

Documentos

ISSN 1517-8490

Dezembro/2001

Número, 140



CONCEITOS E PRINCÍPIOS PARA O MANEJO ECOLÓGICO DO SOLO



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Agrobiologia

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

República Federativa do Brasil

Presidente

Fernando Henrique Cardoso

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Ministro

Marcos Vinícius Pratini de Moraes

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

Diretor Presidente

Alberto Duque Portugal

Diretores

Bonifácio Hideyuki Nakasu

Dante Daniel Giacomelli Scolari

José Roberto Rodrigues Peres

Chefias da Agrobiologia

Chefe Geral

Maria Cristina Prata Neves

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

José Ivo Baldani

Chefe Adjunto Administrativo

Valéria Luíza Pereira Magalhães da Silva

DOCUMENTO Nº 140

ISSN 1517-8498

Dezembro/2001

CONCEITOS E PRINCÍPIOS PARA O MANEJO ECOLÓGICO DO SOLO

Alberto Feiden

Seropédica – RJ

2001

Exemplares desta publicação podem ser solicitadas à:

Embrapa Agrobiologia
BR465 – km 47
Caixa Postal 74505
23851-970 Seropédica
Rio de Janeiro, Brazil
Tel.: (0xx21) 2682-1500
Fax: (0xx21) 2682-1230
e-mail: sac@cnpab.embrapa.br.

Tiragem: 50 exemplares

Expediente:

Revisor e/ou ad hoc: Bruno Rodrigues Alves

Normalização Bibliográfica/Confecção/Padronização: Dorimar dos Santos Felix

Comitê de Publicações: José Ivo Baldani (Presidente)

José Antonio Ramos Pereira

Marcelo Grandi Teixeira

Robert Michael Boddey

Segundo Sacramento Urquiaga Caballero

Verônica Massena Reis

Dorimar dos Santos Felix (Bibliotecária)

FEIDEN, A. **Conceitos e Princípios para o Manejo Ecológico do Solo**. Seropédica: Embrapa **Agrobiologia**, dez. 2001. 21. (Embrapa **Agrobiologia**. Documentos, 140).

ISSN 1517-8498

1. Agroecologia. 2. Ecologia vegetal. 3. Agricultura sustentável. 4. Agricultura orgânica. 5. Fertilidade do solo I. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (Seropédica, RJ). II. Título. III. Série.

CDD 630

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. FORMAÇÃO DOS ECOSISTEMAS TERRESTRES.....	5
3. CONCEITO E FERTILIDADE.....	9
4. MANEJO ECOLÓGICO DO SOLO.....	10
4.1 - SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO.....	10
4.2 - REDUÇÃO DAS PERDAS DE NUTRIENTES.....	11
4.3 - FORNECIMENTO DE NUTRIENTES ÀS PLANTAS E CORREÇÃO DA ACIDEZ.....	12
4.4 - ESTIMULO À ATIVIDADE BIOLÓGICA.....	16
4.5 - MANEJO DE PLANTAS ESPONTÂNEAS.....	18
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	21
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20

CONCEITOS E PRINCÍPIOS PARA O MANEJO ECOLÓGICO DO SOLO

Alberto Feiden¹

1. INTRODUÇÃO

Tradicionalmente se considera o solo apenas como um meio de crescimento para as plantas, um suporte de fixação, que embora possa fornecer nutrientes, geralmente não atende às demandas das culturas, principalmente em sistemas de alta produtividade. Assim, de acordo com este enfoque, a grande maioria dos nutrientes necessários deverá ser fornecida às culturas através de insumos externos.

Considerando-se o solo como mero suporte, é natural que as práticas de preparo tenham a ênfase principal de preparar as condições ótimas como leito para as sementes ou mudas. A partir deste ponto de vista, em muitas situações é necessário modificar radicalmente as condições naturais do solo, através de práticas agrícolas tais como sistematização do solo, correção de acidez, fertilização, irrigação, drenagem, descompactação, lixiviação de excesso de sais, etc. Isto geralmente tem como conseqüências a degradação do solo, através de processos como erosão, compactação, perda da matéria orgânica, salinização entre outros.

Neste trabalho procura-se considerar o solo como um espaço habitado por milhares de organismos, com infindáveis interações entre si e com os componentes não vivos, comportando-se como um componente vivo dentro do ecossistema, afetando e sendo diretamente afetado pelas praticas culturais utilizadas no processo de produção.

Neste sentido, procurar-se-à discutir elementos que permitam a otimização destas interações, com o objetivo de otimizar os fluxos de nutrientes, reduzir as perdas e melhorar as condições ambientais para proporcionar produtividades ótimas das culturas com sustentabilidade no longo prazo. Sob este ponto de vista, os

conhecimentos gerados pela pesquisa dentro do enfoque anterior, embora insuficientes, são válidos. No entanto, estes conhecimentos necessitam ser reordenados dentro de uma visão global dos processos, considerando-se as suas inter-relações e implicações com e sobre o restante do sistema, e não apenas do ponto de vista dos fenômenos isolados em si.

Assim o enfoque deixa de ser apenas uma cultura, mas sim o agroecossistema, aqui entendido como o ecossistema modificado gerido socialmente para atender necessidades humanas. Também o objetivo deixa de ser a obtenção de produtividades máximas de uma cultura, e sim a produtividade ótima e constante ao longo do tempo.

Dentro desta concepção, o solo é um componente do ecossistema, e embora fundamental e determinante, é também consequência da dinâmica deste. Assim ao se falar de manejo de solos, na verdade está-se falando de uma parte do manejo do agroecossistema. Ao reduzir-se o foco somente à componente solo, pode-se perder parte fundamental dos processos que têm por base o solo, mas que dependem de outros componentes do agroecossistema.

