13				
				CTC pH 7 (T)	0.13	0.81	0.11				
				Saturação de bases (V)	0.03	0.19	0.01				
				Saturação de Al (m)	0.03	0.41	0.01				
				Nutrientes na BM	0.27	0.98	0.26	CBM	0.50	0.98	0.49
								NBM	0.50	0.98	0.49
											0.98

A aplicação dos índices de qualidade do solo certamente se apresenta como uma alternativa bastante atraente para o monitoramento da recuperação de solos degradados ou para definição daquelas práticas de recuperação mais eficientes. No entanto, alguns desafios ainda se impõem ao desenvolvimento e uso dessa metodologia. Por exemplo, na maioria dos modelos de IQS, a exemplo daquele proposto por KARLEN E STOTT (1994), são usados critérios arbitrários para selecionar, transformar e pesar os indicadores de qualidade do solo. Apesar de esses parâmetros serem definidos por meio da opinião de especialistas, a falta de critérios objetivos permite a eventual definição de modelos bastante diferentes para avaliar um mesmo solo, com base em razões e julgamentos diferentes.

A alternativa que tem sido sugerida para reduzir a arbitrariedade na seleção de parâmetros em modelos de IQS é o uso da análise de componentes principais (ACP) para selecionar o conjunto mínimo de indicadores a partir de um grande grupo de características do solo, assim como para definir seus respectivos pesos no modelo (BREJDA *et al.*, 2000; ANDREWS e CARROLL, 2001; ANDREWS *et al.*, 2002). Entretanto, os autores enfatizam que o método requer a existência prévia de um extenso banco de dados, incluindo todos os solos considerados, e que o método é inadequado quando o número de indicadores ou observações é baixo (ANDREWS *et al.*, 2002). Outra crítica ao método refere-se ao fato de que o mesmo tende a selecionar apenas as características do solo mais sensíveis como indicadores, independentemente de como elas efetivamente se relacionam com a qualidade do solo ou do quanto elas são representativas ou não das principais funções do solo.

Outro problema crítico no desenho de modelos de IQS é a falta de valores de referência em condições específicas (tipo e uso do solo). Este problema é especialmente importante quando se deseja fazer uso de indicadores biológicos nos modelos dada à escassez de informações e bancos de dados que possam ser usados para definir valores de referência para avaliar a magnitude da alteração na qualidade do solo relativa ao seu estado original. Como alternativa, têm se usado áreas de vegetação natural próximas aos solos estudados para definir valores ótimos para indicadores biológicos. No entanto, é difícil garantir que esses valores são válidos quando se avalia ecossistemas completamente alterados, como é o caso de áreas degradadas, ou, quando o ecossistema já atingiu um ponto de equilíbrio entre os processos biológicos e de ciclagem de nutrientes bem distinto daquele presente no solo sob a condição original.

8.3. ORDENAÇÕES MULTIVARIADAS

Ordenações multivariadas (ex. PCA, factor analysis, NMS) têm sido largamente utilizadas para avaliação da qualidade do solo, pois permitem avaliar a similaridades entre "casos" (tratamentos experimentais, áreas com diferentes idades em recuperação etc) com base em um conjunto *n* de propriedades do solo (BALIEIRO *et al.*, 2005). O apelo para o uso dessas técnicas deve-se à sua fácil aplicação e interpretação, uma vez que o *status* qualitativo do solo das áreas em estudo pode ser inferido pela

distância gráfica em relação à posição de áreas definidas como referencial de qualidade (TÓTOLA & CHAER, 2002; BALIEIRO *et al.*, 2005). Em relação aos IQS, as ordenações são mais simples de serem implementadas, pois dispensam a definição de toda a estrutura formal dos modelos de IQS (funções do solo, indicadores, pesos, funções de pontuação etc).

