

Ciência & Ambiente



Agricultura Sustentável

27

Sumário|C&A|27

- 3 EDITORIAL
- 5 PRÓXIMA EDIÇÃO
- 7 AGRICULTURA SUSTENTÁVEL NO BRASIL
AVANÇOS E PERSPECTIVAS
Paulo Choji Kitamura
- 29 QUALIDADE DOS SOLOS E SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS AGRÍCOLAS
José Miguel Reichert, Dalvan José Reinert e João Alfredo Braidá
- 49 PLANTIO DIRETO NA PALHA
RUMO À SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA NOS TRÓPICOS
Telmo Jorge Carneiro Amado e Flávio Luiz Foletto Eltz
- 67 O CONTROLE DE PRAGAS AGRÍCOLAS E A SUSTENTABILIDADE ECOLÓGICA
Flavio Moscardi
- 85 IMPACTO DAS ATIVIDADES AGROPECUÁRIAS NA QUALIDADE DA ÁGUA
Danilo dos Santos Rheinheimer, Celso Silva Gonçalves e João Batista Rossetto Pellegrini
- 97 LAVOURA ARROZEIRA E RECURSOS HÍDRICOS
*Sérgio L. de Oliveira Machado, Enio Marchezan,
Sílvio C. Cazarotto Villa e Edinaldo Rabaioli Camargo*
- 107 AGROECOLOGÍA Y AGROECOSISTEMAS
Stephen R. Gliessman
- 121 PLURALISMO EPISTEMOLÓGICO E METODOLÓGICO COMO BASE
PARA O PARADIGMA ECOLÓGICO
João Carlos Costa Gomes
- 133 A PESQUISA E OS DESAFIOS DA TRANSIÇÃO AGROECOLÓGICA
João Carlos Canuto
- 141 AGROECOLOGIA
RESGATANDO A AGRICULTURA ORGÂNICA A PARTIR DE UM
MODELO INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO
Miguel A. Altieri e Clara I. Nicholls
- 153 SEGURANÇA ALIMENTAR E AGRICULTURA SUSTENTÁVEL
UMA PERSPECTIVA AGROECOLÓGICA
Francisco Roberto Caporal e José Antônio Costabeber
- 167 INSTRUÇÕES PARA PUBLICAÇÃO
- 168 INSTRUCCIONES PARA PUBLICACIÓN

Ciência & Ambiente

Universidade Federal de Santa Maria
Prédio 13/CCNE – Sala 1110 – Campus Universitário – Camobi
97105-900 – Santa Maria – Rio Grande do Sul – Brasil
Fones: (55)2208735 e (55)2208444/ramal 30
ambiente@ccne.ufsm.br
www.ufsm.br/cienciaambiente

Ciência & Ambiente/Universidade Federal de Santa Maria.
UFSM - v. 1, n.1 (jul. 1990) - . - Santa Maria :
ISSN 1676-4188
Semestral
CDD:605 CDU:6(05)

Ficha elaborada por Marlene M. Elbert, CRB 10/951

Os textos de apresentação (em itálico) e eventuais adaptações feitas em cada artigo, de modo a adequá-los ao padrão editorial da revista, são de inteira responsabilidade do editor.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

Reitor *Paulo Jorge Sarkis*

Centro de Ciências Rurais *Luiz Carlos de Pellegrini - Diretor*

Centro de Ciências Naturais e Exatas *Edgardo Ramos Medeiros - Diretor*

Centro de Ciências Sociais e Humanas *Ronaldo Etchechury Morales - Diretor*

Editor *Delmar Antonio Bressan*

Editores Convidados *Dalvan José Reinert e José Antonio Costabeber*

Conselho Editorial *Beatriz Teixeira Weber*

Élgion Loreto

José Newton Cardoso Marchiori

Miguel Antão Durlo

Ronai Pires da Rocha

Ronaldo Mota

Zília Mara Scarpari

Conselho Consultivo *Alvaro Mones*

André Furtado

Andrey Rosenthal Schlee

Aziz Nacib Ab'Saber

Antonio Carlos Robert Moraes

Emilio Ulibarri

Franz Andrae

Luisa Massarani

Luiz Antonio de Assis Brasil

Pascal Acot

Análise, preparação e revisão de texto *Zília Mara Scarpari*

Editoração de texto e programação visual *Valter Antonio Noal Filho*

Ilustração da capa *Paisagem com casa e lavrador (1889)
de Vincent Van Gogh (1853-1890)*

Impressão e acabamento *Editora Pallotti/Santa Maria*

Afinal, que significados o termo *sustentável* pode assumir na cena contemporânea, já que por tantos empregado e para tão variados fins?

Em princípio, sustentável nos remete a algo duradouro, quase permanente, significação que se pode aplicar às incontáveis faces da atividade humana e ao nosso desejo imanente de influenciar as gerações vindouras com valores e benefícios que nos são caros. Nesse sentido, o vocábulo francês *durable* parece traduzir com maior perfeição o longo alcance que pretendemos atribuir à palavra *sustentável*.

Avançando um pouco, podemos dar-lhe contornos mais precisos, à medida que providenciamos aproximações, por exemplo, com o mundo natural. Neste caso, o manejo dos recursos naturais em bases sustentáveis passa a requerer a consideração de um elemento decisivo: a capacidade de regeneração dos sistemas, que, sabe-se, não é infinita.

A idéia de sustentabilidade, no entanto, não resultaria completa se tomada apenas em sua dimensão ecológica. Portanto, é imprescindível que se adicionem as suas dimensões econômica e social, que a complementam e lhe conferem um novo sentido. Logo, em qualquer tentativa de reflexão ou de investigação sobre o tema que se pretenda levar a cabo, é desejável e mesmo necessário precisar o objeto de análise e o universo que lhe é pertinente, sob pena de gerar-se resultado impreciso, vago e impróprio.

Ciente deste e de outros desafios, os editores da revista *Ciência & Ambiente* lançaram a seguinte questão aos estudiosos dos assuntos ligados à agricultura: será a atividade agrícola desenvolvida nos moldes atuais, sustentável do ponto de vista ecológico? A indagação apresentada, por óbvio, não renunciava ao fato de que o pano de fundo de toda análise deve ser a busca de qualidade de vida e de bem-estar para a

sociedade como um todo. Ainda assim, visando estabelecer certo limite para expressão tão ampla e complexa como **agricultura sustentável**, o foco temático recaiu sobre a sustentabilidade ecológica dos modelos agrícolas postos em prática na atualidade.

Do conjunto expressivo de contribuições que compõem a 27ª edição de *Ciência & Ambiente*, é possível identificar concepções sobre agricultura com diferenças bem marcadas, porém com alguns pontos não desprezíveis de convergência.

De um lado, a agricultura dita convencional, organizada em torno de monoculturas distribuídas em grandes extensões territoriais e do uso intensivo de insumos (adubos, inseticidas, herbicidas etc.), a qual vem realizando contínuos movimentos, no sentido de incorporar conhecimentos e técnicas capazes de minimizar os impactos ambientais decorrentes de sua dinâmica de produção. Nessa linha de raciocínio, podem ser contabilizados avanços importantes, como o plantio direto na palha, o controle biológico de pragas, inovações tecnológicas e genéticas, entre outros aspectos. Mesmo que possam ser referidos como racionalizações que apenas corrigem distorções geradas pelo próprio

modelo, tais progressos não podem ser colocados debaixo do tapete.

De outra parte, ganham terreno as concepções de agricultura que se estruturam a partir de preceitos ecológicos, com destaque especial para a Agroecologia, campo multidisciplinar de conhecimentos que pretende contribuir na construção de estilos de agricultura de base ecológica e na organização de estratégias de desenvolvimento rural, em acordo com os ideais de sustentabilidade e que reconheçam os saberes ditos tradicionais.

Essa generosa proposição presente na Agroecologia não impede, contudo, uma ponderação recorrente: a dificuldade de generalização ou, em outras palavras, o fato de que tais alternativas seriam aplicáveis em pequena escala, como no caso da agricultura familiar.

Mesmo considerando as distinções de natureza paradigmáticas existentes entre estas concepções agrícolas, nenhuma pode se dar ao luxo de desconhecer os progressos e transformações alcançados pela outra, fato que torna conspícuos ao menos alguns pontos de convergência, que bem podem ser explorados por pesquisadores, agricultores e pela sociedade em geral.

Próxima edição | C&A | 28

A 28ª edição da revista *Ciência & Ambiente* será dedicada ao tema **Filosofias da Natureza**. Ao colocar em debate um tema filosófico um tanto esquecido pelos estudiosos, os editores esperam receber contribuições para iluminar as percepções da natureza que caracterizaram os últimos séculos e a obra de pensadores como Aristóteles, Galileu, Hegel, Schelling, Darwin, entre outros.

Participam como editores convidados: **Ronai Pires da Rocha** (Departamento de Filosofia, Universidade Federal de Santa Maria) e **Antonio Augusto Passos Videira** (Departamento de Filosofia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro).

AGRICULTURA SUSTENTÁVEL NO BRASIL

AVANÇOS E PERSPECTIVAS

Paulo Choji Kitamura

A análise dos caminhos da agricultura brasileira em direção à sustentabilidade indica duas alternativas distintas, mas que se complementam: a contínua introdução de inovações na chamada agricultura intensiva, tornando-a cada vez mais responsável em termos ambientais e de saúde pública; e o rápido crescimento da agricultura orgânica e de outros sistemas agroecológicos. Na agricultura intensiva, ganham destaque, pela extensão da área de adoção em diferentes cultivos, tecnologias tais como: variedades e raças com resistência a pragas e doenças e adaptadas para condições ambientais específicas; manejo integrado de pragas e as técnicas a ele associadas; sistema de plantio direto e fixação biológica de nitrogênio. Ainda mais, essa agricultura passa a incorporar em resposta às exigências do mercado, a certificação de qualidade do produto e do meio ambiente no processo produtivo. Uma questão ainda não resolvida é o papel que a tecnologia de transgenia exercerá no desenvolvimento dessa agricultura intensiva. Já o potencial dos sistemas orgânicos pode ser avaliado pela sua oferta de diversidade de sistemas de produção com abordagens integradas, que resgatam mecanismos e processos naturais milenares, básicos para a sustentabilidade em longo prazo. Além disso, os sistemas orgânicos podem revolucionar a agricultura intensiva pela via da concorrência nos mercados, como também pela oferta de seus diferentes componentes tecnológicos para adaptação e uso, mesmo dentro de outras abordagens de produção.

Os avanços recentes em direção à agricultura sustentável no Brasil

Decorridos mais de dez anos da Rio 92 (Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento), as avaliações sobre os avanços mundiais em direção ao Desenvolvimento Sustentável mostram progressos pouco significativos, apesar do espaço que os temas socioambientais passaram a deter nos diferentes organismos multilaterais, nos órgãos nacionais responsáveis pela gestão ambiental e pelas políticas sociais e mesmo na mídia mundial, como resultado da pressão dos diferentes movimentos sociais. Segundo o relatório brasileiro para a Rio+10¹, que avalia o meio ambiente no Brasil a partir da Rio 92, temos pouco a comemorar, em que pese à implementação recente de várias convenções e tratados ambientais internacionais previstos naquela ocasião.

