

## Sistema solo na perspectiva da contaminação

Vanderlise Giongo  
Tony Jarbas Ferreira Cunha  
Roseli Freire de Melo

Os ecossistemas terrestres têm como base de sustentação o solo que, além de servir de suporte para as raízes, desempenha funções essenciais para a funcionalidade e sustentabilidade dos ecossistemas, garantindo a produção de alimentos, fibras, matérias-primas diversas e serviços ambientais. O solo não se resume apenas às suas partículas minerais, mas a um conjunto composto de minerais, matéria orgânica, organismos vivos, água e ar, cujo equilíbrio se reflete no potencial produtivo e na sustentabilidade agrícola. Por isso, seu bom funcionamento é essencial para processos vitais à manutenção do planeta (SIQUEIRA et al., 2008).

Para iniciar a contextualização do sistema solo na perspectiva da contaminação ambiental, tanto por agrotóxicos como por metais pesados, serão tomados como referência os conceitos que se iniciaram com Lovelock (1972) que propôs a Teoria de Gaia. Esta teoria explica a existência de um sistema controle, que compreende a biosfera, a hidrosfera, a atmosfera, os solos e parte da crosta terrestre, e tem a capacidade de manter a propriedades do ambiente, como a composição química e a temperatura, em estados adequados para a vida. Este autor desenvolveu ainda mais a sua teoria em artigos publicados em colaboração com a microbiologista Lynn Margulis. Nesses artigos, Lovelock e Margulis propuseram a existência de uma rede complexa de alças de retroalimentação que, em sua visão, relacionariam seres vivos e ambiente físico-químico, resultando numa autorregulação do sistema. Por meio desses mecanismos de controle, os

seres vivos seriam capazes de alterar o ambiente de modo a manter as condições físico-químicas adequados para eles próprios.

Não só a Teoria de Gaia, mas tantas outras teorias e paradigmas devem ser revistas, como a das Estruturas Dissipativas, de Prigogine (1996, 1997), Autopoiese, de Maturana (2000), Abordagem Bootstrap, de Chew (1977), Capra (1995, 1997) e o Paradigma da Complexidade, de Morin (2003), para descrever e entender a ação antrópica dentro de um processo coevolutivo, onde o ser humano pode ser visto tanto como um organismo destrutivo das próprias condições que o mantém, quanto um ser construtivo de uma nova ordem, com altos níveis de energia. Neste contexto, pode-se refletir sobre as afirmações de Kant (2000. p.43) que diz:

O homem está submetido às leis da natureza, assim como qualquer outro ser natural. Entretanto, enquanto ser livre pertence ao mundo inteligível, o homem se afasta das leis naturais e age de acordo com outro tipo de lei, em oposição ao mundo natural.

## **O histórico da agricultura**

Para contextualizar o sistema solo na perspectiva dos processos de contaminação e inferir técnicas de manejo e conservação é imperativo conhecer a história da agricultura. A agricultura e a pecuária surgiram a milhares de anos e representam um importante acontecimento na história da humanidade. Ao possibilitarem um ganho de energia 10 vezes maior do que aquele proporcionado pelas atividades de caça e coleta, as atividades agropecuárias ocasionaram, entre outras coisas, num grande crescimento demográfico (McNEILL, 2000). Contribuíram para isso, os aportes tecnológicos, que se intensificaram a partir da Revolução Industrial e que tiveram seu ápice no início da segunda metade do século 20, com a Revolução Verde. Alicerçada nos pilares mecânico, químico e genético, a Revolução Verde atingiu vários países, inclusive o Brasil, promovendo mudanças na base técnica da agricultura e da pecuária por meio de um “pacote tecnológico” constituído por máquinas, fertilizantes, agrotóxicos e variedades vegetais geneticamente melhoradas (BARRETO et al., 2007).

A degradação ambiental também foi originada pela modernização e se mantém nos dias atuais. A adoção de técnicas mecânicas não apropriadas às características de cada solo agravou os processos erosivos no Brasil. Outras atividades de grandes impactos são o desmatamento e a queimada,

práticas realizadas no preparo de áreas para implantação de cultivo que, também, tem contribuído para perdas de grandes quantidades de solos, além de contribuir para a extinção de algumas espécies e transformação de outras em pragas para a agricultura (CAMPANHOLA et al., 1996), o que por sua vez intensificou a utilização de agrotóxicos. O uso indiscriminado de agrotóxicos tem causado contaminação de diferentes compartimentos do ambiente, como solo e água e, conseqüentemente, levado ao desequilíbrio ambiental causando intoxicações em muitas espécies de vegetais e animais e, inclusive, no homem.

Segundo Campanhola et al. (1996), os agrotóxicos produzem impactos não pontuais, pois quando acumulado na cadeia alimentar, podem causar danos em regiões muito distantes daquelas onde foram aplicados. Os fertilizantes também possuem essa característica, pois, associados aos processos erosivos, poluem as reservas de água. O uso abusivo que muitas vezes é feito desses produtos químicos contribui para o agravamento dos impactos (KORMONDY; BROWN, 2002). De modo geral, as contaminações ambientais decorrentes da utilização de agrotóxicos e fertilizantes têm uma abrangência restrita relacionada com os perímetros irrigados e está associada a um plano de desenvolvimento.

Segundo Barros et al. (2004), no final dos anos de 1960, o governo brasileiro criou o Plano Plurianual de Irrigação. Este plano tinha como objetivo implementar pesquisas no sentido de criar perímetros de irrigação no Semiárido, para equilibrar as diferenças sócioeconômicas entre o interior e o litoral. Estas ações deveriam levar em consideração a existência de reservatórios naturais de águas perenes e subterrâneas, possibilitando a formulação de estratégias de desenvolvimento socioeconômico a partir da agricultura irrigada. Estes investimentos vêm sendo realizados, no Vale São Francisco, desde a década de 1970. Inicialmente, com a implementação da infraestrutura de irrigação, de autoestradas, aeroportos e todos os aportes necessários às indústrias processadoras de matérias-primas e empresas agrícolas de outras regiões brasileiras, bem como, do exterior. Assim, foram gerados efeitos diretos e indiretos sobre o emprego e a renda, reduzindo o êxodo rural em direção às grandes cidades e gerando um desenvolvimento socioeconômico para a região.