Os métodos de ordenação mais tradicionais são a análise de componentes principais (ACP) (PEARSON, 1901) e, sua variante, a análise de fatores (GOODALL, 1954). Recentemente, o método de ordenação “nonmetric multidimensional scaling” (NMS) (SHEPARD, 1962) tem sido crescentemente usado como uma alternativa a esses métodos, uma vez que permite avaliar faixas muito mais abrangentes de estrutura dos dados (MCCUNE e GRACE, 2002). Independente do método de ordenação usado, a análise procede pela definição do conjunto de indicadores de qualidade do solo que serão usados na análise. Tais indicadores devem estar disponíveis para todas as áreas consideradas. Dentre essas, é desejável a presença de uma ou mais áreas que possam ser usadas como referenciais de qualidade do solo. Em geral, são usados solos sob vegetação nativa ou que tenham sofrido mínima intervenção antrópica. Pressupõe-se, nesse caso, que as características físicas, químicas e biológicas de solos sob vegetação nativa evoluíram para uma condição de equilíbrio, o qual assegura a viabilidade em longo-prazo de suas funções no ecossistema (TRASAR-CEPEDA *et al.*, 1998). Alternativamente, podem ser definidos referenciais teóricos a partir da escolha de valores ótimos para cada um dos indicadores considerados na análise (ex., BALIEIRO *et al.*, 2005).

O resultado da ordenação multivariada constitui-se em um gráfico, geralmente bi- ou tri-dimensional, onde a qualidade do solo dos “casos” ordenados (tratamentos experimentais, áreas com diferentes históricos de manejo etc.) pode ser avaliada com base na distância gráfica em relação ao referencial de qualidade ou por meio da correlação dos indicadores do solo com os eixos da ordenação. A título de exemplo, foi realizada a ordenação multivariada (método NMS) de cinco tratamentos experimentais utilizados para induzir a formação de um gradiente de degradação do solo (Fig. 8.2) (dados extraídos de CHAER *et al.*, 2007). Para isso, foram aplicados 0, 1, 2, 3 ou 4 eventos de aração/gradagem do solo durante um período de 3 meses. Foram considerados na análise os dados obtidos de 8 indicadores físicos, químicos e biológicos analisados a partir de amostras de solo coletadas 60 dias após o último evento de aração/gradagem. O gráfico mostra nitidamente a separação dos tratamentos ao longo do eixo 1 da ordenação, o qual agrupou 73% da variância total dos dados. Assim, as parcelas controle agruparam-se à esquerda do gráfico e as demais parcelas tratadas ordenaram-se ao longo do eixo 1 em proporção ao nível de distúrbio sofrido. A sobreposição dos vetores de correlação de cada indicador com os eixos da ordenação revelaram que a separação dos tratamentos foi principalmente relacionada a mudanças no conteúdo de água disponível, condutividade hidráulica, carbono orgânico, biomassa microbiana e no diâmetro médio e estabilidade de agregados do solo. Ao contrário, CTC e densidade do solo sofreram pouca ou nenhuma influência dos tratamentos de aração/gradagem.