No caso brasileiro, os avanços conseguidos, ainda tímidos, distantes de um resultado encadeado por políticas públicas, mostram que as mudanças da última década decorrem principalmente de iniciativas de setores econômicos na busca de posicionamentos estratégicos frente à globalização de mercados. Em termos de maior visibilidade, o próprio processo de competição fez com que empresas e produtores brasileiros mais articulados com o mercado internacional fossem os primeiros a introduzir instrumentos de gestão ambiental. No momento atual, as novas configurações do setor produtivo mostram a emergência de abordagens da questão ambiental que incluem todos os atores envolvidos na cadeia produtiva – desde o campo até o consumo final – tendo-se como alvo o mercado externo ou interno. A projeção que se faz é de influência dos requisitos ambientais na formatação do futuro do agronegócio brasileiro, em especial de alimentos.

É importante lembrar que o cenário atual e as perspectivas para a agricultura sustentável no Brasil, de forma diferente do contexto das economias pós-industriais (países da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico – OCDE), apresentam peculiaridades, em especial de grau de intensificação do uso de insumos industriais e de mecanização, o que implica em caminhos próprios para a sua sustentabilidade² em longo prazo. Ou seja, enquanto nas sociedades pós-industriais as estratégias de desenvolvimento rural sustentável procuram focar prioridades num contexto muito singular – problemas decorrentes exclusivamente da agricultura intensiva, entre esses, a po-

¹ GEO Brasil 2002. *Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil*. Brasília: Edições IBAMA, 2002. 447p.

² Veja em KITAMURA, P. C. Agricultura e Desenvolvimento Sustentável: uma agenda para discussão. *Ciência & Ambiente*, IV (6) jan/jun, 1993, uma discussão mais detalhada das principais diferenças e semelhanças entre a agricultura brasileira contemporânea e a agricultura das sociedades pós-industriais.

luição e contaminação do meio ambiente, renda e emprego, e a gestão do espaço –, no caso brasileiro, dada a própria história do desenvolvimento rural, os problemas são mais complexos, sobretudo pela diversidade de situações que vão desde a agricultura intensiva até a agricultura tradicional (sistemas naturais).

Embora o relatório recentemente elaborado pelo governo brasileiro para a Rio+10 mostre poucos avanços em termos de políticas públicas visando o Desenvolvimento Rural Sustentável³, pode-se dizer que, na última década, muitos processos visando a sustentabilidade da agricultura que estavam em curso nas décadas anteriores ganham força, assim como novas estratégias emergem das iniciativas dos próprios produtores e suas organizações, impulsionadas pelos mercados ou por restrições impostas pelos órgãos ambientais nacionais/regionais.

Assim, os casos a seguir apresentados evidenciam dois caminhos que se complementam em direção a uma agricultura sustentável: a contínua introdução de inovações na chamada agricultura intensiva, tornando esta cada vez mais responsável em termos ambientais e de saúde pública; e, outra, o espetacular crescimento da agricultura orgânica e de sistemas agroecológicos em geral, agora muito além dos limites da pequena produção de hortigranjeiros.

Tendências da agricultura intensiva contemporânea

A agricultura intensiva brasileira vem avançando lentamente na busca de tecnologias e processos que minimizem problemas de poluição e degradação dos recursos naturais e que ao mesmo tempo ofereçam produtos seguros para a saúde do consumidor final. Sem dúvida, o principal eixo das inovações em curso é a procura da redução/eliminação do uso de agrotóxicos e conseqüentemente dos seus impactos socioambientais.

De um lado, tecnologias tais como o melhoramento genético para resistência a pragas e doenças e para condições ambientais específicas, o manejo integrado de pragas (MIP) e as técnicas a ele associadas, o sistema de plantio direto e a fixação biológica de nitrogênio, conhecidas dos agricultores brasileiros desde a década de setenta, ganham destaque no momento atual pela extensão da área de adoção, como também pela diversidade de cultivos beneficiados. Dentro desse conjunto, o plantio direto passa a ser encarado como uma espécie de plataforma de produção, à qual os sistemas de produção podem ser adaptados.

³ GEO Brasil 2002. *Op. cit.*

De outro lado, a nova configuração da agricultura intensiva no Brasil – com características de permanência no cenário futuro – passa a incorporar, de forma voluntária, também em resposta às exigências crescentes do mercado internacional, a certificação de qualidade do produto e do meio ambiente no processo produtivo, e com isso os instrumentos de avaliação e de monitoramento dessa qualidade, visando melhorias contínuas, além dos princípios de rastreabilidade do produto. Nesse novo cenário enquadram-se, entre outras, as inovações da agricultura de precisão, os processos de certificação intermediária⁴ da Produção Integrada de Frutos (PIF) atualmente em implantação pelos produtores rurais em várias regiões brasileiras, as Boas Práticas Agrícolas (BPAs), as Boas Práticas de Fabricação (BPFs), a Avaliação de Perigos e Pontos Críticos de Controle-Campo (APPCC-Campo) e os Códigos de Conduta (Ambiental), que começam a ser incorporados como instrumentos estratégicos de gestão responsável e segura do processo produtivo e da produção.

⁴ O autor classifica a PIF como certificação intermediária, uma vez que esse sistema, apesar de adotar normas e padrões de qualidade e ambientais, ainda se utiliza de agrotóxicos, localizando-se assim numa posição intermediária entre os sistemas convencionais e os sistemas orgânicos.

Certamente, os organismos geneticamente modificados (OGMs) têm grande potencial para influenciar o futuro da agricultura brasileira. Todavia, distante de um consenso, o rumo que o desenvolvimento da tecnologia de transgenia na agricultura vai seguir, bem como o papel a ela reservado, são questões ainda não resolvidas. No momento atual, há uma polarização do debate entre atores favoráveis e contrários ao uso de plantas transgênicas na agricultura.

A evolução e a expansão do plantio direto

O plantio direto foi introduzido no Sul do Brasil ainda no final da década de 60 em escala experimental⁵, tendo sido adotado pelos primeiros agricultores na década de 70. Todavia, diante dos valores culturais vigentes naquele período, de que o manejo de solo necessariamente incluía aração e gradagem, foi longo o caminho para essa técnica receber a atenção dos agricultores brasileiros.

O plantio direto tem como pontos centrais de sustentação (diferenciais) o uso de herbicidas dessecantes para o manejo de ervas invasoras e o uso de semeadeiras-adubadeiras especiais, que dispensam a preparação de solos: aração e gradagem. Ou seja, nesse sistema de plantio, o solo permanece coberto com restos de cultura e vegetação durante todo o ciclo de produção, o mesmo acontecendo na entressafra e ao longo dos ciclos de rotação de cultivos. É, sem dúvida, um sistema que traz grandes benefícios sociais decorrentes do controle da erosão hídrica do solo.

⁵ LANDERS, J. N. *et al.* O Plantio Direto na Agricultura: o caso do Cerrado. In: LOPES, I. V. *et al.* *Gestão Ambiental no Brasil: experiências e sucesso*. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2000. p. 3-34.

Enquanto a evolução em relação ao uso de herbicidas dessecantes foi discreta ao longo dos anos, as inovações ocorridas em relação ao parque de máquinas para plantio direto no Brasil foram espetaculares nas últimas décadas. As primeiras semeadeiras-adubadeiras de plantio direto para soja e trigo, culturas pioneiras no uso da técnica, utilizavam enxadas rotativas que cultivavam uma pequena faixa de solo em cada linha de plantio, onde eram depositadas as sementes e os fertilizantes. O sistema de plantio com tais combinações trazia, entre os obstáculos para a sua difusão, o alto custo dos herbicidas utilizados e, em muitos casos, custos adicionais em termos de perda de rendimento da cultura, além de alto custo do parque de máquinas envolvido.

Sem dúvida, o tipo de equipamento disponível para plantio direto até a década de 80 era o grande obstáculo para a nova técnica; o processo de transição implicava a manutenção do antigo parque de máquinas, tendo-se, como referencial, tratores de menor potência e equipamentos diversificados para o cultivo da terra; ao mesmo tempo, era necessário incorporar um novo conjunto de equipamentos, inclusive a semeadeira-adubadeira de plantio direto – na época, de preços elevados –, tracionados com tratores de maior potência e com tomada de força equivalente.⁶

Tais exigências constituíam uma barreira intransponível para a maioria dos produtores brasileiros de grãos, com exceção de grandes fazendas, em que era possível manter sem ociosidade duplo parque de máquinas, baseado em planejamento de áreas de cultivo em sistema convencional e áreas em plantio direto. Além disso, o alcance inicial do sistema de plantio direto ficava limitado também às regiões mais vulneráveis à erosão do solo em sistemas convencionais.⁷

Dessa forma, entre as inovações que permitiram o salto para a rápida difusão do plantio direto no Centro-Sul do Brasil na última década, atualmente com área de adoção estimada em 14 milhões de hectares⁸ de soja e milho e cultivos associados em esquema de sucessão/rotação – com benefícios de grande magnitude em termos de conservação de solos e água nessas regiões –, cabe destaque para as novas semeadeiras-adubadeiras de plantio direto, as quais substituíram as enxadas rotativas por conjuntos de discos, sem o uso de tomada de força do trator. Essa inovação foi fundamental, ao permitir que, com o mesmo parque de máquinas e a simples aquisição de semeadeiras-adubadeiras especiais, o produtor pudesse realizar a transição do sistema convencional para o plantio direto. Tal inovação possibilitou a queda vertiginosa dos custos de investimentos associados à transição.

⁶ LANDERS, J. N. *et al.* 2000. *Op. cit.*

⁷ Não é por acaso que duas das regiões pioneiras no Brasil foram a de Campo Mourão e de Ponta Grossa, ambas no Estado do Paraná.

⁸ EMBRAPA. *Relatório Ambiental*. Brasília: Embrapa, 2002. 67 p.

Além das inovações tecnológicas, as últimas décadas trouxeram também avanços importantes na Ciência do Solo, fazendo com que os valores culturais dos produtores (e antes disso, de pesquisadores e extensionistas agrícolas) em relação ao manejo de solos, intimamente relacionado a aração e gradagem, fossem questionados e reformulados. Segundo Denardin⁹, um fator que levou a uma revolução nesse campo foi a nova abordagem para o manejo da matéria orgânica: a biomassa de adubo verde, outrora imediatamente incorporada ao solo no seu corte, agora permanece como cobertura morta sobre o solo, para maximizar os seus benefícios pela decomposição mais lenta.

Na década de 90, outro fator importante e igualmente decisivo para a rápida difusão do plantio direto passou a ser predominante em algumas regiões brasileiras: os novos arranjos institucionais para gestão da pesquisa e desenvolvimento daquela técnica, em rede ou consórcios. Entre esses, vale destacar o Programa Metas no Rio Grande do Sul¹⁰, o Programa Paraná Rural e a atuação da Fundação ABC no Paraná e a Associação de Plantio Direto no Cerrado (APDC), no Brasil Central. Tais arranjos permitiram tanto o rápido diagnóstico e encaminhamento dos problemas tecnológicos e de desenvolvimento pelos diferentes atores públicos e privados envolvidos (pesquisa, extensão, crédito, indústria de insumos e máquinas, produtores etc.), quanto uma visão integrada do desenvolvimento do sistema de plantio direto como um todo.