A área mais desenvolvida do Vale do São Francisco é o Polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA, com uma superfície de 35.436,857km<sup>2</sup> e 707.197 habitantes (IBGE, 2009) 32.295 km<sup>2</sup> e 565.355 habitantes, localizado no Submédio São Francisco, no centro da região conhecida como "Polígono da seca". Os primeiros projetos de irrigação foram introduzidos neste polo

quando a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) se encarregou de dar o passo inicial com a implantação dos projetos Bebedouro e Mandacaru, em 1968. Na década seguinte, foram introduzidos mais quatro projetos públicos: Maniçoba e Curaçá, na Bahia, em 1982; Tourão, na Bahia, e Senador Nilo Coelho, em Pernambuco, em 1984, que juntos totalizavam, na época, 46.279 ha irrigados (BARROS et al., 2004). Atualmente, a produção é diversificada, se concentrando, sobretudo, no campo da fruticultura e olericultura irrigadas destinadas, em boa parte, ao mercado externo.

Diante dessa realidade, pode-se supor que a alta tecnologia utilizada na irrigação, combinada com o uso de insumos modernos, possibilita um nível de produção próximo ou sobre a fronteira da produção, porém, os impactos resultantes do uso de agrotóxicos e fertilizantes podem, e devem ser melhor estudados. Para tanto, deve-se considerar que o solo é a base de um ecossistema. A seguir, serão descritos as principais características dos solos que afetam a dinâmica de substâncias químicas, bem como, as principais classes de solos encontradas no Semiárido.

## **Características de solo que afetam a dinâmica de substâncias químicas**

**Argila** – O termo argila pode se referir a uma classe granulométrica sem implicação na constituição mineralógica. Os minerais da fração argila no solo são os responsáveis pela retenção e distribuição da água, nutrientes, calor e gases. Em solos tropicais, a mineralogia é relativamente simples, sendo constituídos principalmente de caulinita, óxidos de Fe (hematita, goetita e maghemita), óxidos de Al (gibbsita) e menores proporções de minerais do tipo 2:1 (vermiculita).

Os óxidos hidratados ou sesquióxidos de Fe, Al e manganês (Mn) presentes no solo são derivados do intemperismo de minerais formadores de rochas. Quantidades importantes de metais podem ser coprecipitadas, oclusas ou adsorvidas aos óxidos hidratados de Fe, Al e Mn. O metal retido sob estas formas tanto pode ser residual, quanto adquirido a partir da composição do solo ou de águas subterrâneas. A facilidade com que tais metais são liberados ou extraídos varia de acordo com a natureza das ligações e das condições do óxido. Os metais simplesmente precipitados ou adsorvidos podem ser facilmente liberados por reações químicas suaves, como as águas levemente ácidas das precipitações pluviais. A proporção de metal solúvel relativa ao metal total tende a decrescer com o tempo e com a

progressiva desidratação do óxido, quando então poderá ser liberado apenas por reações ácidas mais fortes.

Os óxidos hidratados de Fe e de Mn são importantes porque durante sua precipitação podem incorporar, por coprecipitação, outros íons que não seriam normalmente afetados por modificações de pH e Eh (potencial redox). Uma vez formados, estes têm a tendência de capturar ou adsorver elementos com a superfície em contato. Adsorção é definida como a atração de íons ou moléculas às superfícies de corpos sólidos com os quais entrem em contato. No final de ambos os processos, muitos íons como o cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) e o zinco ( $\text{Zn}^{2+}$ ), que seriam muito móveis, pelo menos em condições levemente ácidas, tendem a se concentrar nos precipitados de Fe e Mn (LICHT, 1998).

Geralmente, os óxidos de Fe e Mn têm uma importância maior que os de Al e silício (Si), pois têm capacidades de sorção mais elevadas, se dissolve à medida que o potencial redox decresce e reprecipita quando o sistema se torna mais oxigenado (JENNE, 1968). Dissoluções e precipitações alternadas tendem a manter os óxidos de Fe e Mn num estado amorfo ou com baixo grau de cristalinidade, apesar de extremamente ativos. Um baixo grau de cristalinidade facilita a incorporação não estequiométrica (sorção) de íons estranhos nos óxidos (ROSE et al., 1979). Entre esses íons podem se encontrar elementos tóxicos que causam danos ao ambiente.

Para que os íons  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  permaneçam em solução é necessário que as condições sejam redutoras. O  $\text{Fe}^{2+}$  é oxidado mais facilmente a  $\text{Fe}^{3+}$  e o  $\text{Mn}^{2+}$  a  $\text{Mn}^{3+}$  ou  $\text{Mn}^{4+}$  e, assim, é comum encontrar estes elementos, sob a forma de óxidos ou hidróxidos. Segundo Jenne (1968), dentre os óxidos de Mn, Fe, Co, Ni, Cu e Zn em solos, sedimentos e água, os de Fe e Mn são os principais controladores da fixação de metais pesados.

A fração argila-mineral diz respeito aos aluminossilicatos que compõem a fase coloidal dos solos e águas. Argilas caulíníticas (filossilicatos com estrutura do tipo 1:1) mostram capacidades sortivas ou CTC menores, pois, apenas uma camada carregada está exposta aos processos de sorção e as posições de troca já estão ocupadas por íons hidrogênio. Essas argilas apresentam menor capacidade de adsorção de elementos tóxicos, logo, os mesmos ficam disponíveis na solução do solo, podendo causar sérios impactos nos aquíferos. Argilas esmectíticas ou montmoriloníticas (filossilicatos com estrutura do tipo 2:1) apresentam maiores valores de CTC, já que têm duas camadas disponíveis e maior deficiência de carga.

**Matéria orgânica** - A matéria orgânica é um dos constituintes mais importantes dos solos, sedimentos de fundo de drenagens e águas naturais superficiais. Em virtude de suas propriedades singulares, quando comparada com outros materiais naturais, mesmo em quantidades muito reduzidas de matéria orgânica, podem mostrar efeitos importantes na mobilidade dos elementos traço. Tais efeitos incluem a complexação de íons traço por matéria orgânica dissolvida, o que resulta em aumento na mobilidade dos elementos, adsorção ou formação de compostos orgânicos, resultando em imobilização e redução a estados de valência mais baixa, com mudanças nas propriedades químicas.

Os metais se ligam à matéria orgânica de diversas maneiras. Ácidos orgânicos contendo grupos  $\text{-COOH}$ ,  $\text{-OH}$  ou similares, podem formar sais orgânicos, nos quais os metais ocupam o local do  $\text{H}^+$  ionizável, geralmente com ligações moderadas. Os metais podem ser ligados diretamente ao carbono formando compostos organometálicos ou, então, ao N, O, P ou S com ligações fortes. Em muitos compostos orgânicos, os metais são quelados, ou seja, ligados a duas ou mais posições na molécula por meio de ligações muito fortes (ROSE et al., 1979). Os metais também podem ser atraídos eletrostaticamente a partículas coloidais de matéria orgânica por meio de ligações fracas. Provavelmente, a maior parte da matéria orgânica dos solos, águas e de sedimentos é composta por substâncias húmicas. Formam-se pela degradação dos materiais de plantas e atividade microbiana, e por ressíntese, dividem-se em três grupos: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina.