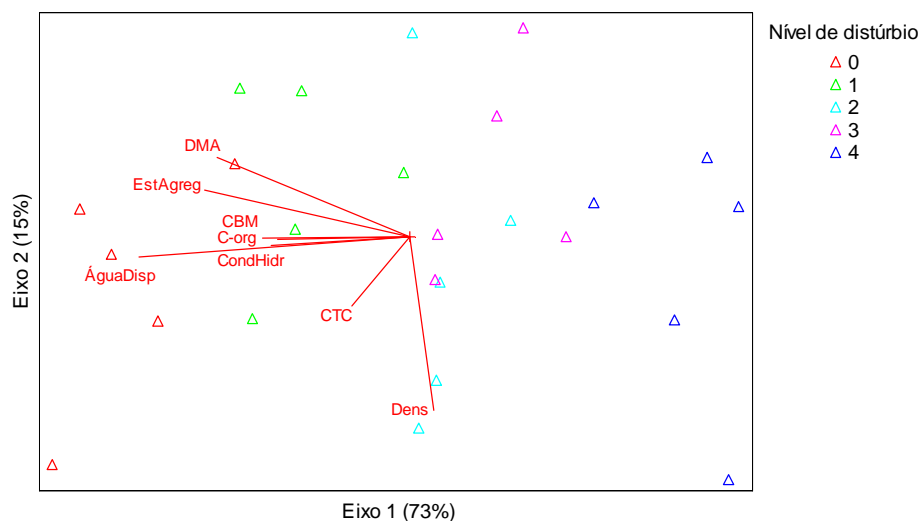


Fig. 8.2. Ordenação NMS de parcelas experimentais representando cinco tratamentos de distúrbio do solo com base em 8 indicadores de qualidade do solo. Os vetores representam graficamente a correlação de cada indicador com os dois eixos da ordenação. (DMA – diâmetro médio de agregados; EstAgreg – estabilidade de agregados em água; CBMic – carbono da biomassa microbiana; C-org – carbono orgânico total; ÁguaDisp – água disponível entre os potenciais de -10 e -1500 kPa; CondHidr – condutividade hidráulica saturada de campo; CTC – capacidade de troca de cátions; Dens – densidade do solo).

Outro exemplo foi gerado com os dados do estudo de REIS (2002) utilizando-se a análise NMS (Fig. 8.3 e 8.4). Neste estudo, a qualidade de solos de áreas de cultivo agrícola (em primeiro, segundo e terceiro ano de cultivo) e de áreas de capoeira (pousios de 1, 3 e 5 anos), em sistema de agricultura migratória, foram comparadas com uma área de pastagem (15 anos de *Melinis minutiflora*) e de remanescentes de Mata Atlântica com 15, 30 ou 150 anos de regeneração natural. Além das informações de solos disponíveis (pH, Ca, Mg, K, P, N-total, C-org, NO₃, carbono microbiano (CBM), nitrogênio microbiano (NBM), qCO₂, relação C mic/C org) foram também considerados na análise os dados de densidade, diversidade (H'), riqueza e equidade da fauna do solo.

Como o objetivo da análise é fazer inferências sobre a qualidade do solo das áreas avaliadas, é importante que se determinem referenciais, ou seja, definir o que deve ser considerado como solos de alta qualidade ao qual os demais deverão ser comparados na ordenação. Uma opção neste caso é assumir que as florestas mais antigas (30 e 150 anos) possuem solos que evoluíram para um estado de qualidade ótimo para aquele ecossistema. Por outro lado, podem-se definir referenciais teóricos com base nos dados das próprias áreas avaliadas. Neste exemplo, o critério utilizado foi gerar artificialmente uma área de referência atribuindo a ela valores para cada variável analisada nas demais áreas “reais”. Desse modo, foi considerado o valor ideal para

cada indicador como sendo a média de todos os valores maiores do que a média geral para aquela variável considerada. Este critério foi seguido para todas as variáveis exceto para NO_3 e qCO_2 onde a média de todos os valores menores do que a média geral foi tomada como ótimo em um solo de alta qualidade. É importante salientar que as inferências quanto à qualidade dos solos nesse estudo somente são válidas quando considerado o conjunto de variáveis disponíveis os quais estamos assumindo arbitrariamente como sendo indicadores de qualidade do solo. Essas variáveis também não necessariamente representam todos os aspectos da qualidade desses solos.

Primeiramente, objetivando avaliar a hipótese de que com o aumento do tempo de não intervenção a qualidade do solo evolui gradativamente para um estado de maior qualidade, somente as áreas de pousio e florestas (além da referência) foram ordenadas. O resultado da ordenação é apresentado na Fig.8.3, a qual mostra que foi necessário apenas uma dimensão para explicar em torno de 71% da variância dos dados. O ranqueamento das áreas foi bem consistente com o tempo de não intervenção, ou seja, existe um claro gradiente mostrando que o estado qualitativo do solo evolui com o passar do tempo após a última intervenção. Chama-se a atenção para a área de referência teórica a qual tendeu a se agrupar com as florestais mais antigas.