Evidentemente, mesmo com o esforço desse consórcio de instituições, a própria dinâmica de evolução do sistema vem apresentando novos desafios: os chamados problemas de segunda geração, ou seja, problemas decorrentes do próprio uso do plantio direto ao longo do tempo. Esses desafios que se colocam para o plantio direto, segundo os principais atores envolvidos, consistem em transformá-lo em uma plataforma para o sistema convencional, ou seja, construir o cenário futuro em que o plantio direto seja generalizado, mesmo para agricultores familiares.

Apesar do sucesso desse sistema no controle da erosão e na conservação do solo e da água, com inúmeros benefícios ambientais associados, quando o mesmo sistema é avaliado pela ótica mais sistêmica de sustentabilidade, surge uma questão paralela de idêntica magnitude, que merece o mesmo tratamento privilegiado pela rede de pesquisas: o uso crescente de agrotóxicos, em especial de herbicidas, aspecto de maior vulnerabilidade ambiental do plantio direto neste momento.

⁹ Depoimentos oferecidos pelo pesquisador da Embrapa Trigo, José Eloir Denardin, durante o Treinamento “Valorização de Recursos Naturais”, Passo Fundo – Rio Grande do Sul, 1999.

¹⁰ DENARDIN, J. E. Projeto Metas – Uma Parceria em Pesquisa e Desenvolvimento Aplicada ao Sistema Plantio Direto no Sul do Brasil. *Documento Interno*, EMBRAPA-CNPT, 1997.

Os avanços no Manejo Integrado de Pragas (MIP)

Outro conjunto de tecnologias que merece registro no que se relaciona aos avanços dos sistemas convencionais de cultivo em direção à sustentabilidade, é o manejo integrado de pragas (MIP) e, dentro desse, com destaque o controle biológico.

O MIP ganhou grande impulso no Brasil a partir de meados da década de setenta, devido a sua difusão pelo sistema Embrapa/Embrater, inicialmente para a cultura da soja: a estimativa por amostragem de populações de pragas e o monitoramento visando o seu controle, realizado sempre que os níveis de danos econômicos são atingidos. O MIP inclui ainda o manejo cultural, a rotação de culturas, o manejo de populações de inimigos naturais, barreiras físicas, entre outras técnicas, que podem ser utilizadas de forma integrada para situações específicas. Técnicas essas que podem reduzir decisivamente a quantidade de agrotóxicos aplicados e conseqüentemente o seu impacto ambiental.¹¹

Ainda nesse mesmo período, surgiram técnicas de manejo (artesanal) de agentes biológicos de controle para várias pragas agrícolas, além do manejo de populações de insetos baseados em armadilhas com feromônios. Surgiram também os primeiros produtos biológicos e fisiológicos em escala comercial, com destaque para o *Bacillus thuringiensis* utilizado no controle de lagartas da soja e do milho.

Os avanços das últimas décadas nesse tema podem ser avaliados a partir da constatação de que o MIP é utilizado atualmente em diferentes escalas e níveis de integração de seus componentes nas principais culturas brasileiras. Cabe destacar a difusão das técnicas de monitoramento dos níveis de danos das principais pragas, enquanto que o controle biológico, talvez o componente fundamental do MIP – pelo seu poder de revolucionar o sistema como um todo – vem sendo adotado em larga escala para algumas culturas, tais como soja, milho, cana-de-açúcar, pastagem, trigo e citros. Atualmente, mais de três dezenas de agentes de controle biológico se encontram disponíveis e em uso em pequena/média escala na agricultura brasileira – vide quadro 1, um resumo dos agentes de controle biológico mais difundidos. Além disso, muitas das grandes lavouras, tais como a de citros, cana-de-açúcar, dendê, entre outras, vêm utilizando também tecnologias baseadas em feromônios.

Certamente, o caso do *Baculovirus anticarsia* empregado no controle da lagarta da soja é bastante significativo para avaliar o potencial dos agentes de controle biológico.

¹¹ Veja em RODRIGUES, G. S. Agrotóxicos e Contaminação Ambiental no Brasil. In: CAMPANHOLA, C. & BETTIOL, W. (ed.) *Métodos Alternativos de Controle Fitossanitário*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. p. 217-265, sobre o estado da arte da pesquisa de impactos ambientais relacionados ao uso de agrotóxicos na agricultura brasileira.

¹² EMBRAPA. *Relatório Ambiental*, 2002. *Op. cit.*

Atualmente, o *Baculovirus anticarsia* é utilizado a cada ano em mais de 1,4 milhões de hectares no Sul do Brasil¹², baseados tanto em produtos formulados comercialmente quanto artesanalmente elaborados pelos próprios agricultores.

Quadro 1: Alguns agentes de controle biológico utilizados na agricultura intensiva brasileira (2002)

Cultura	Agente de controle biológico	Praga ou doença controlada	Área estimada de adoção
Cana-de-açúcar	<i>Cotesia flavipes</i>	Broca da cana-de-açúcar	Área total de cana-de-açúcar em São Paulo
Lavouras e pastagens	<i>Metarhizium flavoviride</i>	Gafanhotos	Mais de 2 milhões de ha
Mandioca	<i>Baculovirus erinnyis</i>	Lagarta mandaróvã-da-mandioca	Grande parte da área infestada
Milho	<i>Baculovirus</i>	Lagarta-do-cartucho	36 mil ha
Pastagens	<i>Metarhizium anisopliae</i> <i>Beauveria bassiana</i>	Cigarrinhas das pastagens	50 mil ha
Plantios de Frutas Tropicais	<i>Diaschasmimorpha longicaudata</i>	Mosca-das-frutas	30 mil ha
Plantios de <i>Pinus</i> spp	<i>Deladenus siricidicola</i>	Vespa-da-madeira	350 mil ha
Soja	<i>Baculovirus anticarsia</i>	Lagarta-da-soja	1,4 milhão de ha
Soja	<i>Trissolcus basal</i>	Percevejos	20 mil ha
Trigo	Microhimenópteros parasitóides	Pulgões	700 mil ha

¹³ CAMPANHOLA, C. & BETTIOL, W. Controle Biológico e outras Técnicas Alternativas de Controle de Pragas Agropecuárias. In: CAMPANHOLA, C. & BETTIOL, W. (ed.) *Métodos Alternativos de Controle Fitossanitário*. *Op. cit.* EMBRAPA. *Relatório Ambiental*, 2002. *Op. cit.*

Fonte: Compilados de vários autores¹³

Vale lembrar que o controle biológico vem sendo adotado na agricultura intensiva de forma idêntica aos agrotóxicos. De outra forma, embora o controle biológico seja um componente dos sistemas de produção agroecológicos, em que é percebido a partir de uma visão global de equilíbrio e funcionamento do agroecossistema e de sua interação com os ecossistemas do entorno, na agricultura intensiva é utilizado como um insumo convencional, com aplicações a cada evento de ocorrência de pragas.

Conforme agricultores do norte do Estado do Paraná, usuários do *Baculovirus anticarsia*, mesmo a adoção do controle biológico na abordagem limitada de simples insumo para a produção, vem permitindo a revolução dos valores culturais dos produtores em relação aos sistemas produtivos contemporâneos. Nesse aspecto, é importante destacar a percepção dos agricultores, por exemplo, sobre a relação entre a existência de refúgios naturais (matas e florestas ciliares próximas às áreas cultivadas), as populações de insetos (pragas e predadores) e a eficiência do funcionamento do controle biológico; e sobre a relação entre o uso

do controle biológico e o reaparecimento de pássaros e algumas espécies de animais silvestres, nas regiões de uso exclusivo de controle biológico. Tais constatações evidenciam uma revolução em marcha, mesmo que em pequena escala e de forma localizada, em direção à sustentabilidade da agricultura.¹⁴

¹⁴ ECHEVERRIA, T. M. *Cenários do Amanhã: sistemas de produção de soja e os transgênicos*. Campinas: UNICAMP/IFCH, 2002. Tese de doutorado. 198 p.

Nesse contexto, é importante discutir as dificuldades para a difusão e uso em escala do controle biológico no Brasil. Primeiro, é importante ressaltar os valores culturais ainda predominantes entre os produtores, em relação à qualidade de inseticidas (normalmente associados aos agrotóxicos): de que são melhores aqueles que levam a morte quase que instantânea das pragas a serem controladas. Normalmente o biopesticida, como é chamado o inseticida biológico, requer um tempo mais longo para a sua ação, trazendo muitas vezes angústia aos produtores, devido ao tempo de espera. Angústia que faz sentido, na medida que se refere a organismos vivos, sendo portanto dependente de condições ambientais no armazenamento e no momento da aplicação (temperatura, insolação, tempo chuvoso ou não etc.).

Segundo, muitos dos biopesticidas são ainda artesanalmente elaborados, o que dificulta o seu uso em escala ampliada, além da necessidade do conhecimento de suas peculiaridades visando a manipulação adequada e eficiência no funcionamento, em diferentes condições ambientais. Ou seja, para a sua multiplicação e uso artesanal, necessita de conhecimentos técnicos e condições especiais de manejo, o que se constitui em barreiras para o seu uso massivo pelos agricultores.¹⁵ Mesmo com a possibilidade de produção em escala industrial – com raras exceções, a ciência ainda não superou os limites naturais para a multiplicação dos organismos de controle biológico sem a reprodução do ciclo natural predador-presa –, há dificuldades para diferenciação do produto produzido por processos industriais em relação ao artesanal (eficiência, preços competitivos etc.). Esse fato faz com que, além da concorrência dos próprios agricultores, os riscos envolvidos nos investimentos industriais sejam amplificados pela ausência de barreiras à entrada de novos concorrentes na indústria.

¹⁵ Os diferentes arranjos institucionais que cercam o desenvolvimento dos agentes de controle biológico mais difundidos, ratificam tais condições iniciais, como poderosas barreiras à entrada.

Terceiro, a seletividade, um atributo essencial para a busca da qualidade ambiental – o que significa atacar somente os organismos alvos, preservando a biodiversidade – é, em muitas situações, percebida pelos agricultores como um atributo negativo: freqüentemente o agricultor está à procura de um pesticida de amplo espectro para controlar mais de uma praga (lagartas, besouros, percevejos, ácaros etc.).

Finalmente, mesmo os produtos formulados em escala industrial, tendo-se como exemplo o *Baculovirus anticarsia*, são ainda de baixo custo unitário quando comparado aos químicos, levando geralmente ao desinteresse de empresas e profissionais do mercado de insumos agrícolas, que dependem do volume de vendas.¹⁶

¹⁶ É importante lembrar que o mercado de trabalho no setor de insumos para a produção agropecuária vem privilegiando cada vez mais a remuneração variável, comumente dependente do volume de vendas.

Assim, são muitos os desafios que a pesquisa agrícola e industrial terá que enfrentar para ampliar o mercado de biopesticidas na agricultura. Por sua vez, esses problemas evidenciam também as possibilidades ainda abertas para a atuação da extensão rural e da assistência técnica pública e privada e do terceiro setor, para a promoção de técnicas de baixo custo e com total autonomia de decisão dos produtores rurais, como instrumentos importantíssimos para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável. Todavia, são temas que, para o seu desenvolvimento, necessitam de arranjos institucionais especiais envolvendo aqueles atores, como mostram os casos de sucesso.