2. FORMAÇÃO DOS ECOSSISTEMAS TERRESTRES

O nível de produtividade e o estado atual dos ecossistemas naturais, e em consequência o potencial e as limitações dos agroecossistemas deles derivados, é o resultado da história climática local. O clima, principalmente precipitação e temperatura, e suas variações ao longo de milhares de anos, atuando sobre o material originário, condicionado pelas condições topográficas locais, deram origem ao componente determinante da atual produtividade do ecossistema: o solo.

O solo é o resultado de um longo processo de formação, que iniciou a milhares de anos. Inicialmente houve um processo físico de fragmentação da rocha matriz, causado inicialmente pelas variações de calor e frio, seguido pela ação dos ventos. Reações químicas potencializadas pela presença de água provocaram a

¹ Eng. Agr. PhD. Técnico de Nível Superior, Área de Comunicação e Negócios, Embrapa Agrobiologia (Membro do Colegiado Estadual de Agricultura Orgânica do Rio de Janeiro), Caixa Postal 74505, Seropédica, RJ, CEP:23850-250 feiden@cnpab.embrapa.br.

transformação dos minerais originários da rocha, além do transporte de materiais pela erosão. Com o surgimento da vida, iniciou-se a ação biológica dos organismos vivos sobre o substrato mineral e o acúmulo de matéria orgânica no sistema. Nesta evolução, ocorreram processos de perdas de elementos como silício e bases, transporte de materiais por erosão, retirando elementos das áreas de encosta e depositando-os nas regiões mais baixas. A ação dos organismos vivos foi fundamental para a adição de matéria orgânica, carbono e nitrogênio, sendo também fundamentais na conservação de elementos no sistema. Com a evolução dos ecossistemas em direção aos sistemas clímax, aumentou gradativamente a produção de biomassa no sistema, o fluxo de energia e a ciclagem de nutrientes dentro do sistema.

Nos ecossistemas de regiões temperadas, com temperaturas mais amenas e precipitações menos intensas, os processos de perdas de bases e silício foram menores, sendo o produto do intemperismo a formação de argilas do tipo 2:1 ou 1:1, com capacidade relativamente alta de retenção de nutrientes no componente solo. Nas regiões tropicais, com temperaturas mais elevadas e chuvas mais intensas, os processos de perdas foram mais intensos, ocorrendo a remoção quase que total do silício e das bases, sendo que os minerais constantes são constituídos predominantemente por óxidos de ferro, alumínio e titânio. Em consequência, estes solos possuem baixa capacidade de armazenamento e retenção de nutrientes, sendo em geral considerados solos de baixa fertilidade. No entanto, nestas regiões, ocorrem paradoxos como a existência de ecossistemas naturais extremamente produtivos, como a Hiléia Amazônica, sobre solos de fertilidade extremamente baixa. Isto ocorre, porque nos ecossistemas tropicais, os nutrientes estão armazenados principalmente na biomassa viva, e não no solo (Jordan, 1985).

Como a ciência agrônômica se desenvolveu principalmente no hemisfério norte, em regiões temperadas, o foco no manejo dos nutrientes dos agroecossistemas foi direcionado unicamente para o solo, e sob um ponto de vista predominantemente químico, o que chegou a causar verdadeiras tragédias em alguns agroecossistemas tropicais frágeis.

De uma maneira geral, e extremamente simplificada, podemos dizer que a formação dos ecossistemas tropicais passou pelas seguintes seqüências, adaptado de Arl & Rinklin (1997):

a) Uma fase abiótica: Foi o período anterior à existência de vida na superfície da terra. Neste período ocorreu a fragmentação das rochas originais por processos físicos causados pela variação entre frio e calor e ação erosiva dos ventos. Com a ação das chuvas, começaram a ocorrer as transformações químicas do material, processos de hidratação e hidrólise, destruição dos minerais primários e formação de minerais secundários, fortemente coloidais, os quais variam conforme a intensidade do processo (Vieira, 1975). Atualmente ainda existem algumas regiões do planeta, em condições inóspitas como os desertos, cumes de montanhas, pólos e geleiras.

b) Uma fase microbiológica: Com o surgimento da vida, os minerais passaram a sofrer a ação de microrganismos como bactérias, líquens e algas, que além de acelerar os processos químicos, ainda passaram a acumular matéria orgânica a partir de elementos e compostos formados principalmente de carbono e nitrogênio. É a partir desta fase que podemos considerar a existência de um ecossistema. A ação biológica nos processos é tão importante nestas condições que não se pode mais separar o que é ação química propriamente dita do que é ação biológica (Vieira, 1975). No entanto, o acúmulo de matéria orgânica promovido por microrganismos ainda é muito pequeno, suficiente porém para propiciar a evolução para a fase seguinte. Atualmente, ecossistemas nesta fase são representados, nas tundras geladas e nas rochas expostas.

Nas fases abiótica e microbiológica os processos foram extremamente lentos, demorando cerca de 3 bilhões de anos.

c) Fase das plantas espinhosas: São seres que já produzem uma maior quantidade de biomassa que os microrganismos, e estão adaptados a condições inóspitas, com variações bruscas de temperatura e umidade. Já possuem estruturas próprias para reprodução, que são capazes de resistir a longos períodos de condições desfavoráveis e ao final de seu ciclo de vida, incorporam a maior parte de seu corpo à matéria orgânica do solo. Possuem ciclo extremamente rápido para aproveitar curtos períodos com condições favoráveis para o crescimento.