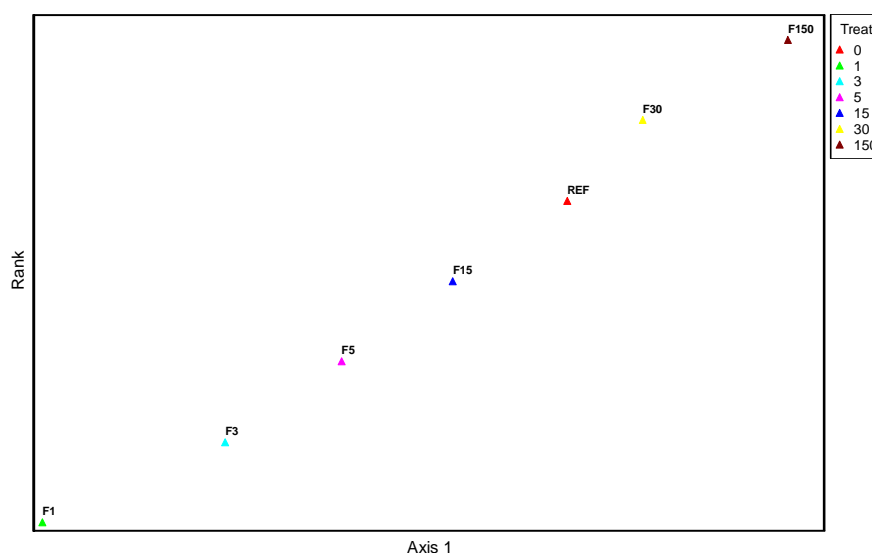


Fig. 8.3. Ordenação multivariada unidimensional (NMS) de áreas caracterizadas em sistemas de agricultura migratória (F1, F3 e F5: capoeiras com 1, 3 e 5 anos; F15, F30 e F150: floresta em regeneração com 15, 30 e 150 anos; P15: pastagem; Ref: referencial de qualidade teórico). Axis 1 representa 71% da variância dos dados. Ver texto para descrição das variáveis utilizadas na ordenação.

O segundo objetivo foi analisar como as áreas de cultivo (e de pastagem) se comportam quando ordenadas em conjunto das áreas florestais. Embora as variáveis consideradas tenham sido as mesmas da ordenação anterior, o resultado nesse caso foi bidimensional, sendo que cada eixo representou 48% da variância dos dados (Fig. 8.4) (a ordenação foi rotacionada de forma a se ter a mesma proporção da variância explicada por cada eixo e, assim, a evitar possíveis distorções na interpretação da distância das áreas em relação ao referencial). Os círculos com linha pontilhada na

Fig.8.4 representam 3 agrupamentos (arbitrários) das áreas analisadas formados (1) pelas áreas sob cultivo, (2) pelas áreas em pousio de 1, 3, 5 e floresta de 15 anos, e (3) pelas áreas de floresta mais antigas (30 e 150 anos sem intervenção) juntamente com a área de pastagem e a área de referência. Com base nos resultados obtidos na primeira ordenação (Fig. 8.3) sugere-se que a seta em curva representa o “caminho” gráfico que o estado qualitativo de um solo sob cultivo percorreria se fosse deixado sob pousio por um tempo indeterminado (ex. 30 a 150 anos). A seta bidirecional, por sua vez, liga os dois estados qualitativos dos solos de pousio e cultivo que, teoricamente, estariam se alternando a cada ciclo.

Várias outras informações podem ser extraídas dessa ordenação. Por exemplo, o agrupamento da área de floresta/capoeira com 15 anos, com as áreas em pousio (F1, F3 e F5), sugere que o estado qualitativo do solo não muda muito durante os primeiros 15 anos de pousio. Por outro lado, parece haver uma rápida mudança qualitativa no solo, logo depois que a área é deixada sob pousio, passando a ser mais gradativa num momento posterior, e levando cerca de 30 anos para atingir um status próximo ao observado para a área de referência. O período de 5 anos de pousio, praticado no sistema de agricultura migratória estudado, parece não ter sido suficiente para levar a qualidade do solo ao estado atingido por uma *floresta madura* (acima de 30 anos). No entanto, pode-se afirmar que o sistema de agricultura utilizado é sustentável do ponto de vista de manutenção da qualidade do solo? Se for considerado que as áreas de capoeira e cultivo, teoricamente em equilíbrio, não estão se afastando dos referenciais (área de referência teórica e florestas maduras) com o passar do tempo (ou do número de vezes em que o sistema completa um ciclo), a resposta seria afirmativa (Fig. 8.4).