A fixação biológica de Nitrogênio

A adoção e a generalização do uso da fixação biológica do nitrogênio do ar na cultura da soja é certamente um dos casos de grande sucesso na agricultura intensiva brasileira. A tecnologia consiste em inocular sementes com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, que fixam o nitrogênio do ar para as plantas cultivadas, na prática reduzindo a zero o uso de fertilizantes nitrogenados na cultura da soja.

Essa tecnologia traz benefícios ambientais significativos. Além da economia de fertilizantes pelo não-uso de adubação nitrogenada, que diminui os custos de produção da soja, evita também os potenciais impactos ambientais, decorrentes do uso de fontes de nitrogênio, de lixiviação e de contaminação do solo e das águas superficiais e subterâneas, bem como decorrentes da liberação do nitrogênio para a atmosfera, com danos à camada de ozônio. Para se ter idéia da dimensão desses benefícios ambientais, vale lembrar que somente cerca de 50% do fertilizante químico nitrogenado aplicado ao solo é prontamente aproveitado pelas plantas.¹⁷

¹⁷ EMBRAPA. *Relatório Ambiental*, 2002. *Op. cit.*

Assim, a inoculação de sementes de soja com *Bradyrhizobium* é uma tecnologia totalmente dominada, sendo aplicada em praticamente toda a área cultivada de soja no Brasil, em cerca de 13 milhões de hectares nos últimos anos¹⁸, gerando benefícios diretos ao produtor pela economia de custos e à sociedade pelos impactos ambientais evitados.

¹⁸ EMBRAPA. *Relatório Ambiental*, 2002. *Op. cit.*

Um aspecto relevante do inoculante é a sua facilidade de processamento em escala industrial, baixo custo, fácil armazenamento, manuseio e aplicação. Ou seja, apesar de constituir-se em tecnologia de natureza biológica, própria dos sistemas alternativos como os orgânicos e suas vertentes, apresenta todas as características de um insumo químico convencional, o que em grande parte explica o seu sucesso e a rápida generalização no Brasil.

A emergência dos instrumentos de gestão que levam à Certificação da Qualidade e Ambiental

Sem dúvida, uma das grandes promessas da agricultura intensiva em termos de busca da sustentabilidade vem dos movimentos que convergem para a certificação da qualidade do produto e do processo produtivo. O momento atual é de emergência desses movimentos, que apontam perspectivas promissoras para a sustentabilidade da agricultura no futuro.

Os múltiplos processos de certificação apresentam bases similares, apesar das diferentes abordagens da sustentabilidade e da diversidade de objetivos. Englobam: a certificação intermediária – que contempla o uso de agrotóxicos, porém obedecendo a um código de conduta, como por exemplo da Produção Integrada de Frutas (PIF); a certificação de qualidade da série ISO 9000 e certificação ambiental com os padrões da série ISO 14000; a certificação orgânica segundo padrões da *International Federation of Organic Agriculture Movement* (IFOAM); e os diferentes tipos de autodeclaração, tais como a certificação de região demarcada, as certificações de não-uso de antibióticos e promotores de crescimento para animais (por exemplo, Korin); as certificações de plantios e de manejo florestal da *Forest Stewardship Council* (FSC) e outras que protegem comunidades e populações tradicionais (mercado solidário).¹⁹

Como pontos de convergência desses movimentos, todos os tipos de certificação ou de selos de autodeclaração partem de códigos ou normas ambientais e sociais, oficiais (legais) e/ou voluntários, os quais são básicos para os processos de auditagem (verificação de conformidade) dos padrões mínimos estabelecidos. Vale lembrar que todas as atividades certificadas visando o mercado internacional trabalham naturalmente com padrões mundialmente aceitos e consagrados (como os padrões da série ISO 9000, da série ISO 14000, da certificação orgânica, da PIF e da FSC).

¹⁹ Vários são os problemas associados à qualidade de produtos agrícolas e processos produtivos, objetos de diferentes tipos de certificação. Veja em PESSOA, M. C. P. Y.; SILVA, A. de S. & CAMARGO, C. P. *Qualidade e Certificação de Produtos Agropecuários*. Brasília: Informação Tecnológica, 2002 188p. (Texto para Discussão, 14). O texto apresenta uma visão geral desses processos e as peculiaridades envolvidas.

Outro aspecto cada vez mais comum que tende a levar à “unificação” dos processos de certificação, diz respeito aos instrumentos básicos para ancorar a qualidade desses processos: os usos da Avaliação de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) e as Boas Práticas de Fabricação (BPFs), inicialmente aplicados à indústria alimentícia, visando à segurança do consumidor, agora passam a ser aplicados também na produção de matéria-prima, com a denominação de Boas Práticas Agrícolas (BPAs) e APPCC-Campo²⁰, em decorrência das exigências sanitárias, ambientais e de segurança do consumidor vigentes no mercado.

²⁰ Chegou-se à conclusão de que a APPCC e as BPFs na indústria são inócuas, quando a matéria-prima já vem contaminada do campo.

Ainda um terceiro ponto comum que “unifica” os processos: a introdução do conceito de rastreabilidade do processo produtivo e do produto final para os consumidores, intermediários ou finais. Nesse aspecto, praticamente todos os processos de certificação necessitam, em algum grau, de sistema de registro de todas as práticas adotadas na produção, de tal modo que qualquer consumidor possa, em qualquer parte do mundo, identificar as características da produção, e muitas vezes, o produtor que produziu o lote do bem em referência.

Ou seja, independentemente da natureza da certificação visada, certamente um conjunto desses instrumentos básicos, que permitem tanto a melhoria contínua, como a rastreabilidade do produto e de toda a cadeia produtiva, será obrigatoriamente implementado.

O caso da certificação da Produção Integrada de Frutas é talvez um dos processos mais notáveis no atual momento. Trata-se de certificação intermediária que produtores/exportadores de frutas (manga e uva) do Vale do São Francisco e de maçã de Santa Catarina e Rio Grande do Sul vêm implantando nos últimos anos, a partir da formação de um consórcio de instituições públicas e privadas. A certificação da Produção Integrada de Frutas, por ser originária de países da União Européia (Espanha e França), incorpora padrões sanitários, ambientais e de segurança ao consumidor vigentes naquele mercado, facilitando, por conseguinte, a entrada da produção de outras regiões produtoras. A regulamentação brasileira para a PIF é, dessa forma, muito similar à européia, detalhando as práticas sanitárias, ambientais e de rastreabilidade obrigatórias, além de recomendar também um conjunto de práticas desejáveis naqueles campos.²¹

²¹ Portaria MA/Sarc nº. 447, de 18/12/2000, que trata das Diretrizes Gerais para a Produção Integrada de Frutas.

Atualmente, o sucesso dos processos de certificação PIF citados para o Vale do Rio São Francisco – um pólo emergente na produção de frutas tropicais – e para o Sul do Brasil (manga, uva e maçã), levaram a implementação de

vários outros projetos de certificação de frutas, segundo os padrões PIF. No Estado de São Paulo, os projetos implementados envolvem produtos de maior expressão econômica (laranja, lima ácida, banana, maracujá, figo, caqui, goiaba, entre outras); no Nordeste brasileiro, as principais frutas tropicais (banana, caju, coco, mamão, melão, lima ácida); e no Sul do Brasil, frutas de clima temperado (pêssego/nectarina), agora com produção voltada predominantemente para o mercado interno. O esperado sucesso dessas iniciativas representará um grande salto em direção à sustentabilidade dos sistemas de produção de frutas tropicais e temperadas, objetos da certificação, mesmo considerando-se a permissão do uso de agroquímicos.

Outro processo de certificação que merece destaque pela sua rápida difusão é aquele baseado nos padrões da *Forest Stewardship Council* (FSC), específico para florestas nativas manejadas, plantios florestais e para a cadeia de processamento industrial pertinente. Os padrões da FSC são os mais difundidos e aceitos mundialmente no mercado madeireiro, quando se trata de sustentabilidade das florestas nativas ou plantadas, atualmente cobrindo mais de 25 milhões de hectares certificados. No Brasil existem atualmente trinta empresas com certificados da FSC, totalizando uma área de 1,34 milhões de hectares, e desses $\frac{3}{4}$ de florestas plantadas.²²

Enquanto isso, os padrões da série ISO 9000 (qualidade do processo produtivo e do produto) e da série ISO 14000 (qualidade ambiental do processo produtivo e do produto), são de adoção muito tímida, limitando-se ainda aos processos agroindustriais. Em relação à certificação de plantios e atividades de campo²³, existem apenas 5 certificações pela ISO 9001:2000 e 5 certificações pela ISO 14001:1996.

Muito embora todos esses processos estejam em andamento, alguns em fase adiantada, outros se constituindo mais como promessas, argumenta-se que o grande salto em direção à sustentabilidade da agricultura intensiva brasileira certamente acontecerá a partir da difusão das Boas Práticas Agrícolas (BPAs) e Avaliação de Perigos e Pontos Críticos de Controle-Campo (APPCC-Campo), juntamente com os instrumentos de implementação pertinentes, básicos para qualquer tipo de certificação. Nesse aspecto, tendo em vista a recorrência de problemas de qualidade e de segurança sanitária de produtos agrícolas brasileiros nos mercados internacionais, um grande consórcio de instituições públicas lideradas pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), Serviço Nacional de Aprendizagem

²² FSC. *Forest Stewardship Council* – <http://www.fsc.org.br>. Florestas Certificadas pelo FSC no Brasil (acessado em 04/05/2003)

²³ INMETRO – <http://www.inmetro.gov.br> Certificação ISO 9000 e ISO 14000. (acessado em 04/05/2003)

Rural (SENAR) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) vem desenvolvendo um programa denominado Produção de Alimentos Seguros (PAS), a partir da definição de normas baseadas em BPAs, APPCC-Campo e seus similares da indústria.

Nesse primeiro momento, serão priorizadas culturas de exportação mais vulneráveis (café, pimenta-do-reino, castanha-do-brasil), com casos de problemas de segurança alimentar, além de algumas culturas e criações voltadas ao mercado interno, com diagnósticos de problemas sanitários e ambientais (amendoim, alface, cenoura, milho, leite, ovos, maçã e uva). É, sem dúvida, uma das grandes promessas do momento, que, se devidamente apoiada pelas instâncias regionais e locais, poderá modificar radicalmente a configuração da agricultura brasileira em termos de sustentabilidade intensiva.

*Organismos Geneticamente Modificados (OGMs) na agricultura*²⁴

²⁴ Cabe alertar os leitores sobre este item. Distante de um tratamento aprofundado, que implicaria detalhados artigos sobre as diferentes posições no debate dos transgênicos, o autor faz apenas um sobrevôo, com olhar de não-especialista, sobre os principais pontos atualmente em discussão em relação aos OGMs.