Concentram a energia acumulada para garantir sua reprodução. São condições que persistem atualmente nos ecossistemas desérticos e litorâneos.

d) Fase dos capins: Na fase dos capins há uma seqüência de três tipos de capins que significam uma sucessão ecológica evolutiva para solos mais profundos, mais desenvolvidos e com maiores acúmulos de matéria orgânica. A cada passo da sucessão aumenta a quantidade de biomassa produzida por unidade de área, tanto superficialmente como subsuperficialmente. Na primeira etapa predominam os capins duros, ainda com um certo nível de adaptação a condições de grandes variações climáticas e condições adversas. A seguir temos a etapa dos campos naturais e em seguida a etapa dos capins moles. Nesta fase, predominam as plantas de ciclo anual, e predomina a energia biológica direcionada aos processos de reprodução sobre a produção de biomassa, mas essa relação vai se igualando na seqüência da sucessão. Esta também tende a ficar mais preservada no ecossistema, já que a cobertura do solo pela vegetação o protege tanto da insolação como da erosão causada pelas chuvas. Diversos ecossistemas campestres são encontrados atualmente no mundo, representantes das três etapas da fase dos capins

e) Fase de capoeiras: O acúmulo de matéria orgânica e o aprofundamento do solo permitem o surgimento de plantas perenes e de maior porte, formando ecossistemas com dois ou mais estratos. Além de produzir maiores quantidades de matéria orgânica, isto cria um microclima próprio na superfície do solo e permite uma intensificação da vida do solo. Nesta fase, o gasto de energia biológica para garantir a reprodução ainda é muito elevado. Diversos ecossistemas naturais se encontram nesta fase, desde os cerrados, que são a transição a partir da fase anterior até os cerradões, que já são a transição para a etapa seguinte.

Nas fase das plantas espinhosas e dos capins, os processos ainda continuam muito lentos, sendo que estas fases devem ter durado cerca de 2 bilhões de anos.

f) Fase das florestas: A evolução do ecossistema vai no sentido de produzir vegetação cada vez mais alta, com um número cada vez maior de estratos, maior diversidade de espécies, com entradas cada vez maiores de matéria orgânica no sistema e solos cada vez mais profundos, e com horizontes cada vez mais

diferenciados. As interações entre as espécies vão se tornando cada vez mais complexas, e com maior interdependência. Nesta fase, as espécies gastam a maior parte da energia biológica na produção de biomassa e muito menos nos processos reprodutivos. Está é uma fase muito mais rápida e uma floresta pode ser formada a partir da fase anterior num tempo que varia de 500 a 1.000 anos.

Este esquema de formação dos ecossistemas não é linear, e o tempo não é absoluto, sendo que a idade dos ecossistemas depende das condições climáticas e da disponibilidade de recursos locais, que vão propiciar um maior ou menor intemperismo e desenvolvimento dos seres vivos. Quando as condições são favoráveis os ecossistemas tendem a evoluir para a fase da floresta, porém este desenvolvimento pode ser interrompido devido às limitações ao desenvolvimento dos seres vivos. De qualquer maneira, o ecossistema natural de um local sempre está em seu grau máximo de produtividade biológica dentro das condições naturais do local. Esta situação deve ser considerada ao se modificar o ecossistema para convertê-lo em agroecossistema. Mediante a correção de limitações das condições naturais de um ecossistema (correção da acidez, adubação, irrigação etc.) é possível criar agroecossistemas muito mais produtivos que o ecossistema natural existente (como ocorreu por exemplo no cerrado brasileiro). No entanto, estas modificações criam condições diferentes das originais, e os mecanismos de controle do ecossistema que não evoluíram para esta condição se tornam ineficientes. Os controles das alterações dos sistemas passam a ser necessariamente feitos de forma artificial (controle de pragas, de plantas daninhas, de erosão, etc.). Em ecossistemas originariamente com alta produtividade biológica, a implantação de agroecossistemas baseados na fertilidade natural do "solo", também cria agroecossistemas extremamente simplificados, onde os controles naturais são perdidos. Isto os torna extremamente frágeis, sendo que manejos inadequados poderão fazer com que ocorra degradação dos solos e em consequência do agroecossistema. O processo de degradação em geral leva a uma regressão na sucessão ecológica do agroecossistema. E esta regressão em geral é extremamente rápida, podendo ocorrer em 50 a 5 anos para que ambientes de floresta tropical retornem ao estágio de capins duros, ou mesmo de pré desertificação.

3. CONCEITO DE FERTILIDADE

Fertilidade do solo é definida pelo Vocabulário de Ciência do solo (Curi et al., 1993), como o "Status de um solo com respeito à sua capacidade de suprir os nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas". Embora a definição seja bastante abrangente, de maneira geral utiliza-se este conceito apenas pelo seu ponto de vista químico, isto é da disponibilidade de nutrientes no solo. Nos últimos anos, tem se dado uma ênfase um pouco maior aos nutrientes do compartimento representado pela matéria orgânica do solo.

Embora os principais fenômenos relacionados aos processos que resultam no fornecimento de nutrientes para as plantas ocorram no solo, no presente caso será utilizado um conceito mais amplo de fertilidade do agroecossistema. Serão incluídos além dos nutrientes do solo, também os da biomassa microbiana, da fauna do solo e da fitomassa, constituída tanto pelas plantas vivas (culturas e plantas espontâneas) como pelos restos das culturas anteriores. Além da chamada Fertilidade Química, que indica o tipo da reação do solo, o conteúdo de nutrientes essenciais às plantas e a presença ou ausência de elementos tóxicos às plantas, serão utilizados também os seguintes conceitos: a) Fertilidade Física, que diz respeito principalmente à acessibilidade das plantas aos nutrientes existentes. São elementos importantes a profundidade efetiva do solo, existência de impedimentos à penetração radicular, porosidade, disponibilidade de água e de O₂, estrutura e grau de agregação do solo, etc.. b) Fertilidade Biológica, que dá indicação sobre a efetividade dos fluxos dos nutrientes nos diversos compartimentos do sistema. Dependem dos organismos vivos, constituídos pelas plantas (cultivadas e espontâneas), fauna do solo e microorganismos. Sua ação depende da quantidade, diversidade, atividade e das funções (serviços) ecológicas que exercem.