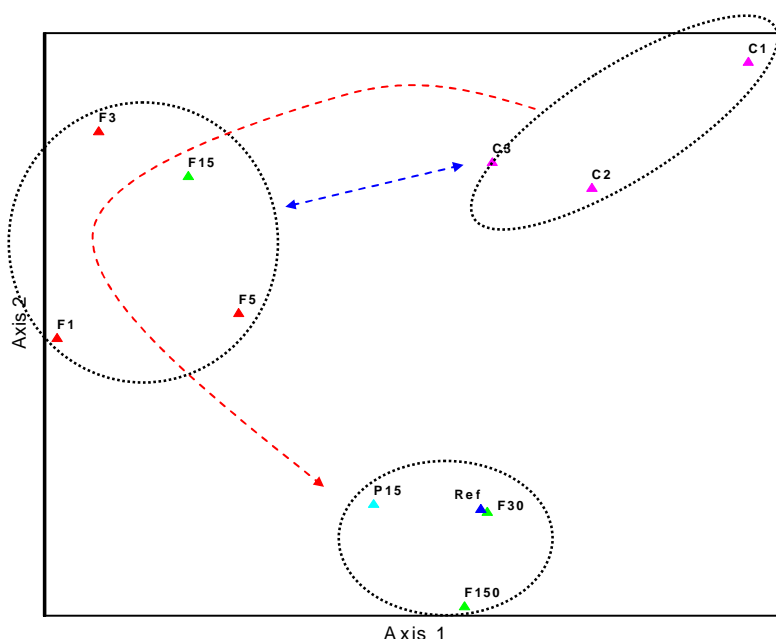


Fig. 8.4. Ordenação multivariada bidimensional (NMS) de áreas caracterizadas em sistemas de agricultura migratória em (C1, C2 e C3: áreas sob cultivo a 1, 2 e 3 anos; F1, F3 e F5: capoeiras com 1, 3 e 5 anos; F15, F30 e F150: floresta em regeneração com 15, 30 e 150 anos; P15: pastagem; Ref: referencial de qualidade teórico). Axis 1 e 2 representam cada uma 48% da variância dos dados. Ver texto para descrição das variáveis utilizadas na ordenação.

Apesar dos dados disponíveis não serem suficientes para responder essa questão de forma definitiva, o agrupamento da área de floresta com 15 anos sem intervenção com as capoeiras apresenta-se como um bom indicativo de que o sistema como um todo está realmente em equilíbrio. Vale ressaltar, que a adubação praticada no sistema estudado tendeu a aumentar os níveis de produtividade dos cultivos e a acumulação de biomassa vegetal durante os períodos de pousio, contribuindo para a sustentabilidade do sistema (REIS, 2002).

Um exemplo da aplicação de ordenações multivariadas na avaliação de tratamentos na recuperação da qualidade de solos ou substratos degradados por atividades de mineração é apresentado a seguir. Em áreas degradadas pela extração de bauxita, especificamente em tanques de rejeito do lavado da bauxita e depósitos de subsolo exposto durante a mineração da bauxita (estéril), REIS (2005) vem avaliando diferentes estratégias de recuperação com utilização de leguminosas fixadoras de nitrogênio, por meio da análise de atributos químicos e microbiológicos do solo. As áreas avaliadas estão localizadas no platô de bauxita Saracá, Oriximiná, PA e sofreram diferentes formas de intervenção visando a reabilitação das áreas, que caracterizam os diferentes sistemas estudados, conforme descrito a seguir:

- Tanque de rejeito de bauxita SP-1 – avaliado sob dois níveis extremos de adubação, revegetado com espécies arbóreas (leguminosas e não leguminosas) no ano de 1999, após hidrossemeadura com leguminosas herbáceas, arbustivas e arbóreas e acréscimo de nutrientes – SP1A e SP1E, menor e maior nível de adubação, respectivamente;
- Bordas do tanque de rejeito SP-1, revegetadas com mistura de espécies leguminosas e não leguminosas (alta diversidade de espécies arbóreas), com aplicação de altas doses de adubo junto com a hidrossemeadura, no ano de 1999 – Borda SP5;
- Tanque de rejeito de bauxita SP 2-3 Norte, revegetado via hidrossemeadura com *Sesbania virgata* e aplicação de adubo, no ano de 2000 – SP2-3N;
- Tanque de rejeito de bauxita SP 2-3 Sul, revegetado via hidrossemeadura com *Sesbania virgata* e *Sesbania exasperata* e em menor densidade *Senna reticulata*, *Chamaecrista desvauxii* e *Aschynomenae* sensível a aplicação de adubo, no ano de 2001 – SP2-3S;
- Reflorestamento misto sobre depósitos de subsolo exposto após extração da bauxita (estéril), com aplicação de terra preta (camada superficial do solo contendo matéria orgânica, propágulos e biota edáfica da área, podendo estar acondicionada por períodos longos até aplicação sobre a área), realizado em 1984 – R1984;
- Reflorestamento misto sobre estéril, com aplicação de terra preta, realizado em 1992 – R1992;
- Reflorestamento misto sobre depósitos de estéril, com aplicação de terra preta, realizado em 1994 – R1994;
- Reflorestamento misto sobre depósitos de estéril, sem aplicação de terra preta, realizado em 1994 – R1994STP;
- Reflorestamento misto sobre depósitos de estéril, com aplicação de terra preta, realizado em 1999 – R1999;

- Remanescente de floresta nativa, contígua à área de mineração por um dos lados e com a floresta nativa pelos demais lados - MataN.

Procedendo-se a análise multivariada (ordenação NMS) dos dados de atividade microbiana (N-BMS, C-BMS, respiração, qCO_2) e de riqueza e densidade de indivíduos da fauna nas diferentes áreas (Fig. 8.5), verificou-se que as áreas de reflorestamento e da borda do tanque SP1 (Borda SP5) se aproximam da área de mata nativa, enquanto que os demais tratamentos, apresentaram-se mais distantes e mais próximos do tratamento SP1-A, o qual recebeu menor nível de adubação e apresentou a pior cobertura vegetal e estoque de serapilheira no solo (constatação visual). O tratamento R1994 STP, no qual não foi aplicada terra preta na revegetação das pilhas de estéril, também agrupou-se próximo ao tratamento SP1-A e distante das demais áreas de reflorestamento sobre estéril evidenciando a importância da reposição de terra preta, para os atributos avaliados (biomassa microbiana e fauna edáfica).

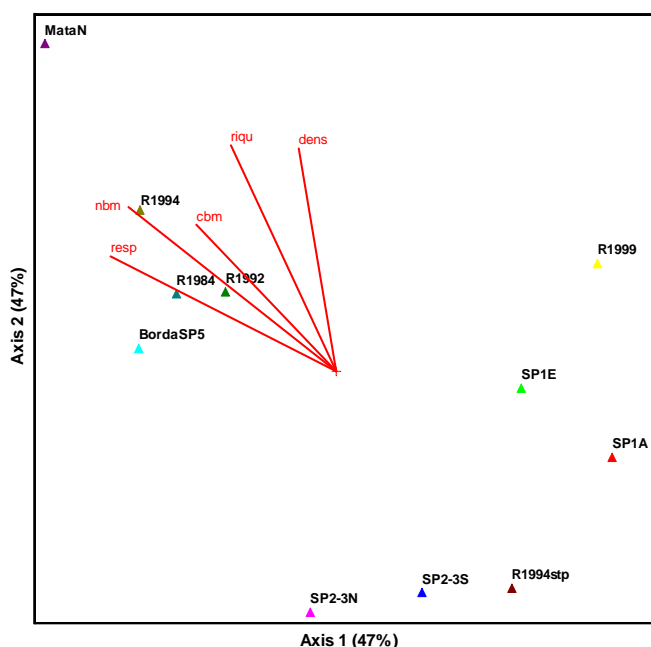


Fig. 8.5. Ordenação multivariada (NMS) de tratamentos representando diferentes estratégias de recuperação com utilização de leguminosas fixadoras de nitrogênio. Ver texto para descrição dos tratamentos. (resp – respiração do solo; riqu – riqueza da fauna do solo; dens – densidade de indivíduos da fauna do solo; cbm – carbono da biomassa microbiana; nbm – nitrogênio da biomassa microbiana).