As substâncias húmicas são misturas complexas de compostos, de modo que, suas propriedades físico-químicas são aquelas da mistura ao invés das de um composto simples. A abundância de radicais  $\text{-COOH}$  e  $\text{-OH}$  dá aos ácidos húmicos e fúlvicos propriedades ácidas e, também, capacidade de adsorver, complexar e quelar os metais, já que, quando dissolvidos na água, os componentes húmicos e fúlvicos têm carga negativa (ROSE et al, 1979).

Diante das condições climáticas do Semiárido brasileiro, é de suma importância a manutenção da matéria orgânica no solo. Pois, em consequência das altas temperaturas e intensa atividade microbiana em condições de umidade, praticamente todo o material orgânico é decomposto. Por isso, grande parte desses solos possui baixos teores de matéria orgânica, principalmente os arenosos. A capacidade tampão dos solos é baixa, e sob o aspecto da contaminação ambiental, há pouca

capacidade de adsorção de elementos traço, necessitando de práticas que possam adicionar e conservar a matéria orgânica no solo.

Dentre as práticas conservacionistas, o cultivo mínimo, a adubação verde, a utilização de coquetéis vegetais e a manutenção da cobertura morta no solo (restos culturais), nas condições climáticas do Semiárido brasileiro, podem contribuir para aumentar a eficiência do uso da água pelas plantas e reduzir as perdas por evapotranspiração, em confronto com o cultivo tradicional (arações e gradagens), onde os restos das culturas, quando existem, são rapidamente decompostos, ou utilizados para alimentação de animais, como caprinos e ovinos, prática comum nesta região. Essas práticas podem aumentar o potencial produtivo e reduzir os impactos dos resíduos de agrotóxicos e fertilizantes em compartimentos ambientais, como solo e água.

**Porosidade e permeabilidade** - A porosidade do solo é o espaço que existe entre as partículas e que pode ser preenchido por ar ou água. A permeabilidade está relacionada com a porosidade, e consiste na capacidade que o solo tem de se deixar atravessar pela água e outros fluidos. Quanto maior a permeabilidade do solo, menor é a sua capacidade de retenção de água. Logo, um solo muito poroso e muito permeável tem capacidade menor de reter água, quando comparado a um solo pouco poroso e pouco permeável. A matéria orgânica altera a porosidade do solo e, conseqüentemente, a sua permeabilidade.

## **Pesticidas nos solos e em seus constituintes**

Em razão do crescimento populacional, para atender à demanda alimentícia tem sido necessária a utilização de agroquímicos na agricultura. Embora haja conhecimento acerca dos impactos ambientais causados pela aplicação desses produtos, parece que eles ainda continuarão sendo um componente indispensável às atividades agrícolas (TOSCANO, 1999). Após a aplicação e atuação nas culturas, o pesticida pode permanecer no solo por muito tempo, mantendo, ou não, seu efeito biológico. Assim, é importante conhecer seu comportamento no solo, para prever se irá causar algum dano ao mesmo e aos demais compartimentos (hidrosfera e atmosfera).

O comportamento dos pesticidas depende das propriedades físico-químicas e biológicas dos solos, bem como de fatores climáticos. Os três processos básicos que podem ocorrer com os pesticidas no solo são, retenção,

transformação e transporte. O processo de transporte, determinado pelo movimento das moléculas do pesticida no solo, é fortemente influenciado por fatores como umidade, temperatura, densidade, características físico-químicas do solo e do pesticida (LAVORENTI, 1999). No caso de pesticidas, às vezes, apenas uma pequena porcentagem da quantidade aplicada atinge o objetivo desejado. Grande parte é transportada por ventos, água de chuvas e irrigação, e é aportada em outros compartimentos, como atmosfera e recursos hídricos (ROCHA et al., 2004). Para minimizar os impactos ambientais, quando necessária, a aplicação de pesticidas deve ser feita com orientação agrônômica, no que diz respeito aos cuidados durante a aplicação, à dosagem necessária, à época e às condições climáticas favoráveis (chuva, velocidade e direção do vento, etc.).

No solo, os resíduos de pesticidas passam por transformações ou processos físicos, químicos, biológicos, ou combinação deles que podem determinar desde seu desaparecimento, até o aparecimento de metabólitos, às vezes, mais tóxicos do que o composto originalmente aplicado ou, ainda, de maior persistência nesse ambiente. Porém, atualmente se reconhece que a grande variedade de microrganismos presentes no solo é potencialmente capaz de biodegradar pesticidas e até produtos simples que podem entrar nos ciclos biogeoquímicos da natureza.

O solo, por sua vez, pode ser contaminado direta ou indiretamente, por meio de aplicações nas culturas, queda de folhagem tratada e movimento de águas contaminadas na sua superfície e no seu perfil. Além disso, o solo é o compartimento do agroecossistema considerado mais complexo, e cuja probabilidade de contaminação por pesticidas é maior. Isso porque o mesmo está exposto de forma direta ou indireta, a exemplo de herbicidas e inseticidas aplicados nas plantas. Os resíduos podem interagir com as fases sólida, líquida e gasosa e com a porção viva do solo, isto é, com a macro e microbiota.

Como consequência da transformação química, pode-se citar o efeito do pH, que determina, muitas vezes, a prevalência de degradação da molécula por processo puramente químico. Mas o pH do solo também tem efeito bioquímico, pois influencia a atividade microbiana e, desta forma, conforme o pH do meio, pode haver, ou não, predominância de atividade microbiana atuando sobre a degradação de pesticidas. O exemplo mais importante de transformação físico-química de resíduos de pesticidas é o que envolve o processo de adsorção da molécula do agrotóxico na matéria particulada do solo (matéria orgânica e argila, principalmente), reduzindo a concentração do composto na solução e, conseqüentemente, diminuindo sua

disponibilidade para os microorganismos. Além disso, o processo de adsorção, por imobilizar, mesmo que temporariamente o composto, pode, também, diminuir o transporte das substâncias por lixiviação.

O conhecimento da estrutura do solo e das propriedades físicas e químicas de um pesticida, muitas vezes, permite uma estimativa de seu comportamento de adsorção. Características químicas como acidez, solubilidade em água, troca de cátions, tamanho da molécula e polaridade influenciam nos processos de adsorção/dessorção de pesticidas nos constituintes do solo (BOESTEN; PAS, 1988).