4. MANEJO ECOLÓGICO DO SOLO

Um ecossistema natural sempre está no seu nível máximo de produtividade (clímax), dentro dos potenciais do ambiente, sendo limitado pela disponibilidade de água, de radiação e de nutrientes. A intervenção humana sempre interfere no

equilíbrio natural e de maneira geral leva à sua degradação. Quanto maior o seu grau de artificialização, mais precários se tornam os mecanismos de recuperação das condições naturais de equilíbrio. No entanto, como para atender as necessidades humanas é necessário a intervenção no ambiente é imprescindível que sejam levadas em conta dois princípios básicos:

A intervenção em determinada gleba não deve causar impacto em seu entorno.

A área sob intervenção deve ser produtiva e continuar produtiva (com produtividades iguais ou maiores) ao longo do tempo.

De maneira geral as intervenções devem ser muito mais no sentido de conviver com as limitações ambientais, utilizando os ciclos naturais para otimizar os processos; ao invés de procurar corrigir e eliminar as limitações.

4.1 - Sistemas de preparo do solo

Com o objetivo declarado de melhorar as condições do solo para facilitar a germinação das sementes, de aumentar a porosidade do solo e de controlar plantas espontâneas, consideradas daninhas, foram importados para as condições tropicais, sistemas de preparo de solo originários de condições temperadas. Estes sistemas, que em sua condição de origem tinham a finalidade de romper o ciclo invernal e antecipar a época de germinação, em nossas condições se tornaram a causa de desagregação da estrutura do solo, adensamento ou compactação de camadas subsuperficiais, encrostamento superficial, queima acelerada da matéria orgânica, e, em consequência, provocando erosão acelerada.

Sistemas de manejo ecológico utilizam cobertura máxima do solo, com plantas vivas ou com cobertura morta, com o objetivo de proteger a superfície do solo da intensa radiação solar, evitando a queima da matéria orgânica do solo, reduzindo a amplitude térmica da superfície, a perda de água por evaporação, o impacto das gotas de chuva sobre a superfície e a velocidade do escoamento superficial do excesso de água das chuvas.

Preconiza-se a redução ou mesmo a eliminação da movimentação do solo, com sistemas de cultivo mínimo ou plantio direto. Para as culturas para as quais

ainda não se consegue dispensar o preparo do solo, este devera ser feito com menor intensidade possível, equipamento mais adequado, umidade do solo ideal e mantendo-se o solo descoberto o menor tempo possível.

Utilizam-se combinações de explorações com espécies de raízes agressivas e profundas, que tenham a capacidade de romper impedimentos subsuperficiais, aumentando a capacidade de infiltração da água no solo, recuperando a reciclando os nutrientes arrastados às camadas mais profundas do solo.

Maneja-se a superfície do solo, através de culturas de cobertura, adubos verdes e da própria vegetação espontânea ("plantas daninhas"), mantêm-se ao máximo a cobertura do solo, promovendo grande entrada de matéria orgânica no sistema, visando-se a estruturação do solo, o aumento da macroporosidade e em consequência aumentando a infiltração da água no solo. Durante o início do ciclo das culturas deve-se manter as entrelinhas cobertas através de culturas de cobertura intercalares ou da vegetação espontânea, manejadas através de cortes, roçada ou capina seletiva para evitar que cheguem ao ponto de competir com a cultura principal.

Para evitar o escoamento superficial da água e a erosão, o plantio deve ser feito em nível, sendo que poderão ser feitos terraços de base estreita, cobertos de vegetação permanente ou mesmo culturas arbóreas, que terão o efeito adicional de sombreamento, quebra-ventos e barreiras ao deslocamento de pragas e propágulos de doenças. Deve-se evitar a implantação de práticas mecânicas que exijam grandes movimentações de solo.

4.2 - Redução das perdas de nutrientes

Enquanto nas regiões temperadas os solos são ricos em nutrientes e a atividade biológica é lenta e sofre interrupções ocasionadas pelo inverno rigoroso, em regiões tropicais e equatoriais úmidas, os solos são pobres e a atividade biológica é intensa. Como nas regiões tropicais úmidas os processos de perdas de nutrientes são acelerados devido à alta taxa de mineralização da matéria orgânica, à baixa capacidade de retenção de nutrientes dos solos e às chuvas torrenciais, o estoque de nutrientes está concentrado principalmente na biomassa viva. Este é o caso da

floresta amazônica, onde a floresta luxuriante esconde solos pobres, cuja riqueza está toda concentrada na floresta, e cada folha que cai é imediatamente decomposta e reutilizada pelas raízes das plantas.

Assim em nossas condições, a melhor estratégia para conservar os nutrientes no sistema é mantê-los fixados na matéria orgânica, tanto nas plantas vivas como na matéria orgânica do solo. Neste sentido a estratégia de manutenção da cobertura do solo, além de proteger o solo das perdas de nutrientes pela erosão, também atua no sentido de manter estes nutrientes na biomassa do sistema. Assim, a imobilização dos nutrientes, que é considerado como um aspecto que interfere negativamente no manejo convencional de fertilizantes, sob o enfoque agroecológico passa a ser um mecanismo chave na manutenção dos nutrientes no agroecossistema.