Com exceção do tratamento R1994 STP, os demais tratamentos que se agrupam no lado direito da Fig. 8.5 (R1999, SP1 E, SP2-3 N e SP 2-3 S) foram revegetadas nos anos de 1999, 2000 e 2001, sendo, portanto, processos de recuperação mais recentes. Vale ressaltar, que os tratamentos SP1E e R1999, por se apresentarem na parte mais superior do gráfico surgem como áreas cuja recuperação foi mais acelerada. Vale considerar, que a borda do SP1 foi revegetada na mesma época das demais áreas e apresenta comportamento próximo à floresta nativa, provavelmente devido a maior quantidade de adubo adicionada nesta área. Os vetores mostrados na Fig. 8.5 permitem avaliar como e com qual intensidade as variáveis utilizadas na análise influenciaram a ordenação dos tratamentos. Dessa forma, pode-se observar que, a

exceção da variável qCO_2 (quociente metabólico), todas as demais estiveram direcionadas para a área de mata natural ou para aquelas áreas que se agruparam próximas a ela.

8.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Degradação do solo nada mais é que a redução de sua qualidade no que se refere à sua capacidade de desempenhar funções essenciais de suporte aos processos da vida e da regulação do ambiente. Dentro desse contexto, a avaliação da qualidade do solo para monitorar a recuperação de áreas degradadas ou, ao contrário, alertar para a degradação de solos ainda produtivos, constitui um dos grandes temas da ciência do solo atualmente.

Várias são as metodologias que têm sido empregadas para acessar a qualidade dos solos, sendo o uso de índices ou de análises multivariadas as mais presentes em estudos do gênero. Apesar de essas ferramentas fornecerem um grande auxílio aos pesquisadores em processos de decisão e de interpretação de indicadores avaliados em experimentos ou programas de recuperação de áreas degradadas, restrições também se aplicam a essas técnicas. A decisão pelo uso de uma ou outra deve, então, ser norteado pelas questões científicas que se pretendem responder em determinado estudo. As ordenações multivariadas têm o grande benefício de simplificar a informação contida em um conjunto grande de variáveis, definidas aqui como sendo qualquer característica do solo que esteja associada aos seus aspectos funcionais, ou simplesmente, indicadores de qualidade do solo. Apesar das ordenações apresentarem a desvantagem de não fornecer uma medida quantitativa da qualidade do solo, como os modelos de cálculo de IQS, a facilidade da análise e da interpretação dos resultados podem ser de especial ajuda na análise exploratória dos dados ou, como mencionado anteriormente, como técnica de seleção de um conjunto de indicadores a serem usados nos modelos de IQS. O caráter quantitativo dos índices, por sua vez, é desejável em situações onde se deseja monitorar o estado geral do solo em processo de recolonização vegetal, ou mesmo, na identificação de técnicas de recuperação mais adequadas.