A adsorção pela matéria orgânica, no entanto, parece ser o principal mecanismo que rege a persistência, degradação, biodisponibilidade, lixiviação e volatilização dos defensivos agrícolas (JAVARONI, et al., 1999). A adsorção reduz a concentração desses compostos na fração solubilizada do solo, removendo parte de sua ação potencial. O resultado é observado pelo decréscimo da disponibilidade biológica, pela aceleração da velocidade de degradação química ou, simplesmente, pelo retardamento do movimento de lixiviação. Os efeitos observados, entretanto, estão diretamente relacionados com a natureza da molécula do adsorbato e superfície adsorvente, com o ambiente químico do solo e com o modo da influência microbiana (REZENDE, 1999).

O papel da matéria orgânica do solo no estudo destas interações pode ser considerado sob os três aspectos principais: a) adsorção, cuja extensão depende da natureza e propriedades do agroquímico, do tipo e quantidade de matéria orgânica presente, e do ambiente providenciado pelo solo; b) a degradação não biológica (WEED; WEBER, 1986) e, c) sorção.

O termo sorção é utilizado para diversas associações possíveis entre pesticidas e colóides do solo (adsorção, absorção, etc.). Mecanismos múltiplos de sorção podem envolver pesticida com sistema heterogêneo como o solo. A absorção, retenção e degradação de agroquímicos pelo solo são influenciadas pelo pH, umidade, capacidade de troca catiônica e temperatura (SENESI, 1992). Outro aspecto relacionado à análise do comportamento desses compostos é o seu movimento no solo, que pode ocorrer em solução ou por meio de fluxo de massa e difusão, quando aqueles se encontram adsorvidos pela matéria orgânica do solo. Difusão é o processo pelo qual a matéria é transportada como resultado do movimento molecular ao acaso, causado por sua energia térmica. O fluxo de massa ocorre como resultado de forças externas agindo como carregadores dos herbicidas. A soma dos processos de fluxo de massa e

difusão determina a velocidade do movimento dos herbicidas no solo (JAVARONI et al., 1999).

Quando uma molécula de um pesticida atinge o solo, esta poderá ser transformada pelos processos físicos, químicos ou biológicos. O conhecimento destes mecanismos ou processos é importante para que se possa controlar a persistência deste composto e minimizar seus efeitos deletérios no ambiente, pois, por mais específico que o produto seja, provavelmente, afetará outros organismos além do inseto, fungo, bactéria, vírus ou planta que são alvo de controle (MUSUMECI, 1992).

As características do pesticida e as condições ambientais determinarão a persistência do produto. A volatilidade é um dos indicativos de sua persistência no ambiente. Esta molécula pode se mover através dos poros do solo como um gás volátil, dependendo da pressão de vapor do composto, adsorção aos colóides do solo, solubilidade, intensidade dos ventos, temperatura ambiente e aguada umidade do solo. As perdas por volatilização podem ser confundidas com as perdas de pesticidas por fotodegradação, em função das dificuldades na diferenciação entre ambas. O mecanismo de fotodegradação ou fotodecomposição é desencadeado quando a molécula do pesticida absorve a energia da radiação solar excitando os seus elétrons, podendo ocorrer a ruptura de ligações e inativação da molécula (DEUBER, 1992). Além disso, reforça este autor, em casos de solo seco, as moléculas de pesticidas adsorvidas ou depositadas sobre as pequenas partículas do solo podem ser arrastadas pelo vento. Em áreas de topografia ondulada, as moléculas dos pesticidas são passíveis de serem arrastados pelo deflúvio, especialmente em solos argilosos e muito argilosos, nos quais a infiltração da água é mais lenta e difícil.

Outros processos como a oxidação, redução, hidrólise e a formação de complexos são formas de degradação química dos pesticidas (LANGENBACH, 1994). A reatividade química destes dependerá de fatores como o teor de água no solo, o pH, a temperatura e o teor de oxigênio, de modo que altos teores de água favorecem a hidrólise (DEUBER, 1992). Alguns valores de pH podem favorecer a ionização (THEISEN, 1998), bem como, a elevação da temperatura tende a acelerar a degradação, e o teor de oxigênio determinará se as reações serão aeróbicas ou anaeróbicas.

A molécula do pesticida no solo também poderá estar sujeita ao fluxo descendente de água do perfil, ou seja, ao processo de lixiviação (MATTOS; SILVA, 1999). O tipo de solo influencia significativamente na lixiviação dos pesticidas em função da quantidade e tipos de argila, bem

como, teor de matéria orgânica, que determinarão a capacidade adsortiva dos solos. Em geral, solos com elevados teores de argila e matéria orgânica apresentam maior CTC, o que contribui para aumentar a persistência do produto no solo, em função da maior adsorção deste aos colóides orgânicos e minerais. Assim, há redução da quantidade de produto na solução do solo e, conseqüentemente, subtração da quantidade de produto, lixiviação e contaminação das águas subterrâneas (MORAES; REZENDE, 1999).

No Semiárido brasileiro há solos de textura arenosa, como os Neossolos Quartzarênicos, certos Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos, que em decorrência da sua composição textural e baixos níveis de matéria orgânica, favorecem a lixiviação de agroquímicos. Conseqüentemente, contribuem para a contaminação dos aquíferos. Na região do Vale do São Francisco, este processo é intenso por causa do elevado uso de pesticidas nos cultivos agrícolas. Nesta região, os Neossolos Quartzarênicos são muito explorados com a cultura da videira. Entretanto, existem solos argilosos que são explorados com agricultura, como por exemplo, os Luvisolos e alguns Argissolos que apresentam teor de matéria orgânica ligeiramente mais elevados do que os solos de textura arenosa, logo, também apresentam maior CTC, o que contribui para maior persistência da molécula no solo, reduzindo, desta forma, os riscos de contaminação das águas subterrâneas (CUNHA et al., 2008).

No Submédio do Vale do São Francisco, o paclobutrazol (PBZ), molécula xenobiótica do grupo dos triazóis vem sendo utilizado como indutor floral na cultura da mangueira, reduzindo o crescimento vegetativo e promovendo aumento na produção de frutos. Um dos fatores preocupantes é o acúmulo de PBZ no solo, tornando-o vulnerável à contaminação. Nos últimos anos, alguns trabalhos vêm sendo realizados visando diagnosticar o impacto ambiental de sua aplicação. Neste sentido, foram realizados estudos por Milfont et al. (2008) sobre a dinâmica do PBZ em colunas de solo para identificar os mecanismos envolvidos no seu transporte e sorção, em dois solos cultivados com mangueira irrigada nesta região. Estes autores concluíram que o PBZ é mais facilmente transportado no Vertissolo que no Argissolo e oferece risco de contaminação das águas subterrâneas, especialmente, nos Vertissolos.