A diversificação de espécies no sistema, obtida através da rotação ou consorciação de culturas, cultivos em faixas ou aléias bem como do manejo adequado das plantas espontâneas, possibilita uma melhor ciclagem e conservação dos nutrientes devido às diferentes capacidades de extração de nutrientes de cada espécie.

O aumento da capacidade de infiltração da água no solo, se por um lado pode aumentar as perdas de nutrientes por lixiviação, por outro pode ser compensada com a introdução de espécies com sistema radicular profundo, capazes de recuperar e trazer para a superfície os nutrientes lixiviados.

O corte ou manejo dos adubos verdes na época correta para que seus nutrientes mineralizados sejam aproveitados pela cultura alvo no momento da sua necessidade, evita perdas de nutrientes. Assim é necessário conhecer a velocidade de decomposição de cada espécie, informação nem sempre disponível. A relação C:N e o conteúdo de lignina das espécies pode servir de indicador da velocidade de decomposição dos resíduos.

A incorporação de restos culturais, adubos verdes ou culturas de cobertura aceleram os processos de mineralização em relação ao corte e deposição superficial, e é uma estratégia que pode ser utilizada para sincronizar a disponibilidade de nutrientes mineralizados com a necessidade de absorção das culturas.

Com relação às perdas de nutrientes por parte de adubos aplicados, observa-se de maneira geral que os adubos mais solúveis são os que apresentam maiores

perdas. Assim a adição de formas menos solúveis tendem a minimizar as perdas. A associação de fertilizantes minerais a adubos orgânicos também tende a diminuir as perdas de nutrientes, porque a matéria orgânica estimula a atividade biológica, e uma quantidade maior de elementos é imobilizada em biomassa viva. Por exemplo o fósforo imobilizado na matéria orgânica, não sofre o processo de fixação irreversível pelos minerais do solo, enquanto que o nitrogênio nas estruturas biológicas não se perde por lixiviação ou volatilização.

4.3 - Fornecimento de nutrientes às plantas e correção da acidez

Mesmo nos sistemas mais equilibrados, onde as perdas indesejáveis são eliminadas ao máximo, continua havendo uma saída importante de elementos do sistema, pela exportação através dos produtos vegetais ou animais que saem do sistema como resultado do processo produtivo. Esta exportação varia com o tipo do produto vegetal ou animal produzido, parte do vegetal removido e do nível de produtividade obtido. Assim, sistemas produtivos que removem quase toda biomassa vegetal produzida, como as capineiras, em geral exportam mais nutrientes que frutíferas.

Nestes sistemas de alta exportação, e mesmo nos outros, se torna necessário a reposição dos nutrientes exportados e também aqueles cuja perda não é possível evitar. Também são feitas adições dos nutrientes cujos níveis originais do solo são baixos, porém neste caso evita-se adições massivas do elemento, no sentido de corrigir a deficiência. Neste caso a adição é feita gradualmente ao longo do tempo.

A análise do solo, com todas as suas limitações, continua a ser um instrumento fundamental para adubação e correção do solo em sistemas orgânicos. Porém tão importante quanto a análise do solo é o histórico da gleba, que dá a resposta real obtida nas intervenções anteriores, devendo-se considerar também o "feeling" do agricultor, nos casos em que ele mesmo realiza as operações agrícolas.

Para correção inicial da acidez do solo, não ha nenhuma restrição ao uso de calcário, sendo que em função da deficiência ou não de magnésio, se recomenda o

uso do calcário calcítico, dolomítico ou magnesiano. A dosagem é recomendada para correção da deficiência de cálcio e magnésio ou então para neutralização do alumínio trocável. De maneira geral, não se recomenda a correção para saturação de bases, e evitam-se aplicações superiores a 2 t/ha. Quando a recomendação, mesmo para correção do alumínio trocável for superior a 2 t/ha, recomenda-se aplicar a quantidade limite e fazer nova análise de solo no ano seguinte. Como no manejo agroecológico não são utilizados adubos solúveis de reação ácida, além de que vários dos insumos utilizados, como esterco, termofosfato e cinzas também atuam como corretivos da acidez, em geral, uma vez feita a correção inicial, não é necessário repeti-la a cada 5 anos, como nos sistemas convencionais, como indicam os trabalhos realizados no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA) (Almeida et. al., 1998). Quando disponível a preços razoáveis, o gesso agrícola pode ser misturado ao calcário, na proporção de 1:3 (gesso:calcário). Com isto adiciona-se enxofre ao sistema além de estimular o transporte de Ca e Mg para as camadas mais profundas, estimulando a penetração das raízes.

A adição de nitrogênio ao sistema pode ser feita totalmente através de fixação biológica de nitrogênio (FBN) e adubação orgânica. Para tal é necessário estabelecer uma estratégia de rotação e associação das culturas com adubos verdes e culturas de cobertura. Tal estratégia nem sempre é simples e muitas vezes esbarra na falta de conhecimento dos agricultores e técnicos sobre os adubos verdes, bem como sobre a falta de informações sobre o comportamento e adaptabilidade das diferentes espécies de leguminosas nas diferentes regiões. Como o desempenho das leguminosas é muito afetado pelas condições locais, uma estratégia interessante é a utilização de espécies nativas locais, que muitas vezes são consideradas "ervas daninhas" pelos agricultores. O manejo destas espécies espontâneas pode ser uma componente importante para a adição de nitrogênio ao sistema. No entanto, a estratégia mais utilizada para adição de nitrogênio ao sistema é a inclusão de adubos verdes em rotação com as culturas principais. Muitas vezes, devido à pouca disponibilidade de terra, ou à condições climáticas adversas, não é possível a utilização desta estratégia. Neste caso, podem ser desenvolvidos sistemas de policultivos que incluam leguminosas no sistema, tais como cultivos em aléias, cultivos intercalados, sobressemeadura, cultivos adensados de leguminosas em