²⁵ Vários termos têm sido utilizados para referir-se aos processos biotecnológicos que levam aos organismos geneticamente modificados (OGMs), entre eles, engenharia genética, tecnologia de transgenia, tecnologia de DNA recombinante.

A tecnologia de transgenia, que produz OGMs²⁵, emergiu com promessas para a humanidade na década de 70. Além das aplicações na indústria farmacêutica, grandes avanços têm ocorrido na busca de plantas transgênicas para a agricultura. Atualmente, mais de 50 milhões de hectares de terras são cultivados em todo o mundo, com plantas transgênicas de soja, milho, algodão e canola, entre outras, nos EUA, Canadá, Argentina e China.

Na agricultura, plantas transgênicas têm sido utilizadas por sua resistência a insetos, a exemplo de algodão e milho, que expressam proteínas com propriedades inseticidas para lagartas específicas; por sua resistência a herbicidas, como acontece com soja, milho, algodão e canola transgênicos. Todavia, essa tecnologia pode ser aplicada para outros objetivos, tais como: maior produtividade; resistência/tolerância às condições de estresses bióticos (vírus, bactérias e fungos) e abióticos (alumínio em solos ácidos); adaptação às terras marginais (salinidade); melhoria nutricional (teor de vitamina A e ferro); e redução do impacto ambiental.

Embora na indústria farmacêutica produtos resultantes de processos de transgenia sejam aceitos e já estejam incorporados ao cotidiano do cidadão comum, o uso dessa tecnologia na agropecuária tem sido alvo de grande debate mundial, em relação aos seus benefícios e possíveis riscos à saúde humana, quando consumidos como alimentos, e em relação ao meio ambiente, quando do uso de plantas transgênicas no processo produtivo.

²⁶ Veja uma avaliação detalhada dos principais pontos em debate no que se refere a segurança alimentar dos OGMs em LAJOLO, F. M. & NUTTI, M. R. *Transgênicos: bases científicas da sua segurança*. São Paulo: SBAN, 2003. 112 p.

Com respeito à segurança da saúde humana²⁶, as preocupações têm enfatizado o possível potencial alergênico dos OGMs ingeridos como alimento, a introdução ou aumento de componentes tóxicos como resultado da tecnologia de transgenia e o uso de genes resistentes a antibióticos como marcadores no processo de transformação.

No que se refere ao potencial alergênico/tóxico dos OGMs ingeridos como alimentos, a idéia presente é que os genes incorporados possam produzir novas proteínas que levem a reações alérgicas de consumidores; o potencial dos OGMs seria o de causar novas alergias ou ainda exacerbar uma alergia preexistente. Todavia, existem enormes dificuldades para determinação de causa-efeito nesse sentido. Quanto ao uso de genes resistentes a antibióticos como marcadores no processo de transgenia, o argumento contra os OGMs é de que esses podem aumentar a resistência dos patógenos humanos aos antibióticos. Embora não existam evidências de que esses genes de resistências aos antibióticos causem problemas à saúde humana, há preocupações para que tais marcadores sejam removidos dos OGMs pelo uso de técnicas já dominadas pelos especialistas. De modo geral, as soluções para a segurança à saúde humana dos alimentos transgênicos parecem convergir em todo o mundo para a rotulagem na comercialização, visando dar ao consumidor o direito à informação e à escolha.

No que se refere aos impactos ambientais, as preocupações sobre plantas transgênicas enfatizam a possibilidade de fluxo gênico desses para os seus parentes mais próximos (cruzamento via transporte de pólen), ou seja, os possíveis efeitos adversos dos genes exóticos que carregam (resistência a insetos ou tolerância a herbicidas, por exemplo) e também os possíveis efeitos sobre organismos não-alvos.²⁷ É, sem dúvida, um dos principais problemas dos OGMs já reconhecidos pelos especialistas e pelos órgãos de gestão ambiental, todavia ainda com escassas informações relacionadas aos seus efeitos sobre o meio ambiente e sobre a diversidade biológica. Dessa forma, não há consenso nem avaliações consistentes sobre o potencial impacto ambiental de plantas transgênicas utilizadas na agricultura. Nesse aspecto, países que cultivam transgênicos têm adotado práticas de manejo visando prevenir ou minimizar tais problemas.

Contudo, essa situação reforça a importância da avaliação de risco ambiental nas diferentes etapas de desenvolvimento de plantas transgênicas, além do monitoramento ambiental das áreas de cultivos transgênicos. A avaliação de risco requer informações básicas que incluem a biologia de

²⁷ *Transgenic Plants and World Agriculture*. Report prepared under the auspices of the Royal Society of London, the USA National Academy of Sciences, the Brazilian Academy of Science, the Chinese Academy of Sciences, the Indian National Academy of Sciences, the Mexican Academy of Sciences and the Third World Academy of Sciences. Snt.

espécies, sua ecologia e a identificação de espécies relacionadas, as novas características que os OGMs carregam, e ainda, dados ecológicos relevantes sobre os locais em que as plantas transgênicas serão cultivadas. A geração/reunião de tal quantidade de informações tem certamente um alto custo, sendo ainda de difícil obtenção para ambientes tão diversos.

No Brasil, o debate sobre plantas transgênicas na agricultura encontra-se polarizado, o que, em termos práticos, tem resultado no impasse quanto aos encaminhamentos legais. De um lado, o movimento liderado pelo terceiro setor, que faz campanha contra os OGMs – veja, por exemplo, a Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa (AS-PTA), a Federação dos Órgãos para Assistência Social e Educacional (FASE), o Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (IDEC), e o *Greenpeace* do Brasil, incluindo todas as organizações que atuam em Agroecologia e temas conexos – invocando o princípio da precaução, princípio esse utilizado em gestão ambiental em casos de escassez de dados para realizar a avaliação de risco, tanto da segurança alimentar quanto de impacto ambiental de OGM. Na prática, o princípio da precaução implica moratória, para pesquisas e estudos que visem a busca de informações suficientes e confiáveis para futura avaliação de risco do cultivo de transgênicos.

De outro lado, estão as empresas detentoras de OGMs e os produtores rurais – com exceção dos agroecológicos, orgânicos e similares –, potenciais usuários de plantas transgênicas, preocupados com a competitividade da produção brasileira frente ao avanço dos OGMs nos EUA, Argentina, Canadá, China, competidores no mesmo mercado. Os produtores rurais são, na sua maioria, favoráveis ao plantio de cultivos transgênicos. Avaliado como um fator de competitividade (menor custo de produção), produtores rurais do Sul do Brasil, mesmo com uma legislação nacional que proíbe a comercialização e plantio, têm cultivado transgênicos (soja) a partir de sementes vindas de países vizinhos, o que obrigou o governo federal a liberar, excepcionalmente, a sua comercialização na safra 2002/2003.

Embora com diversidade de posições, de forma geral, as instituições de ciência, tecnologia e inovação agropecuária têm apoiado o desenvolvimento da técnica de transgenia como uma ferramenta portadora de futuro para a agropecuária brasileira – como fator de competitividade para seus produtos. É cada vez mais forte a posição de que é necessária uma avaliação diferenciada dos pedidos de licenciamento de OGMs, segundo objetivos propostos: pesquisas, comercialização, plantios etc.

Nesse contexto, a Embrapa, entre outras instituições de pesquisa e Universidades, tem defendido a necessidade de se investir esforços em pesquisa agropecuária condicionada aos requisitos de segurança, para que o país acompanhe o movimento das sociedades pós-industriais, criando competência ao participar do desenvolvimento da tecnologia de transgenia, ao mesmo tempo que gera informações básicas para avaliação do risco de OGMs, visando a segurança à saúde humana e ao meio ambiente, em condições brasileiras. A Embrapa ressalta a importância do domínio e uso dessa tecnologia para a solução de problemas ainda não resolvidos pela pesquisa convencional.²⁸

²⁸ A Embrapa e os Transgênicos.
URL: <http://www.embrapa.br>,
acessado em 25 de agosto de
2003.

Uma questão fundamental neste momento, ainda pouco visível aos produtores rurais brasileiros, é a tendência do mercado de sementes de plantas transgênicas nos países adotadores precoces dessa tecnologia. Vale lembrar que enquanto produtores brasileiros plantaram transgênicos no último ano, sem nenhum custo por conta da ilegalidade, os produtores americanos de soja já passaram a fase de custo zero de *royalties*, encontrando-se atualmente num contexto em que o pagamento de *royalties* sobre as sementes transgênicas – decorrente da concentração e controle do mercado desse insumo – representa parcela importante do custo de produção, fazendo com que o mercado de sementes se ajuste, com movimentos de ida e volta dos produtores rurais aos transgênicos.

Certamente, para os produtores rurais brasileiros, a decisão de cultivar ou não os transgênicos – na hipótese de sua liberação – não é trivial. Primeiro, do lado do consumo, como consequência da atual configuração de mercados – em que a Europa e alguns países da Ásia colocam-se como destinos preferenciais de não-transgênicos –, começam a surgir sobrepreços para produtos brasileiros isentos de OGMs, sendo assim difícil prever a acomodação final. Segundo, do lado da produção, por definição os sistemas agroecológicos, ou mais especificamente os orgânicos, não permitem a presença de OGMs, sendo portanto excludentes entre si. A possibilidade de aparecimento de pragas resistentes, decorrente do cultivo de transgênicos, reforça tal caráter excludente. Vale lembrar que tanto no Brasil quanto na Europa produtores orgânicos e não-orgânicos encontram-se em posições opostas no debate de OGMs, dado esse caráter excludente: grande parte da oposição aos transgênicos na Europa se deve ao crescimento do consumo e, em decorrência, da produção de alimentos orgânicos naquele continente.

São questões que mostram que a discussão da sustentabilidade dos OGMs na agropecuária brasileira está ainda longe de um consenso. As possibilidades recentes de se utilizar a tecnologia *terminator*, que bloqueia a multiplicação de sementes pelos produtores, vem enfatizando em especial os efeitos sociais e a necessidade de agregar um caráter incluído à tecnologia de OGMs.²⁹

²⁹ Veja, por exemplo, CONWAY, G. em *Genetically Modified Crops: Risks and Promise. Conservation Ecology*, 4(1):2, 2000 [on line] URL: <http://www.consecol.org/vol4/iss1/art2>, que comenta os riscos de OGMs em relação ao meio ambiente, os riscos à saúde humana e aos produtores individuais e ainda as ameaças para a viabilidade e sustentabilidade do sistema agroalimentar.

³⁰ IFOAM – <http://www.ifoam.org>. *The World Organic Agriculture 2003 – Statistics and Future Prospects* (acessado em 04/05/2003).

Os avanços recentes da agricultura orgânica no Brasil

Sem dúvida, a agricultura orgânica mundial vem apresentando um crescimento espetacular nos últimos anos, abrindo perspectivas de a médio e longo prazo revolucionar os sistemas de agricultura atualmente predominantes nas diferentes regiões do mundo. A agricultura orgânica alcançou em 2003 cerca de 23 milhões de hectares, tendo em 2001 comercializado no varejo cerca de US\$ 19 bilhões.³⁰ Os grandes mercados de alimentos orgânicos estão na Europa (16 países), EUA e no Japão. Já a produção apresenta, além da Europa e dos EUA, países como a Austrália e a Argentina, com significativas áreas sob manejo orgânico, com ênfase para pastagens.