## **Estratégia de manejo de solo e de culturas**

Atualmente, os sistemas produtivos praticados têm causado sérios impactos no ambiente, principalmente, em razão de manejo inadequado dos recursos

disponíveis. Neste contexto, o solo degradado não exerce seu potencial produtivo, com isso, resulta em sistemas de produção agrícola não sustentáveis. A avaliação da extensão dos danos causados por uma atividade agrícola implantada ou previsão de danos de atividades futuras é uma tarefa difícil de ser realizada, principalmente quando o objetivo é estimar a dinâmica de agrotóxicos e seu impacto ambiental, frente aos diversos fatores que determinam o seu comportamento e quantidade de substâncias empregadas.

O aprimoramento de vários conceitos sobre sustentabilidade em que discorrem da responsabilidade de deixar para as gerações futuras, um mundo dotado de tantas oportunidades quanto o herdado das gerações passadas. Acerca disso, Capra (2005) argumenta que nenhuma delas descreve como construir uma sociedade sustentável. Neste aspecto, sabe-se da importância de reduzir o uso de agroquímicos e da busca de alternativas para mitigar os efeitos nocivos da ação antrópica. Por isso, os avanços na fronteira do conhecimento são necessários para gerar produtos e processos que minimizem esses impactos. Assim, serão descritas práticas mecânicas e culturais de manejo de solo e água capazes de inferir sustentabilidade aos sistemas agrícolas.

Nos últimos anos, a Embrapa Semiárido tem despendido esforços para geração de tecnologias e conhecimentos visando atingir uma agricultura sustentável, baseada no uso racional de fertilizantes, pesticidas e no aproveitamento de fontes alternativas dos recursos naturais, adequadas às condições edafoclimáticas, predominantes no Vale do São Francisco, por ser uma região eminentemente agrícola. Também, estão sendo conduzidos estudos com sistemas de preparo de solos e culturais (denominados de coquetéis vegetais), utilizados como cobertura vegetal e adubação verde, para promover melhorias na qualidade do solo, ordenar e aumentar os rendimentos dos sistemas de produção. Para acompanhar a evolução destes sistemas, são utilizados indicadores químicos, físicos e microbiológicos de qualidade do solo. Porém, estudar os ambientes degradados ou contaminados, por meio de uma abordagem sistêmica, da aplicação dos paradigmas contemporâneos, não mecanicista e não determinista, é um desafio impreterível, compondo criativos e instigantes caminhos na busca das realizações científicas.

Atualmente, muitos dos problemas ambientais acontecem por causa do acúmulo de poluentes acima da carga crítica limítrofe nos solos e dos sedimentos. Outro aspecto importante a ser considerado é a redução da carga crítica, em decorrência de mudanças ambientais ocorridas durante

longo do tempo, ocasionando a liberação de poluentes anteriormente acumulados (SMIDT, 1991). As moléculas disponíveis interferem nas funções naturais dos solos acarretando perdas de produtividade ou da capacidade de retenção de poluentes. Conseqüentemente, as águas subterrâneas são contaminadas e acontece a absorção destes pelas raízes das plantas, podendo assim, ocasionar a entrada de compostos e elementos tóxicos na cadeia alimentar, acumulando-os nos níveis tróficos superiores pelos processos de biomagnificação e bioacumulação.

**Adubação verde** - é uma prática que mantém os resíduos vegetais na superfície do solo, protegendo-o e liberando nutrientes para as culturas subsequentes, além de melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo.

Em regra, qualquer espécie vegetal pode ser utilizada como cultura de cobertura. Porém, considerando-se as características desejadas, algumas espécies devem ser priorizadas para integrar um sistema de produção que inclua a adubação verde, destacando-se as seguintes:

- Ter sistema radicular profundo, para facilitar a reciclagem dos nutrientes.
- Ter elevada produção de massa seca, tanto da parte aérea como na radicular.
- Ter bom crescimento e boa cobertura do solo.
- Ser agressiva e rústica.
- Possuir baixo custo de sementes.
- Apresentar facilidade na produção de sementes.
- Possuir, preferencialmente, efeitos alelopáticos e/ou supressores em relação às plantas não cultivadas.

Além da quantidade da palhada, avalia-se, também, sua qualidade, ou seja, sua capacidade de proteger o solo e supri-lo de nutrientes para a cultura em sucessão.

O processo de mineralização dos resíduos vegetais possibilita a reciclagem de nutrientes, que ocorre porque o sistema radicular das plantas retira os nutrientes das camadas subsuperficiais do solo, transformando-os em material orgânico e, posteriormente, liberando-os na superfície. Os nutrientes são mineralizados e disponibilizados continuamente para as plantas cultivadas em sucessão. A permanência dos resíduos pode ser alterada pelas características de cada espécie.

Outro efeito importante da adubação verde é a mobilização de nutrientes lixiviados ou pouco solúveis que se encontram nas maiores profundidades do perfil do solo. Dependendo da qualidade do material, em termos de relação C/N (acima de 30), pode ocorrer, inicialmente, um processo de imobilização dos elementos pelos microorganismos do solo para, posteriormente, serem mineralizados.

A mineralização da matéria orgânica é um processo lento, a partir do qual serão retornados ao solo os nutrientes que foram retirados do mesmo pelas plantas de cobertura, acrescentado do nitrogênio (N) fixado de forma simbiótica (no caso de leguminosas). Considerando-se ainda os baixos teores dos principais nutrientes existentes na composição das plantas, não se deve deixar de usar outras fontes de nutrientes, como complementação, de forma a possibilitar a obtenção de maiores produções.

O N é um dos principais elementos necessários ao desenvolvimento das plantas e, do total existente no solo, cerca de 95% encontra-se na forma de N-orgânico. A maior fonte de N é o ar atmosférico (78%) e existem duas formas principais pelas quais o N é transferido de forma natural ao solo. Uma, é através das descargas elétricas que agem sobre a água da chuva, e a outra, é pela fixação biológica e simbiótica do N atmosférico por bactérias diazotróficas (RAIJ, 1991). Destaca-se, em importância, a simbiose que ocorre entre leguminosas e bactérias, especialmente do gênero *Rhizobium*, com o aproveitamento do N elementar (N<sub>2</sub>) do ar sendo transferido para as plantas em formas assimiláveis em quantidades bastante significativas, e que variam de acordo com a espécie, condições de solo e clima (TISDALE et al., 1985).