curtos períodos em que o solo fica descoberto, cultivos em faixas, etc. Não se deve subestimar a importância de incluir culturas produtivas de leguminosas, mesmo que estas não sejam auto-suficientes em N, pois mesmo que o balanço da cultura seja negativo, o déficit é menor que o de uma não fixadora. As informações sobre não leguminosas fixadoras de nitrogênio ainda são poucas atualmente, mas a médio e longo prazo podem fazer parte de uma estratégia de introdução de N no sistema. Apesar da pouca disponibilidade de informações sobre adubação verde e rotação de culturas com leguminosas, mesmo sistemas de produção de grãos com alta produtividade, com uma rotação adequada podem ser praticamente auto-suficientes em nitrogênio (Feiden, 1999).

Uma unidade de produção agroecológica deveria sempre conter a componente produção animal, pois permite otimizar os ciclos de nutrientes através do aproveitamento dos resíduos da produção agrícola na alimentação animal e os resíduos animais, principalmente fezes e urina como fontes de fertilizantes. A falta de fontes próprias de esterco pode se tornar limitante na transição de sistemas convencionais para orgânicos, pois com a importação de esterco, além do aumento dos custos de produção, nem sempre se consegue um material de boa qualidade, livre de contaminantes. Os esterco podem ser utilizados curtidos, ou então visando aumentar o volume do material e reduzir as perdas de nitrogênio, o mesmo pode ser processado na forma de composto orgânico ou como vermicomposto. Alguns compostos sofrem uma série de adições de minerais ou outros componentes orgânicos para aumentar sua eficiência. Entre eles o Bokashi, composto complexo, recomendado pela Agricultura Natural. Também podem ser utilizados uma série de biofertilizantes líquidos, em geral enriquecidos com micronutrientes, tais como o "supermagro", e o "agrobio" entre outros.

Para reposição ou elevação dos níveis de fósforo no solo, em sistemas agroecológicos não são utilizados fertilizantes solúveis de reação ácida, pois os mesmos além de aumentarem a acidez do solo, ainda são muito facilmente fixados ao solo de maneira permanente. Nos sistemas agroecológicos a adição do fósforo pode ser feita através de fosfatos de rocha sedimentares, que tem uma relativa solubilidade, e podem atender as necessidades das plantas. Estes fosfatos de rocha têm o inconveniente de serem importados, o que torna sua utilização mais onerosa.

Os fosfatos de rocha nacionais, têm o inconveniente de serem de muito baixa solubilidade, e embora possam ser utilizados em culturas perenes e pastagens, não são indicados para culturas anuais e de ciclo muito curto, pois necessitariam de dosagens muito elevadas o que além de aumentar os custos, traria o risco da adição de quantidades significativas de metais pesados (Amaral Sobrinho, 1992). Recomenda-se portanto a utilização de termofosfatos, pois além de terem solubilidade média, o que atende as demandas das culturas, ainda são fertilizantes de reação alcalina, o que auxilia a correção da acidez do solo. Como a aplicação do fósforo se dá em um ambiente com alta atividade biológica, a ação de microorganismos solubilizadores e de fungos micorrízicos potencializa o seu aproveitamento pelas plantas e a imobilização biológica competirá com a fixação química, aumentando a eficiência das aplicações, esperando-se que ao longo do tempo as necessidades de aplicação de fósforo diminuam. Outra fonte de P muito interessante quando disponível é a farinha de osso, pois como o elemento está em forma orgânica, sua absorção é facilitada e a fixação minimizada. Os esterco e compostos também veiculam pequenas quantidades de fósforo.

O fornecimento de potássio em sistemas orgânicos ainda não está completamente resolvido, pela falta de uma fonte segura e largamente disponível, tanto que a utilização do sulfato de potássio em pequenas quantidades ainda é tolerado em regiões onde não se dispõe de outra fonte de potássio. No entanto a utilização do cloreto de potássio não é recomendada, pois como o nitrogênio, quando fornecido de fontes solúveis, é absorvido em excesso, causando desequilíbrios na fisiologia interna da planta aumentando sua suscetibilidade a pragas e doenças. Como adubação mineral de potássio poderão ser utilizados silicatos de potássio, que infelizmente ainda não são facilmente encontrados e sobre os quais ainda não se tem muita informação científica. Uma fonte relativamente abundante e geralmente desprezada são as cinzas de diversos tipos de fornos, que em geral não tem utilização. São uma excelente fonte de potássio, veiculam um bom número de micronutrientes, além de terem um efeito moderado como corretivo de acidez. Contudo deve-se ter muito cuidado com a origem das cinzas, pois dependendo do material queimado, as mesmas podem conter elementos tóxicos ou metais pesados.

Cálcio e Magnésio são geralmente adicionados como calcário, embora também sejam veiculados pelas cinzas e farinha de ossos. O enxofre é fornecido em boas quantidades pelos esterco e biofertilizantes, e casos de deficiências no sistema podem ser corrigidos pela adição de gesso agrícola.

Como fontes de micronutrientes podem ser utilizados os FTEs, termofosfatos com micronutrientes ou os biofertilizantes enriquecidos.

Mais importante até mesmo que a fonte de origem dos adubos, é a lógica que dá embasamento a adubação na agroecologia. Neste sistema a preocupação básica não é o fornecimento de nutrientes para a produção máxima de uma dada cultura, mas sim a manutenção do equilíbrio do sistema, Desta forma otimiza-se todo o conjunto de organismos vivos, provocando sinergia entre eles, otimizando os ciclos de nutrientes e as cadeias tróficas, para ter um sistema sadio e equilibrado, visando produtividades ótimas e sustentabilidade ao longo do tempo.