Entre as razões que impulsionam esse vertiginoso crescimento podem ser citados: os sobrepreços praticados devido ao descompasso entre o crescimento da demanda de produtos orgânicos, a uma média de 25% ao ano, contra cerca de 12% ao ano da oferta; a crescente opção dos consumidores por produtos agrícolas isentos de resíduos de agrotóxicos, medicamentos, hormônios e outros químicos; a preocupação dos agricultores com a intoxicação de trabalhadores por agrotóxicos no campo, inclusive de membros da família; as pressões dos movimentos ambientais pela preservação ambiental; a tendência à diferenciação de produtos e de mercados, visando garantia de mercado e de agregação de valores.³¹

Embora sintonizada com os processos internacionais, a agricultura orgânica brasileira certificada é ainda bastante pequena: abrangia cerca de 100.000 hectares – as estatísticas do IFOAM³² atribuem cerca de 275 mil hectares para 2003 – e representava cerca de R\$ 200 milhões no ano de 2001. Todavia, mostra um crescimento espetacular da produção, que nos últimos anos representava cerca de 50% ao ano, liderado pelos agricultores localizados nos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, Paraná, Rio Grande do Sul e Espírito Santo.³³

³¹ CAMPANHOLA, C. & VALARINI, P. J. A Agricultura Orgânica e seu potencial para o pequeno produtor. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 18. n. 3, p. 69-101, 2001.

USDA. *Foreign Agricultural Service – Global Agriculture Information Network GAIN Report. Brazil Organic. Organic Farming in Brazil, 1999*. 5p.

³² IFOAM, 2003. *Op. cit.*

³³ CAMPANHOLA, C. & VALARINI, P. J., 2001. *Op. cit.* CAMPANHOLA, C. & VALARINI, P. J. O que a Agricultura Orgânica é e o que ela não é. *Agroecologia*, outonov, 2001. p. 13-14.

³⁴ Convergente com os órgãos responsáveis pelas estatísticas e estudos internacionais, adota-se aqui e de forma linear, o termo genérico orgânico para incluir todos os sistemas agroecológicos certificados.

³⁵ O Comitê do Codex sobre Rotulagem de alimentos da FAO define a agricultura orgânica como “...um sistema de gestão da produção que fomenta e enfatiza a saúde dos agroecossistemas, inclusive a diversidade biológica, os ciclos biológicos e a atividade biológica do solo. São sistemas locais-específicos que enfatizam, sempre que possível, o uso de métodos agrônomicos, biológicos e mecânicos para cumprir funções específicas dentro do sistema, proibindo-se insumos sintéticos e tendo-se como obrigatória a rotação de culturas...”

³⁶ EMBRAPA. *O Meio Ambiente e o Compromisso Institucional da Embrapa*. Brasília: Embrapa/ACS, 2002. p. 15.

³⁷ Alguns autores classificam também como orgânicos as certificações de florestas plantadas e as nativas manejadas, os povoamentos florestais para produção de palmito, açaí, ceras e essências, as pastagens nativas, entre outros sistemas de produção tipicamente extensivos ou naturais.

O potencial dos sistemas orgânicos³⁴ é sem dúvida decisivo na formatação da agricultura do futuro, uma agricultura verdadeiramente sustentável. De um lado, esse potencial pode ser materializado pela oferta de uma diversidade de sistemas de produção com abordagens integradas, que resgatam mecanismos e processos naturais milenares que substituem totalmente os agrotóxicos e os fertilizantes industrializados, processos esses básicos para a sustentabilidade em longo prazo. Ou seja, produtos saudáveis produzidos por processos que não poluem ou degradam o meio ambiente.³⁵ De outro lado, pela capacidade dos sistemas orgânicos de revolucionar os sistemas convencionais de agricultura, pela via da concorrência nos mercados, como também pela oferta de seus diferentes componentes tecnológicos para adaptação e uso naqueles sistemas, mesmo dentro de outras lógicas e abordagens de produção.

As possibilidades dessa revolução são ilimitadas. Vale lembrar que nos dias atuais os sistemas orgânicos já romperam os limites de escala – ultrapassando as críticas de um sistema restrito a pequenas áreas e da produção de hortigranjeiros, somente hortaliças e algumas frutas –, ampliando as fronteiras da agricultura do futuro.³⁶ Para se ter uma idéia desse potencial, ressalta-se que atualmente o Brasil possui sistemas orgânicos certificados de produtos *in natura* ou de derivados processados de soja, milho, citros, cana-de-açúcar, café, dendê, cacau, bovinos e leite, suínos, aves e ovos, mel, chá, algodão, tabaco, arroz, feijão, girassol, mandioca, hortaliças e frutas temperadas e tropicais etc. totalizando mais de 50 produtos³⁷, na maioria dos casos com grandes aumentos de área a cada ano.

Diferentemente do contexto mundial, os desafios da agricultura orgânica no Brasil são bastante peculiares. Por um lado, a busca da certificação orgânica, ainda um esforço privado com o apoio do terceiro setor, é extremamente importante ao estabelecer elos diretos entre grupos específicos de produtores e grupo específicos de consumidores (nichos de produção e consumo). Por outro lado, esse processo traz características bastante excludentes à certificação orgânica – como qualquer tipo de certificação –, tendo em vista a falta de organização de pequenos produtores e também por causa dos custos envolvidos na certificação. Como ultrapassar tais obstáculos?

Finalmente, há milhares de agricultores familiares que ainda praticam sistemas quase-naturais de agricultura, muito semelhantes aos sistemas orgânicos certificados, simplesmente porque permaneceram à margem das políticas públicas

voltadas para a agricultura da revolução verde, de intensificação do uso de insumos químicos, mecanização e de sementes e mudas melhoradas. São potenciais agricultores orgânicos que a própria trajetória de construção da nova agricultura colocou novamente em seu curso.

Um ponto fundamental dessa discussão é que a internalização dos benefícios da adoção dos sistemas orgânicos de produção agrícola depende diretamente da certificação, seja ela local/nacional ou ainda com reconhecimento internacional, por exemplo, pela IFOAM, a federação internacional que estabelece padrões e ao mesmo tempo dá créditos à certificação orgânica no mundo. Dessa forma, a captura de valores decorrentes dos atributos de sistemas orgânicos de produção pelos agricultores familiares, mantidas as regras atualmente vigentes, ocorrerá somente em condições de conversão e certificação desses sistemas de produção como orgânicos, conforme os padrões já mundialmente estabelecidos.

Assim, os desafios colocados para a agricultura orgânica no futuro próximo são dois: o primeiro, o de tornar-se um sistema de produção expressivo em termos de proporção do mercado – muito além de 1% que representa atualmente no mercado mundial – e ainda, com preços competitivos para o consumidores. O segundo, o de tornar-se um sistema de produção de referência em termos de sustentabilidade, ao apresentar-se como uma efetiva opção para estratégias de inclusão social com a agregação de renda e oferta de emprego para milhares de agricultores familiares brasileiros que atualmente praticam sistemas quase-naturais, mas ainda marginalizados dos benefícios oriundos dos avanços da agricultura orgânica no Brasil.

Evidentemente, tais desafios não poderão ser enfrentados somente pelo setor privado e pela sociedade civil organizada, como tem sido até o momento. Necessita-se urgentemente de políticas públicas que, a partir de uma visão integrada, tratem das questões imediatas de tecnologia, crédito, assistência técnica, infra-estrutura básica, bem como de novos arranjos institucionais para o desenvolvimento rural sustentável – a articulação dos diferentes atores envolvidos para viabilizar projetos coletivos, para organizar produtores, para elaborar e implementar estratégias de transição³⁸ e, finalmente, para a gestão dos novos sistemas de produção que focam a sustentabilidade da agricultura e dos agricultores e suas famílias, baseados em processos de certificação orgânica ou alternativos.

³⁸ Os artigos que seguem oferecem uma visão geral dos problemas relacionados à transição de sistemas convencionais para orgânicos, baseada em estudos de casos.

LINHARES, R. Adoção da Agricultura Orgânica por Produtores de Hortaliças no Estado de São Paulo. *In: Congreso de la SEAE, V Congreso Iberoamericano de Agroecología, I. Anais....* Gijón, España. 2002. p. 215-224.

LINHARES, R. Adoção da Agricultura Orgânica por Produtores de Café no Brasil. *In: Congreso de la SEAE, V, Congreso Iberoamericano de Agroecología, I. Anais....* Gijón, España. 2002. p. 225-234.

LINHARES, R.; LOPES, D.; VITTOI, L. & FEIDEN, A. A Conversão de Sistemas Convencionais para Sistemas Orgânicos de Produção no Brasil. *In: Congreso de la SEAE, V, Congreso Iberoamericano de Agroecología, I. Anais....* Gijón, España. 2002. p. 205-214.

Para entender o tamanho dos esforços necessários em termos de políticas públicas, enfatiza-se que até o momento o desenvolvimento da agricultura orgânica no Brasil se restringe praticamente à esfera privada e ao terceiro setor. Somente nos anos recentes, o setor estatal começa a dar atenção à agricultura orgânica, tendo, entre outras iniciativas, regulamentado o setor com a Instrução Normativa 007/99 de 17/05/1999, que estabelece normas para produção, pós-colheita, processamento, distribuição e certificação de qualidade de produtos orgânicos, baseadas na legislação vigente, notadamente na Europa.

Comentários finais

As inovações em curso na agricultura intensiva convencional, quando contrapostas ao rápido crescimento e às peculiaridades da agricultura orgânica no Brasil, parecem apontar algumas tendências para o futuro próximo.

De um lado, há uma efervescência de inovações na agricultura intensiva convencional, focando os seus principais problemas ambientais, entre esses a erosão de solos, o uso massivo de agroquímicos e a poluição/contaminação ambiental, a segurança e a saúde do trabalhador e do consumidor.

Assim, as inovações introduzidas na agricultura intensiva, tais como de zoneamento econômico-ecológico detalhado, agricultura de precisão, fixação biológica de nitrogênio, práticas mecânicas de controle da erosão, sistemas de plantio direto, manejo integrado de pragas, tendo-se como principal componente o controle biológico e os instrumentos de gestão da agricultura que levam aos sistemas de certificação de qualidade e ambiental, certamente vêm resultando e resultarão em uma nova agricultura intensiva, mais responsável em relação ao meio ambiente, à saúde do trabalhador e do consumidor final.

Apesar das críticas que a agricultura intensiva tem recebido, de abordagem parcial dos agroecossistemas, a combinação daquelas inovações poderá levar a diferentes códigos de conduta ambiental regulados via mercado, conforme apontam as tendências recentes. Sem dúvida, são sistemas que estarão presentes no cenário da agricultura do futuro, constituindo-se em estágios de transição ou ainda em padrões vigentes.

Certamente as plantas transgênicas, já cultivadas em vários países, terão um papel importante no cenário futuro da agricultura mundial. Em decorrência da polarização das

posições favoráveis e contrárias aos OGMs, ainda não se tem uma projeção do seu papel na agricultura brasileira a longo prazo. Contudo, os argumentos de cientistas e de instituições científicas indicam que é estratégico para o Brasil desenvolver a tecnologia de transgenia e ao mesmo tempo gerar informações completas e seguras a curto/médio prazo, visando a saúde humana no consumo de produtos transgênicos e também a preservação da qualidade ambiental no seu cultivo. Somente tais condições permitirão o posicionamento estratégico dos agricultores brasileiros no competitivo mercado global.