8.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREWS, S.S. & CARROLL, C.R. Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. *Ecological Applications*, 11:1573-1585, 2001.
- ANDREWS, S.S., MITCHELL, J.P., MANCINELLI, R., KARLEN, D.L., HARTZ, T.K., HORWATH, W.R., PETTYGROVE, G.S., SCOW, K.M., MUNK, D.S. On-farm assessment of soil quality in California's central valley. ***Agronomy Journal***, 94:12-23, 2002.
- BALIEIRO, F.C.; CHAER, G.M.; REIS, L.L.; FRANCO, A.A. & FRANCO, N.O. Qualidade do solo em áreas degradadas. In: XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Recife, PE. SBSC/UFRPE/Embrapa Solos-UEP, 2005. CD-room.
- BREJDA, J.J.; MOORMAN, T.B.; KARLEN, D.L. & DAO, T.H. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and southern high plains. *Soil Science Society of America Journal*, 64:2115-2124, 2000.
- BEZDICEK, D.; PAPENDICK, R.I. & LAL, R. Importance of soil quality to health and sustainable land management. *Methods for assessing soil quality*, 1996.
- CHAER, G.M.; FERNANDES, M.F.; MYROLD, D.D. & BOTTOMLEY, P.J. Shifts in microbial community structure across an induced gradient of soil degradation using PLFA-, and CLPP- techniques. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Gramado, RS. Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007. CD-room.
- CHAER, G.M. **Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos**. Viçosa- UFV, 2001, 89p.
- DAILY, G.C.; MATSON, P.A. & VITOUSEK, P.M. Ecosystem services supplied by soil. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*, 1997.
- GALE, M.R.; GRIGAL, D.F. & HARDING, R.B. Soil Productivity Index: Predictions of Site Quality for White Spruce Plantations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55:1701-1708, 1991.

- GLOVER, J.D.; REGANOLD, J.P. & ANDREWS, P.K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 80:29-45, 2000.
- GOODALL, D.W. Objective methods for the classification of vegetation. III. An essay in the use of factor analysis. **Australian Journal of Botany**, 2:304-324, 1954.
- GOLLEY, F.R. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta úmida**. São Paulo-SP:
- HUANG, Y.; WANG, S.L.; FENG, Z.W.; OUYANG, Z.Y.; WANG, X.K. & FENG, Z.Z. Changes in soil quality due to introduction of broad-leaf trees into clear-felled Chinese fir forest in the mid-subtropics of China. *Soil Use and Management*, 20:418-425, 2004.
- HUSSAIN, I.; OLSON, K.R.; WANDER, M.M. & KARLEN, D.L. Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois. *Soil & Tillage Research*, 50:237-249, 1999.
- KARLEN, D.L., SCOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: **Defining Soil Quality for a Sustainable Environment**. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Pub., 35: 53-72, 1994.
- KARLEN, D.L.; WOLLENHAUPT, N.C.; ERBACH, D.C.; BERRY, E.C.; SWAN, J.B.; EASH, N.S. & JORDAHL, J.L. Long-term tillage effects on soil quality. *Soil & Tillage Research*, 32:313-327, 1994.
- KINIRY, L.N.; SCRIVNER, C.L. & KEENER, M.E. A soil productivity index based upon predicted water depletion and root growth. 1501 f. - Missouri Agric. Exp. Stn. Res. Bull., Columbia, MO., 1983.
- McCUNE, B., GRACE, J.B. *Analysis of Ecological Communities MjM Software Design*, Glenden Beach, OR. . 2002
- PEARSON, K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space'. **Philosophical Magazine**, Sixth Series 2:559-572, 1901.
- PIERCE, F.J.; LARSON, W.E.; DOWDY, R.H. & GRAHAM, W.A.P. Productivity of soils: assessing long-term changes due to erosion. *J. Soil Water Conserv.*, 38:39-44, 1983.

- REIS, L.L. Sistema de agricultura migratória na região serrana do Estado do Rio de Janeiro: avaliação de indicadores de sustentabilidade. Seropédica: UFRRJ. 128p., 2002.
- SHEPARD, R.N. The analysis of proximities: Multidimensional scaling with an unknown distance function. I. *Psychometrika*, 27:125-139, 1962.
- TRASAR-CEPEDA, C.; LEIROS, C.; GIL-SOTRES, F. & SEOANE, S. Towards a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties. *Biology and Fertility of Soils*, 26:100-106, 1998.
- TÓTOLA, M.R., CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos Avançados em Ciência do Solo**, 2: 195-276, 2002.
- WYMORE, A.W. Model-based systems engineering: an introduction to the mathematical theory of discrete systems and to the tricotyledon theory of system design. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 1993.
- ZHANG, H. & ZHANG, G.L. Landscape-scale soil quality change under different farming systems of a tropical farm in Hainan, China. *Soil Use and Management*, 21:58-64, 2005.