4.4 - Estimulo à atividade biológica

Os conhecimentos sobre os solos evoluíram junto com a evolução da química, sendo que os processos químicos do solo foram os primeiros a serem desvendados e que proporcionaram as principais respostas às intervenções humanas. Assim, criou-se o mito que os processos químicos do solo seriam os processos chaves para a fertilidade e produtividade dos solos. Os recentes estudos sobre a biologia do solo, ainda em seu início e com grandes lacunas a preencher, têm indicado que estes processos químicos do solo são profundamente mediados pela ação biológica.

Pontos chaves nos ciclos biogeoquímicos dos nutrientes são mediados ou dependentes da ação biológica. Assim uma intervenção agroecológica, deverá necessariamente proporcionar estímulos às atividades dos organismos do solo, aí compreendido o complexo de plantas, (culturas produtivas, culturas de cobertura e adubos verdes e o complexo de plantas espontâneas) a fauna edáfica e o conjunto de microorganismos.

A importância da atividade biológica do solo está relacionada com os processos de mineralização e imobilização dos nutrientes, entrada e saída dos mesmos do sistema, ação sobre organismos indesejáveis e estímulo aos desejáveis.

Inúmeros processos biológicos são desejáveis e podem substituir ou reduzir o aporte de nutrientes externos. Entre os mais conhecidos está a fixação biológica do nitrogênio, principalmente por bactérias associadas às leguminosas. No entanto são importantes também as bactérias fixadoras de vida livre, as associadas à rizosfera. As bactérias fixadoras associadas à rizosfera, além da fixação do nitrogênio, ainda produzem substâncias promotoras de crescimento, que atuam estimulando o desenvolvimento das plantas associadas. Recentemente foram descobertas inúmeras bactérias fixadoras endofíticas, que atuam principalmente no interior de plantas de propagação vegetativa.

Outro grupo de microorganismos de extrema importância são os fungos micorrízicos que se associam às raízes de diversas plantas aumentando o volume de solo explorado pelas mesmas em até 10 vezes, permitindo a estas plantas sobreviverem em condições muito mais inóspitas que sem esta associação. São fundamentais para absorção do P, pois apesar de absorverem o elemento do mesmo "pool" que os pêlos radiculares, pela baixa mobilidade do elemento no solo, proporcionam condições de absorção muito superiores às normais. Com relação ao fósforo, são importantes também os microorganismos solubilizadores de fósforo, que conseguem solubilizar fósforo, que de outra maneira não estaria disponível às plantas.

Actinomicetos produtores de antibióticos, microorganismos do ciclo do enxofre, do ferro, complexadores de elementos tóxicos entre outros, estão recebendo atenção recentemente e o avanço do conhecimento sobre estes organismos poderá melhorar nosso conhecimento sobre as questões-chaves do solo.

Uma outra linha de pesquisa até a pouco relegada a segundo plano, é o estudo da fauna do solo, mostrando que os pequenos animais do solo têm papel-chave na reciclagem da matéria orgânica do solo, tanto como fragmentadores do material mais grosseiro, como estimuladores da ação microbiana, através das suas fezes, como da disseminação dos microorganismos pelo solo, na incorporação da matéria orgânica ao solo e na mistura de camadas minerais.

Num sistema de manejo agroecológico não se necessita conhecer profundamente cada grupo de organismos. Alguns princípios simples seguidos pelas práticas agroecológicas tem se mostrado positivos no estímulo à diversidade de organismos e das funções ecológicas realizadas por eles. Assim a eliminação da queimada e a cobertura permanente do solo cria condições favoráveis à microfauna e aos microorganismos. A adição de massas de matéria orgânica, tanto pelos resíduos culturais não queimados, como pelas culturas de cobertura, adubos verdes e adubação orgânica fornecem substrato ao desenvolvimento tanto da fauna como da flora edáfica. A rotação de culturas, policultivos e manejo de plantas espontâneas aumenta a diversidade vegetal, e devido à entrada de diferentes tipos de exsudatos e restos culturais, estimula a diversidade biológica nestas condições.

4.5 - Manejo de plantas espontâneas

No sistema de manejo de solo convencional, há uma preocupação em eliminar toda e qualquer planta diferente da cultura que surja no sistema, e que são chamadas de plantas daninhas, mato, pragas ou inços. No manejo agroecológico, as plantas diferentes da cultura são denominadas de plantas espontâneas, pois surgem independente da vontade do agricultor, porém isto não significa necessariamente que sejam prejudiciais à cultura. Não que não haja preocupação com os possíveis efeitos negativos destas plantas sobre as culturas, pois muitas, quando não manejadas adequadamente, podem causar graves perdas às culturas, tanto por competição por água, luz e nutrientes, como por efeitos alelopáticos negativos, isto é, ação inibidora de algumas plantas sobre outras, causadas por exudatos de raiz ou substâncias voláteis.

No entanto o enfoque dado muda, pois ao invés de uma eliminação completa das plantas espontâneas, no manejo agroecológico se procura conviver com elas. Para o planejamento do manejo das plantas espontâneas deve-se responder três questões fundamentais:

Qual é a função ecológica de cada espécie? É fundamental conhecer o papel ecológico de cada espécie espontânea, e neste campo as informações disponíveis são muito poucas. Muitas vezes é necessário recorrer ao conhecimento prático dos agricultores mais antigos, que possuem algumas informações empíricas sobre muitas espécies. Além dos papéis mais gerais de cobertura e proteção da superfície do solo e estoque de nutrientes nos agroecossistemas, as diferentes plantas espontâneas podem prestar serviços ecológicos tais como reciclagem e solubilização de determinados nutrientes, estímulo a microorganismos benéficos e inibição aos patogênicos, atração ou repulsão de organismos potencialmente daninhos, hospedagem de insetos polinizadores, etc.