A quantidade de N liberada ao solo depende da taxa de decomposição dos resíduos pelos microorganismos, de fatores relacionados ao solo e ao próprio material. A decomposição dos resíduos é influenciada pela temperatura, aeração, umidade, reação do solo, quantidade de nutrientes inorgânicos, relação carbono/nitrogênio (C/N) e quantidade de lignina do material. Em termos gerais, pode-se contar com 20 kg de N para cada 1% de matéria orgânica no solo (HAAS, 1999). Porém, deve-se levar em consideração a influência do período de manejo das plantas de cobertura.

A imobilização do N é realizada pelos microorganismos do solo que, a partir do momento da interrupção do ciclo vegetativo da planta, passam a atuar na decomposição dos resíduos vegetais. No início da decomposição, principalmente de espécies com alta relação C/N, há um pico de imobilização (imobilização maior que a mineralização), ocorrendo o

consumo de N mineral do solo, dos restos vegetais, da matéria orgânica e da adubação. Com o passar do tempo, ocorre o restabelecimento gradativo das transformações que acontecem no solo (imobilização igual à mineralização) e, a partir deste momento, começam a liberar o N, imobilizado, para a solução do solo.

A otimização no aproveitamento dos nutrientes, somente poderá ser atingida se houver sincronia entre a velocidade em que o nutriente é liberado dos resíduos culturais e a que o mesmo é absorvido pelas culturas subsequentes (GIACOMINI; AITA, 1999). Wildner e Dadalto (1991) destacam as espécies *Crotalaria juncea* e *C. spectabilis* como excelentes plantas recicladoras de nutrientes do solo, principalmente de óxido de potássio ( $K_2O$ ), óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO).

**Adição de biomassa** - Solos agricultáveis com baixos teores de matéria orgânica e nutrientes poderão necessitar de importação de biomassa. Semear uma gramínea ou leguminosa, roçar sua vegetação e colocá-la sobre a área, é uma forma de suprir, com mais rapidez, as necessidades nutricionais das culturas, além de auxiliar no controle ou manejo ecológico de ervas nativas, bem como os demais benefícios que a cobertura morta proporciona. Para este fim, podem-se utilizar gramíneas, como sorgo forrageiro, milheto e milho, sendo importante incluir leguminosas de porte alto e rústica, como crotalárias, guandu, entre outras (Tabela 1). O N também pode ser fornecido ao solo por meio do uso dos dejetos de animais, sem a necessidade da utilização de leguminosas. A adição de fitomassa no solo, além de contribuir para melhoraria da fertilidade do solo, também reduz o carreamento de elementos tóxicos no ambiente.

**Tabela 1.** Produção de fitomassa (peso de massa fresca e seca) de algumas espécies vegetais utilizadas para cobertura do solo/adubação verde no Perímetro Irrigado de Bebedouro, Petrolina, PE (2004/2005).

Espécies	Fitomassa verde	Fitomassa seca
	----- t ha <sup>-1</sup> -----	
Mucuna preta	19,30	6,51
Mucuna cinza	19,14	4,85
Calopogônio	13,62	3,47
Lab-lab	22,73	6,30
<i>Crotolária juncea</i>	12,50	5,76
<i>Crotolária spectabilis</i>	22,03	5,40
Gaundu	7,87	2,65
Feijão de porco	15,26	3,47
Sorgo	26,63	7,75
Milho	20,09	7,71
Milheto	27,62	6,73
Girassol	18,00	3,72
Mamona	22,25	9,04
Gergelim	9,21	2,18

Fonte: Silva et al. (2006).

**Adubos orgânicos** - Adubos orgânicos são resíduos utilizados na agricultura e que contêm elevados teores de componentes orgânicos, como lignina, celulose, lipídios, graxas, carboidratos e principalmente óleos.

O carbono (C) é o principal elemento entre os compostos constituintes de adubos, mas destaca-se, também, a presença de N, P, K, cálcio (Ca), magnésio (Mg) e micronutrientes. A adubação orgânica pode ser definida como a deposição de resíduos orgânicos de diferentes origens sobre o solo, com o objetivo de melhorar suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Em termos gerais, os adubos orgânicos podem ser agrupados em:

- Origem animal (esterco de caprinos, ovinos, bovinos e outros animais).
- Origem vegetal (adubos verdes e coberturas mortas).
- Resíduo urbano (lixo sólido e lodo de esgoto).
- Resíduos industriais (cinzas e outros).
- Compostos orgânicos (vermicomposto).
- Biofertilizantes (enriquecidos ou não).
- Adubos orgânicos comerciais.

A adubação orgânica apresenta importantes vantagens: aumenta a matéria orgânica do solo, melhora a estrutura do solo, aumenta a capacidade de retenção de água para as plantas, aumenta a infiltração da água da chuva, aumenta a CTC, complexa ou solubiliza alguns elementos químicos tóxicos ou essenciais às plantas – Fe, zinco (Zn), Mn, cobre (Cu), cobalto (Co), molibdênio (Mo) – diminui os efeitos tóxicos do Al e aumenta a atividade microbiana do solo.

Os resíduos orgânicos utilizados na agricultura, geralmente, contêm uma pequena fração mineral (solúvel em água, ácidos diluídos ou soluções salinas), enquanto a maior parte é constituída de compostos orgânicos, os quais devem ser transformados enzimaticamente, para tornar os nutrientes disponíveis às plantas. Este processo é denominado de mineralização, sendo influenciado, de acordo com o suprimento de oxigênio, com as características do material orgânico e com as condições ambientais. Considerando que a relação C/N da microbiota decompositora de resíduos no solo apresenta valor aproximado de 10:1, e que são liberadas duas moléculas de CO<sub>2</sub> para cada carbono incorporado à biomassa microbiana, a mineralização de N pode ocorrer com a adição de resíduos com relação C/N menor que 30:1, a exemplo das leguminosas. Esta relação de C volatilizado e C incorporado à biomassa pode, entretanto, ser muito variável, dependendo principalmente da temperatura, do suprimento de oxigênio e da umidade do solo (TEDESCO et al., 1999).