De outro lado, num futuro próximo, a agricultura orgânica, pelas suas peculiaridades de um sistema ainda em desenvolvimento, dificilmente ocupará mais que uma posição marginal nas estatísticas de produção e consumo. Apesar disso, vislumbra-se um papel fundamental para ela, por se tratar de um modelo de agricultura com abordagem holística e de resgate de funções e sistemas naturais que os sistemas de agricultura intensiva deixaram para trás.

Os sistemas orgânicos começam a se expandir em todo o mundo e no Brasil, agora rompendo a barreira da pequena escala e da produção limitada a hortigranjeiros, abrindo possibilidades para a sua generalização. Todavia, como as próprias experiências mostram, os problemas para o seu desenvolvimento são muitos, e não se restringem a tecnologia, crédito, assistência técnica, mercado de insumos e máquinas ou a outros quesitos suficientes para a agricultura intensiva convencional. Muito além disso, necessitam de arranjos institucionais próprios (setores público, privado e do terceiro setor) visando dar conta, e de forma coletiva e integrada, do desenvolvimento de tecnologias locais específicas e das necessidades inerentes aos processos de certificação, requisito básico para a captura dos benefícios desse sistema a partir dos mercados.

Assim, embora no longo prazo as novas configurações apontem para tecnologias e sistemas de produção baseados na filosofia da agricultura orgânica e suas variantes, visualiza-se no futuro próximo – ainda sem considerar o papel dos transgênicos – a convivência das duas tendências, com benefícios mútuos em termos de desenvolvimento: a incorporação de componentes da agricultura orgânica pelos sistemas convencionais, resultando na sua revolução contínua, e a utilização de estratégias de desenvolvimento da agricultura intensiva pelos sistemas orgânicos, o que permitirá a sua consolidação como um sistema competitivo no mercado, inclusive em termos de preços aos consumidores.

Paulo Choji Kitamura é engenheiro agrônomo, doutor em Economia e pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, São Paulo.
kitamura@cnpma.embrapa.br

QUALIDADE DOS SOLOS E SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS AGRÍCOLAS

José Miguel Reichert

Dalvan José Reinert

João Alfredo Braida

O solo pode ser considerado a base de sustentação dos sistemas agrícolas. Assim, perdas nas suas propriedades, que reduzam a capacidade de sustentar o crescimento vegetal ou que impliquem riscos ambientais, causam impacto negativo de grande significação para as comunidades rurais, com repercussões no meio urbano. Por outro lado, a melhoria do ambiente edáfico tem efeitos positivos sobre todo o ambiente, revestindo de grande importância o conhecimento da qualidade do solo e sua quantificação via indicadores físicos, químicos e biológicos. A agregação e a compactação são dois processos importantes que também ocorrem nos solos agrícolas e que têm grande relação com a qualidade. Sua avaliação, por meio de indicadores, associada a informações sobre crescimento vegetal e aspectos ambientais, especialmente aqueles relacionados à erosão dos solos, podem ser úteis para o estabelecimento de uma agricultura sustentável.

Conceitos e abrangência

Qualidade do solo é mais do que um recurso de retórica usado como “estratégia de propaganda” para alardear avanços tecnológicos ou, simplesmente, para “modernizar” nosso discurso. Ela se refere à integração de processos no solo e propicia a estimativa das alterações de sua condição, decorrente de diversos fatores, como uso da terra, padrões climáticos, seqüências culturais e sistemas de manejo¹ ou da capacidade que tem o solo de funcionar ou não adequadamente². As principais funções do solo podem ser assim resumidas: servir como meio para o crescimento de plantas; exercer a regulagem e partição do fluxo de massa e energia no ambiente; atuar como filtro ambiental.³ A qualidade, do ponto de vista físico, está associada àquele solo que: a) permite a infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas, córregos e subsuperfície; b) responde ao manejo e resiste à degradação; c) permite as trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes de plantas; e d) possibilita o crescimento das raízes.

Sustentabilidade refere-se àquilo que se pode sustentar; e sustentar, relaciona-se com o fato de conservar a mesma posição, impedir a ruína ou a queda de, amparar, entre outros significados. Assim, podemos definir sustentabilidade como a propriedade de algo que ou se auto-sustenta ou que deve ser sustentado. Portanto, sua discussão deve principiar pela resposta à pergunta “o que deve ser sustentado (ou sustentável)?”, como fizeram Gale & Cordray⁴. Seria a propriedade agrícola, a agricultura como atividade econômica ou o ambiente? Indo além, precisamos definir quem sustentará e quando isso deverá ser feito.

Em agricultura, o termo sustentabilidade tem recebido distintos significados⁵: “filosofia”, conjunto de estratégias, habilidade para alcançar um conjunto de metas e, finalmente, habilidade de manter-se. Segundo Hansen, a caracterização de sustentabilidade de sistemas agrícolas deve ser: *literal* – definindo sustentabilidade como uma habilidade de manter-se no tempo; *orientada a sistemas* – identificando sustentabilidade como uma propriedade objetiva do sistema agrícola, cujos componentes, contornos e contextos hierárquicos são claramente definidos; *quantitativa* – tratando sustentabilidade como uma quantidade contínua, permitindo comparações entre sistemas alternativos; *preditiva* – referindo-se a situações futuras e não do passado e presente; *estocástica* – subentendendo a variabilidade como uma determinante da sustentabilidade e componente da predição; e *diagnóstica* – utilizando uma medida integrada da sustentabilidade para identificar e priorizar limitações.

¹ DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F. & STEWART, B. A. (eds.) *Defining soil quality for a sustainable environment*. p. 3-21. SSSA Spec. Publ. n.º. 35. Madison, WI: ASA, CCSA e SSSA, 1994.

² KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R. F. & SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:4-10, 1997.

³ LARSON, W. E. & PIERCE, F. J. Conservation and enhancement of soil quality. In: *Evaluation for sustainable land management in the developing world*. p. 175-203. Int. Board for Soil Research and Management, Bangkok, Thailand, 1991.

⁴ GALE, R. P. & CORDRAY, S. M. Making sense of sustainability: Nine answers to “what should be sustained?”. *Rural Sociology*, 59:311-332, 1994.

⁵ HANSEN, J. W. Is agricultural sustainability a useful concept? *Agric. Systems*, 50: 117-143, 1996.

⁶ SHAXSON, T. F. Concepts and indicators for assessment of sustainable land use. *Adv. Geocology*, 31:11-19, 1998.

⁷ ADDISCOTT, T. M. Entropy and sustainability. *Eur. J. Soil Sci.*, 46:161-168, 1995.

⁸ D'AGOSTINI, L. R. *Erosão: o problema mais que o processo*. Florianópolis: Editora UFSC, 1999. 131p.

⁹ ADDISCOTT, T. M. *Op. cit.*

¹⁰ Com contribuição de L. R. D'Agostini e S. L. Schlindwein da Universidade Federal de Santa Catarina.

Se incluirmos a dimensão socioeconômica, a sustentabilidade engloba a manutenção do agrossistema para a segurança alimentar e geração de divisas.⁶ Além disso, a própria percepção do que é sustentabilidade pode ser modificada, uma vez que os agricultores, em função de seus costumes e valores culturais, geralmente percebem a sustentabilidade de uma forma muito distinta daquela com que os cientistas o fazem.

Em termos termodinâmicos, o sistema solo-planta pode ser considerado um sistema aberto, que tende a alcançar um estado estável dinâmico. Esse estado pode ser descrito pelos princípios termodinâmicos do não-equilíbrio e é caracterizado por uma produção mínima de entropia. No sistema solo-planta, a partir do fluxo de energia estabelecido entre o sol e o espaço (figura 1), atuam processos produtores (dissipativos) e redutores de entropia (ordenativos), conforme quadro 1. Assim, a sustentabilidade de sistemas agrícolas dependeria da manutenção do balanço adequado entre processos dissipativos e ordenativos e, portanto, um critério de sustentabilidade poderia ser a mínima produção de entropia.⁷ Uma análise baseada em energia é encontrada em D'Agostini⁸.



Figura 1: Realização de trabalho e produção de entropia pelos processos ordenativos e dissipativos que influenciam o sistema solo-planta⁹

Finalmente, faz-se necessário conceituar os termos qualidade, propriedade, atributo, condição (estado), característica e parâmetro¹⁰, muitas vezes usados como sinônimos entre os cientistas do solo. *Qualidades* são o conjunto de propriedades, atributos e condições usadas para descrever ou definir um elemento. *Propriedades* são aquelas manifestações comuns a todos os elementos que pertencem a uma mesma categoria de sistema, ou seja, no caso dos solos, que todos apresentam (exemplo: porosidade); *atributos* são qualidades que resultam da manifestação circunstancial daquelas propriedades, ou seja, são manifestações de propriedades que só emergem mediante a manifestação de qualidades de

outros sistemas (exemplo: permeabilidade, que só é percebida quando atua no solo um fluido); *característica* é uma manifestação particular de uma propriedade (exemplo: vermelho escuro é característica da propriedade cor do solo); *condições* (estados) são referências ao grau de manifestação de qualidades que um solo pode apresentar (exemplo: solo muito compactado, enterrado ou úmido); *parâmetro* é a quantificação da manifestação de uma propriedade, atributo ou condição, permitindo que se estabeleçam limites para a definição de uma característica (exemplo: índice de vazios).

Quadro 1: Processos ordenativos e dissipativos no sistema solo-planta, classificados como biológicos ou físicos. Os pares, em cada linha, são necessariamente opostos¹¹

¹¹ ADDISCOTT, T. M. *Op. cit.*

Processos ordenativos Redução de entropia	Processos dissipativos Aumento de entropia
Biológico	
Fotossíntese	Respiração
Crescimento	Senescência
Formação MOS	Decomposição MOS (gases)
Físico	
Água (formação de solo)	Água (erosão, lixiviação)
Floculação	Dispersão
Agregação do solo	Desagregação
Formação da estrutura	Degradação da estrutura
Unidades maiores	Unidades menores
Menos unidades	Mais unidades
Maior ordenação	Menor ordenação

Quando empregamos a expressão *qualidade do solo*, estamos nos referindo à *capacidade física do solo em sustentar o pleno desenvolvimento de plantas*. A qualidade do solo é percebida como “qualidade para alguma coisa” (e não em si mesma como o é a textura ou a porosidade). Para medir a qualidade do solo, com vistas ao crescimento de plantas, precisamos avaliar o comportamento da planta, assim como precisamos avaliar o comportamento da água no solo para medir sua permeabilidade. Enfim, a propriedade de crescer está na planta e a de fluir está na água. Entretanto, é possível estimar a qualidade de um solo para o crescimento de plantas a partir de propriedades, atributos ou condições do próprio solo e que interferem no desenvolvimento das plantas. Assim, a qualidade do solo pode ser classificada como sendo boa, ruim, alta, baixa ou média para um determinado fim. Para podermos caracterizar os solos, segundo essas classes de qualidade (ou outras a convencionar), precisamos definir critérios e limites, ou seja, os indicadores de qualidade do solo.