Quais plantas realmente são problemáticas? Há plantas que realmente são problemáticas nos ciclos de diferentes culturas. Com relação a estas, é fundamental conhecer o nível de dano econômico e o estágio a partir do qual passam a causar dano, para que se possa planejar as estratégias de manejo.

É impossível conviver com determinada espécie? Quando for constatada a impossibilidade de conviver com determinada espécie, pode-se prever uma eliminação seletiva desta, mantendo as demais sob manejo controlado no agroecossistema.

Diferentes estratégias podem ser utilizadas para manter as plantas espontâneas sob controle:

- Manter o solo coberto: A proteção do solo por uma massa de plantas vivas ou restos de plantas mortas ("mulch") impede o desenvolvimento de plantas espontâneas, impedindo as plantulas germinadas de receber a luz necessária para o seu desenvolvimento, como pela ação inibitória dos exudatos das plantas vivas ou do metabólitos da decomposição dos restos vegetais na superfície. Pode ser utilizada a cobertura viva, com plantas que cobrem o solo entre as plantas cultivadas e que comprovadamente não tem efeito antagônico com a cultura. Ou então pode ser utilizada a cobertura morta, fornecida tanto pelo pré-cultivo de alguma espécie de mineralização mais lenta, com o objetivo de produzir esta cobertura, como pelo aporte de restos vegetais a partir de outras áreas.
- Não revolvimento do solo: O não revolvimento do solo mantém as sementes das plantas espontâneas na superfície do solo, sujeitas às intempéries e predadores, sem condições adequadas à sua germinação.
- Controle mecânico: É o sistema mais comum de controle, que pode ser feito através de capinas, manuais ou mecânicas, ou então o que é mais recomendado, através de roçadas a partir do momento em que as plantas espontâneas atingem o ponto de dano econômico.
- Controle térmico: Embora não muito comuns, e até mesmo vistos como ressalvas, existem alguns processos térmicos para redução da população de algumas espécies mais problemáticas, como é o caso da solarização para o controle de tiririca, e a utilização de lança-chamas em alguns países da Europa para controle das plantas nas entrelinhas das culturas.
- Controle seletivo: É a utilização de diferentes práticas de controle de população contra apenas uma ou determinadas espécies dentro do complexo de plantas espontâneas, mantendo as demais, com a finalidade de criar um complexo de plantas espontâneas com funções ecológicas mais favoráveis ao sistema. Algumas

práticas agronômicas como calagem, descompactação, adubação entre outras também podem ser usadas para favorecer ou estimular determinadas espécies dentro do complexo de plantas espontâneas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora neste texto as diversas atividades tenham sido separadas por questões didáticas, na realidade, no manejo agroecológico, ocorrem de forma integrada, onde uma prática como por exemplo a adubação, tem reflexos sobre os diferentes componentes, tais como, mudança no complexo de plantas espontâneas, atividade dos microorganismos e da fauna do solo, resistência ou suscetibilidade a pragas e doenças, quantidade e qualidade da biomassa produzida, etc.

Também não existem receitas generalizadas e aplicáveis indistintamente em todos os locais. Na prática, como os agroecossistemas são resultado da matriz ecológica modificada de acordo com a história de vida de cada agricultor, cada agroecossistema terá potenciais e problemas próprios, exigindo desenhos e soluções próprias para seu manejo, e que deverá ser atingido com base nos princípios agroecológicos gerais, recursos existentes e na criatividade conjunta do agricultor e do técnico assessor.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, D. L. de; SUDO, A.; EIRA, P. A. da; RIBEIRO, R. de L. D.; CARVALHO, S. R. de; FRANCO, A. A.; TEIXEIRA, M. G.; DE-POLLI, H.; RUMJANEK, N. G.; FEIDEN, A.; AQUINO, A. M. de; STEPHAN, M. P.; SILVA, E. M. R. da; ABBOUD, A. C. de S.; GUERRA, J. G. M.; LEAL, M. A. de; LIGNON, G. B.; PEREIRA, J. A. R.; BORJA, G. E. M.; RICCI, M. dos S. F.; SOUZA, E. R. **Sistema Integrado de Produção Agroecológica**, Seropédica: Embrapa *Agrobiologia*, 1998. 14p. (Embrapa - CNPAB. Documentos 70).

AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; COSTA, L. M.; OLIVEIRA, C. de; VELLOSO, A. C. X.; Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 271-276, 1992.

ARL, V.; RINKLIN, H. **Livro Verde 2 - Agroecologia**. Caçador:CEPAGRI-Terra Nova, 1997. 70 p.

CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. **Vocabulário de Ciência do Solo**. Campinas: SBCS, 1993. 92p.

FEIDEN, A. **A dinâmica do nitrogênio em um solo dos Campos Gerais do Paraná sob dois sistemas de cultivo**. 1999. 154f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

JORDAN, C. F. Ciclagem de Nutrientes e Sivicultura de Plantações na Bacia Amazonica, In: ROSAND, P. C. **Reciclagem de Nutrientes e Agricultura de Baixos Insumos nos Tópicos**. Ilhéus: CEPLAC /:SBCS, 1985. p. 187-202.

MALAVOLTA, E. **Manual de Química Agrícola, Nutrição de Plantas e Fertilidade do Solo**. São Paulo: Ceres, 1976. 528p.

VIEIRA, L. S. **Manual da Ciência do Solo**. SãoPaulo: Ceres, 1975. 468 p.