As características físico-químicas dos compostos orgânicos são variáveis, por exemplo, nos esterco de caprinos, ovinos, bovinos, compostagem, entre outros. A quantidade de nutrientes, especialmente de N, fósforo (P) e potássio (K), está diretamente relacionada com o teor de massa seca dos esterco. O esterco é considerado sólido se a matéria seca for maior que 20%, pastoso entre 8% e 20% e líquido menor que 8%. Os teores de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O estão diretamente relacionados com o tipo alimentação, tamanho dos animais e parâmetros fisiológicos. As fontes de matéria orgânica podem apresentar teores diferenciados de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O. No cálculo da quantidade de nutrientes contidos em uma tonelada de esterco sólido, ou 1.000 L de esterco, deve-se considerar a concentração de nutrientes na matéria seca e o índice de eficiência de liberação do nutriente, da forma orgânica para a mineral, no primeiro e no segundo ano.

O N é considerado um dos principais nutrientes em recomendações de adubação do solo, pois é essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo absorvido na forma amoniacal. Neste sentido, os adubos orgânicos podem suprir as necessidades de N das culturas. Outra fonte

orgânica de N é a urina. Nos estábulos ou pocilgas, o aproveitamento desse resíduo é fundamental, pois, além de fonte significativa de N, reduz os impactos no ambiente.

O efeito dos esterco no rendimento das culturas depende da quantidade e da qualidade a ser utilizada. A aplicação do esterco no solo merece alguns cuidados, que estão diretamente relacionados com sua eficiência, como horário de aplicação e sua incorporação ou não. Recomenda-se que a aplicação de esterco ocorra até às 10h da manhã ou no final da tarde, principalmente em dias quentes. O esterco não incorporado ao solo pode perder, em média, 30% do N por volatilização.

Ressalta-se que os adubos orgânicos constituem um excelente aporte de microelementos, via de regra, não contemplados nas formulações químicas convencionais que se limitam aos macroelementos.

## **Considerações finais**

O uso e manejo do solo, sem uma avaliação prévia das suas potencialidades e limitações, tem sido um dos motivos da degradação e contaminação dos recursos naturais, em especial solo e a água, fundamentais para a sobrevivência do homem.

De modo geral, a exploração agrícola contínua e intensiva dos solos em sistemas irrigados pode causar sua degradação e contaminação. Conseqüentemente, ameaça a qualidade e a sustentabilidade do agronegócio. Outro fator importante está relacionado ao potencial de contaminação humana e de outros animais, além dos corpos d'água contidos neste espaço. Em áreas de sequeiro, ou dependente de chuva, a ausência da vegetação e dos restos de culturas após cada ciclo vegetativo, tem contribuído para a degradação dos solos, principalmente pela erosão hídrica e conseqüente perda da fertilidade, tornando o solo, muitas vezes, improdutivo. A pedológica predominante, no Semiárido brasileiro, é composta, na sua maioria, por solos de textura arenosa e média, pH levemente ácido, baixo teor de matéria orgânica, baixa CTC e baixa capacidade de retenção de água. Características que favorecem a lixiviação ou percolação de íons, como exemplo, as moléculas dos agroquímicos. As elevadas temperaturas e insolação, características do clima semiárido, associadas à alta disponibilidade de água, na agricultura irrigada aumentam a entropia do sistema. Estas condições favorecem o estado de mínima energia e máxima desordem, implicando na redução dos teores de matéria orgânica, nutrientes e retenção de água no solo,

causando sérias restrições na produtividade agrícola e favorecendo a liberação de moléculas e íons para o ambiente.

Contudo, na região semiárida, apesar das constatações dos fenômenos provocados pela ação antrópica, ainda são poucos os trabalhos científicos que comprovem e dimensionem estes impactos. Isso dificulta a proposição de práticas de manejo que visem atribuir qualidade aos diferentes sistemas produtivos, diminuir a entropia e aumentar a ordem, promovendo, assim, a sustentabilidade do agronegócio.

## Referências bibliográficas

BARRETO, M. A.; PEREIRA, G. S. **Canal de fluxo instrumentalizado para experimento em solos não saturados**. 2007.

BARROS, E. S.; COSTA, E.; SAMPAIO, Y. S. B. **Análise de eficiência das empresas agrícolas do Pólo Petrolina/Juazeiro utilizando a fronteira paramétrica Translog**. Revista de Economia e Sociologia Rural, Rio de Janeiro, v. 42, n. 4, p. 597-614, 2004.

BITTENCOURT, A.V.L. **Notas de aula. Disciplina Geoquímica Ambiental**. Curitiba : UFPR, 1998. Curso de Pós Graduação em Geologia.

BOESTEN, J. J.; PAS, L. J. van der. **Modeling adsorption/desorption kinetics of pesticides in a soil suspension**. Soil Science, Baltimore, v. 146, p. 221-231, 1988.

CALVET, R. **Adsorption of organic chemicals in soils**. Environmental Health Perspectives, Cary, v. 83, p. 145-177, 1989.

CAMPANHOLA, C.; LUIZ, A. J. B.; LUCCHIARI JÚNIOR, A. **O problema ambiental no Brasil: agricultura**. In: ROMEIRO, A. R.; REYDON, B. P.; LEONARDI, M. L. A. (Org.). **Economia do meio ambiente: teoria, políticas e a gestão de espaços regionais**. Campinas: UNICAMP, 1996. p. 265-281.

CAPRA, F. **O Ponto de Mutação: A Ciência, a Sociedade e a Cultura emergente**. 25<sup>a</sup> ed. São Paulo: Cultrix, 2005.

CAPRA, F. **O ponto de mutação: a ciência, a sociedade e a cultura emergente**. 20. ed. São Paulo: Cultrix, 1997. 447 p.

CAPRA, F. **O tao da física: um paralelo entre a física moderna e o misticismo oriental**. 16. ed. São Paulo, Cultrix, 1995.

CHAO, T. T.; THEOBALD Jr., P. K. **The significance of secondary iron and manganese oxides in geochemical exploration.** *Economy Geology*, v.71, n.8, p. 1560-1569, 1976.

CHEW, G. **Impasse for the elementary-particle concept.** In: HUTCHINS, R. M.; ADLER, M. In *The sciences today*. New York: Arno Press, 1977. p. 366-399.

CUNHA, T. J. F.; SILVA, F. H. B. B. da; SILVA, M. S. L. da; PETRERE, V. G.; SÁ, I. B.; OLIVEIRA NETO, M. B. de. CAVALCANTI, A. C. **Solos do Submédio do Vale do São Francisco: potencialidades e limitações para uso agrícola.** Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2008. 60 p. il. (Embrapa Semi-Árido. Documentos, 211).

DEUBER, R. **Ciência das plantas daninhas: fundamentos.** Jaboticabal: FUNEP, 1992. v. 1, 431 p.

DUMANSKI, J.; PIER, C. **Application of the Pressure-State-Response Framework for the Land Quality Indicators (LQI) Programme.** *FAO Land and Water Bulletin*, n.5, p.35-56, 1997. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/W4745E/w4745e08.htm>. Consultado em 18 de abril de 2009.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C. **Liberção de nitrogênio durante a decomposição de plantas de cobertura em cultura pura e em consórcio.** Santa Maria, maio de 1999. Trabalho apresentado na disciplina Seminário de Solos I no Programa de Pós-graduação em Agronomia – Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo - CCR, UFSM. Não publicado.

HAAS, F.D. **Aspectos básicos de fertilidade sob plantio direto.** In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO, 1999, Cruz Alta. Resumos de palestras... Passo Fundo: Editora Aldeia Norte, 1999.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?>. Acesso em novembro de 2010.

JAVARONI, R. C. A.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. **Comportamento dos herbicidas Atrazina e Alaclor aplicados em solo preparado para o cultivo de cana-de-açúcar.** *Química Nova*, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 58-64, 1999.

JENNE, E.A. Controls of Mn, Fe, Co, Ni,Cu and Zn concentration in soil sand water, the significant role of hydrous Mn and Fe oxides. **Advances in Chemistry Series**, Washington, v. 73, p.337-387, 1968.

KORMONDY, E. J.; BROWN, D. E. **Ecologia humana**. São Paulo: Atheneu, 2002. 503 p.

LANGENBACH, T. **Biodegradação de xenobiontes**: potencialidades e limites. In: ARAÚJO, R. S.; HUNGRIA, M. (Ed.). *Microrganismos de importância agrícola*. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI; Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1994. p. 217-228. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 44).

LAVORENTI, A. **Comportamento de herbicidas no solo**. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 3., 1999, Santa Maria. Resumos... Santa Maria: UFSM, 1999. p. 21.

LICHT, O. A. B. **Prospecção geoquímica – princípios, técnicas e métodos**. CPRM, Rio de Janeiro, 1998. 236 pp.

LOVELOCK, J. E. **Letter to the editors**: gaia as seen through the atmosphere. *Atmospheric Environment*, New York, v. 6, p. 579-580, 1972.

MATTOS, L. M.; SILVA, E. F. **Influência das propriedades de solos e de pesticidas no potencial de contaminação de solos e águas subterrâneas**. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, Curitiba, v. 9, p. 103-124, jan./dez. 1999.

MATURANA, H. R.; VARELA, F. **A árvore do conhecimento**: as bases biológicas da compreensão humana. São Paulo: Palas Athenas, 2000. 288 p.

McNEILL, J. R. **Something new under the sun**: an environmental history of the twentieth-century world. New York: Norton, 2000. 421 p.

MILFONT, M. L.; ANTÔNIO, C. D. A.; MARTINS, J. M. F.; NETTO, A. M.; GOUVEIA, E. R.; CORREA, M. M. **Transporte do paclobutrazol em colunas de solos**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, v. 32, n. 5, p. 2165-2175, 2008.

MORAES, S. L.; REZENDE, M. O. O. **Influência da argila tipo montmorillonita sobre a adsorção-dessorção dos herbicidas propazina e paraquat**. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, Curitiba, v. 10, p. 63-74, jan./dez. 2000.

MORIN, E. **O método 1**: a natureza da natureza. 2. ed. Porto Alegre: Sulina, 2003. 479 p.

MUSUMECI, M. R. **Defensivos agrícolas e sua interação com a microbiota do solo**. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Ed.). *Microbiologia do solo*. Campinas: SBCS, 1992. p. 341-360.

- PRIGOGINE, I. **O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza**. 3. ed. São Paulo, UNESP, 1996. 199 p.
- PRIGOGINE, I.; STENBERS, I.. **A nova aliança: metamorfose da ciência**. 3. ed. Brasília, DF: UnB, 1997. 247 p.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, 1991. 347p.
- REZENDE, M. O. **A importância ambiental das substâncias húmicas**. 1999. 152 f. Tese (Livre-docência) – Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, São Carlos.
- ROCHA, M.M.; VELLO, N.A.; LOPES, A.C.A.; MAIA, M.C.C. **Yield stability of soybean lines using additive main effects and multiplicative interaction analysis – AMMI**. Crop Breeding and Applied Biotechnology, v.4, p.391-398, 2004.
- ROSE, A.W.; HAWKES, H. E.; WEBB, J. S. **Geochemistry in mineral exploration**. 2 ed. New York : Academic Press, 1979. 657 p.
- SENESI, N. **Binding mechanisms of pesticides to humic**. Science of the Total Environment, Amsterdam, v. 123, p. 63-76, 1992.
- SILVA, S. dos A. B. E.; SILVA, M. S. L. da; FERREIRA, G. B.; SÁ, M. S. M.; CUNHA, T. J. F. **Produção e composição nutricional de espécies para cobertura do solo**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. Resumos e palestras... Aracaju: SBCS: UFS: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2006. 1 CD-ROM.
- SIQUEIRA, O. J.; SOARES, C. R. F. S.; SILVA, C. A. **Matéria orgânica em solos de áreas degradadas**. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 495-524.
- SMIDT, G. R. B. **Introduction and framework of the chemical time bombs project**. In: MAPPING OF SOIL AND TERRAIN VULNERABILITY TO SPECIFIED CHEMICAL COMPOUNDS IN EUROPE AT A SCALE OF 1:5 M, 1991, Wageningen, Holanda. Anais... Wageningen, Holanda: 1991.
- TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. de O.; GIANELLO, C. **Resíduos orgânicos de origem agrícola, urbana e industrial**. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília, DF. Anais ... Brasília, DF: EMBRAPA-CERRADO, 1999. 1 CD-ROM.

THEISEN, G.; VIDAL, R. A.; FLECK, N. G. **Interação dos herbicidas trifluralina e flumetsulan com o pH do solo.** *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, Curitiba, v. 8, p.67-76, jan./dez. 1998.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers.** 4. ed. New York: Macmillan, 1985. 754 p.

TOSCANO, M. **Produtos transgênicos e saúde animal, vegetal e ambiental: um desafio ético?.** Conferencia de la 51º reunión anual de la Sociedad Brasileira para el Progreso de la Ciencia, Porto Alegre, 24p. 1999.

WEED, S. B.; WEBER, J. B. **Pesticide organics interactions.** In: GUENZI, W. D. *Pesticides in soil and water.* Madison: SSSA, 1986.

WILDNER, L. P.; DADALTO, G. G. **Adubos verdes de verão para o oeste catarinense.** *Agropecuária Catarinense*, v.4, n.3, p.36-40, 1991.