Qualidade do solo e indicadores

¹² SOIL SURVEY DIVISION STAFF. *Soil survey manual*. US Dept. Agric. Handbook, n.º 18. Washington, DC: U. S. Govet. Print. Office, 1993.

¹³ KLAMT, E.; SCHNEIDER, P.; DOS SANTOS, F. J. & GABINETE DA REFORMA AGRÁRIA, RIO GRANDE DO SUL. Uso das informações de levantamentos de solos nos projetos de assentamento: a experiência do Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, XIV. Cuiabá, 2002. *Anais...* UFMT, Cuiabá. 2002.

¹⁴ D'AGOSTINI, L. R. & SCHLINDWEIN, S. L. *Dialética da avaliação do uso e manejo das terras*. Florianópolis: Editora UFSC, 1998. 121 p.

¹⁵ SEYBOLD, C. A.; MAUSBACH, M. J.; KARLEN, D. L. & ROGERS, H. H. Quantification of soil quality. In: THE SOIL QUALITY INSTITUTE (ed.) *The soil quality concept*. Washington, DC: USDA-NRCS, 1996. p. 53-68.

¹⁶ SEYBOLD, C. A. *et. al. Op. cit.*

¹⁷ DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. *Op. cit.*

A qualidade do solo, historicamente, significa potencialidades e limitações para determinado uso¹², relacionando-se com propriedades inerentes do solo, resultantes dos fatores de formação. Esse procedimento é usado em levantamento de solos e avaliação de terras, mas, infelizmente, tem recebido atenção limitada. Um exemplo é o uso dessa metodologia para estabelecimento de tamanho e demarcação de lotes em projetos de reforma agrária no Rio Grande do Sul, executados pelo governo entre os anos de 1998 e 2002.¹³ Outra estratégia é apresentada por D'Agostini & Schlindwein¹⁴, para a avaliação do uso e do manejo das terras, com a formulação de um índice de qualidade das relações de uso do meio (IQRM) e da sustentabilidade das relações homem-meio.

A visão predominante de qualidade do solo, na atualidade, refere-se à natureza dinâmica dos solos, influenciada pelo uso e manejo pelo homem. Nesse sentido, o termo evoca desde valores éticos pelos pioneiros da conservação do solo, como Benett e Leopold, até relações com saúde feitas por agricultores.¹⁵

A qualidade não pode ser medida, mas deve ser inferida de medidas de propriedades do solo ou do agroecossistema, referidos como indicadores.¹⁶ Segundo Doran & Parkin¹⁷, indicadores devem seguir os seguintes critérios: (1) envolver processos ocorrentes no ecossistema, (2) integrar propriedades e processos físicos, químicos e biológicos, (3) ser acessível e aplicável no campo, (4) ser sensível a variações de manejo e de clima, e (5) ser componente de banco de dados de solos, sempre que possível.

A avaliação da qualidade do solo tem dimensão espacial e temporal. O intervalo entre medições para que o indicador avalie mudanças depende, portanto, do tempo necessário para que dado manejo do solo produza alterações quantificáveis, enquanto sua frequência no espaço deve considerar as variações espaciais provocadas pelo mesmo.

A matéria orgânica é um dos melhores indicadores de qualidade do solo, pois se relaciona com inúmeras propriedades físicas, químicas e biológicas. Neste artigo, contudo, a ênfase será em indicadores físicos do solo e produção de plantas.

Indicadores qualitativos são fundamentais, especialmente para que sejam compartilhados com os agricultores, permitindo que eles possam avaliar as limitações na produção em suas propriedades, integrando-os no trabalho de monitoramento dos progressos (ou regressos) conseguidos.

Metodologias semiquantitativas incluem o índice morfológico da superfície do solo (0 a 30 cm), no qual são avaliadas as propriedades profundidade, tipo de horizonte, textura ao tato, umidade, estrutura (incluindo crostas), consistência (resistência à ruptura) e tipo e tamanho de macroporos.¹⁸ Outro exemplo é o perfil cultural, que consiste na abertura de trincheiras e observação da organização e da morfologia das estruturas nas diferentes regiões do perfil.¹⁹

Para expressar matematicamente a qualidade do solo (Q), Larson & Pierce²⁰ apresentam Q como função de atributos mensuráveis do solo (qi), significando a variação temporal da qualidade como dQ/dt e propondo o estabelecimento de pedofunções para expressar a qualidade, com base em um conjunto mínimo de dados de propriedades do solo. Três situações podem ocorrer: $dQ/dt > 0$, com melhoria da qualidade do solo (agração); $dQ/dt < 0$, com redução da qualidade do solo (degradação); e $dQ/dt = 0$, situação sem alteração (manutenção) da qualidade do solo.²¹

Múltiplos indicadores podem ser integrados em um único e, com a análise geoestatística (krigeagem), podem ser usados para avaliar a qualidade do solo na paisagem.²² Embora não referissem explicitamente ao termo qualidade do solo, Albuquerque *et al.*²³ usaram análise geoestatística para relacionar profundidade do horizonte A, disponibilidade de água às plantas e produtividade de milho, havendo significativa correlação espacial entre essas variáveis. Mapas podem ser usados para planejamento e para avaliar alterações temporais na qualidade do solo, como no trabalho de Vezzani *et al.*²⁴.

Para o conjunto mínimo de dados, Doran & Parkin²⁵ propõem a inclusão das propriedades físicas do solo constantes no quadro 2, indicando a relação com a condição do solo, a função e a justificativa para a sua medição.

O monitoramento de tendências é muito útil, mas deve referir-se a uma escala normalizada.²⁶ Arnold *et al.*²⁷ agruparam flutuações e tendências em três grupos: variações não sistemáticas ou randômicas (exemplo: flutuações climáticas e intervenção humana); variações regulares periódicas (exemplo: flutuações climáticas estacionais e cultivos) ou cíclicas; e variações com tendência (exemplo: declínio ou acréscimo de matéria orgânica ou de nutrientes em período longo).

As propriedades e atributos físicos podem ser agrupados em escalas temporais desde meses até milhares de anos: $<10^{-1}$ ano para densidade do solo, porosidade total, umidade do solo, taxa de infiltração de água e permeabilidade;

¹⁸ SOIL SURVEY DIVISION STAFF. *Op. cit.*

¹⁹ TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; BALBINO, L. C. & NEVES, C. S. V. J. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico do solo em condições tropicais. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:393-399, 1999.

²⁰ LARSON, W. E. & PIERCE, F. J. *Op. cit.*

²¹ SEYBOLD, C. A. *et. al. Op. cit.*

²² SMITH, J. L.; HALVORSON, J. J. & PAPENDICK, R. I. Using multiple-variable indicator kriging for evaluating soil quality. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:743-749, 1993.

²³ ALBUQUERQUE, J.; REINERT, D. J. & FIORIN, J. E. Variabilidade de solo e planta em Podzólico Vermelho-Amarelo. *R. Bras. Ci. do Solo*, 20:151-157, 1996.

²⁴ VEZZANI, F. M.; AMADO, T. J. C.; SULZBACH, L.; CONCEIÇÃO, P. C. & GRAPEGGIA Jr., G. Relações da qualidade do solo com a produtividade das culturas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, XIV. Cuiabá, 2002. *Anais...* UFMT, Cuiabá. 2002.

²⁵ DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. *Op. cit.*

²⁶ SEYBOLD, C. A. *et. al. Op. cit.*

²⁷ ARNOLD, R. W.; ZABOLES, I. & TARGULIAN, V. C. *Global soil change*. Laxenburg, Áustria: Institute for Applied Systems Analysis, 1990.

²⁸ ARNOLD, R. W. *et. al. Op. cit.*

²⁹ DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. *Op. cit.*

10⁻¹-10⁰ ano para capacidade de campo e condutividade hidráulica; 10⁰-10¹ anos para ponto de murcha permanente; 10¹-10² anos para área superficial específica; e >10³ anos para distribuição de tamanho e densidade de partículas.²⁸

Quadro 2: Propriedades físicas propostas como indicadores básicos para avaliação da qualidade do solo²⁹

Propriedade física	Relação com a condição do solo e a função	Justificativa
Distribuição de tamanho de partículas (textura)	Retenção e transporte de água e substâncias químicas	Uso em modelagem, erosão do solo
Profundidade do solo, camada superficial e raízes	Estimativa do potencial produtivo e de erosão do solo	Normalização de variações topográficas e geográficas
Densidade do solo e infiltração de água	Potencial de lixiviação, produtividade, erodibilidade	Conversão base volumétrica para gravimétrica
Curva característica de água no solo	Relacionado com retenção e transporte de água	Água disponível, cálculo da densidade, textura e matéria orgânica do solo

Valores de referência devem ser definidos e consistem de valores máximos para dada propriedade e valores aceitáveis para qualidade do solo. Para propriedades físicas, assim como para as demais, diferentes situações podem apresentar-se: mais é melhor (exemplo: estabilidade de agregados – EA), menos é melhor ou limite superior (exemplo: resistência mecânica à penetração – RP), valor mínimo ou limite inferior (exemplo: aeração do solo – Ar), e valor ótimo (exemplo: umidade do solo – U).

Muito esforço tem sido feito para avaliar as propriedades constantes no quadro 2, além de outras complementares, mas tem sido pequeno o avanço na física do solo aplicada. Possivelmente, isso se deve, pelo menos em parte, à limitação em estabelecer-se clara e quantitativamente a relação daquelas propriedades com produtividade e contaminação ambiental, embora alguns valores limite de propriedades estejam bem estabelecidos na literatura, como para RP e EA. Assim, conforme Karlen *et al.*³⁰, a simples medição e apresentação de uma propriedade do solo como resposta de uma prática de manejo não é mais suficiente, pois o recurso solo deve ser analisado como um sistema dinâmico que emerge de interações entre componentes físicos, químicos e biológicos.

As duas primeiras perguntas que devem ser sempre respondidas, independentemente da escala, são: como o solo funciona e quais os indicadores apropriados para fazer

³⁰ KARLEN, D. L. *et. al. Op. cit.*

³¹ KARLEN, D. L. *et. al. Op. cit.*

³² LETEY, J. Relationship between soil physical conditions and crop production. *Adv. Soil Sci.*, 1:277-293, 1985.

sua avaliação?³¹ Quando a função a avaliar for a produtividade biológica, particularmente de cultivos, as três propriedades RP, Ar e U podem ser integradas usando o conceito de umidade do solo, menos limitante para as plantas, introduzido por Letey³² e denominado na literatura brasileira de índice hídrico ótimo (IHO). O IHO pode, portanto, ser usado como um índice físico integrador de qualidade física do solo. Esse índice tem maior significado físico-biológico do que indicadores que unem estatisticamente propriedades do solo em um modelo tipo “caixa-preta”.

Manejo e qualidade física do solo

Técnicos e mesmo pesquisadores têm, muitas vezes, dificuldades em avaliar respostas das plantas a condições limitantes, particularmente condições abaixo da superfície do solo, que não podem ser prontamente visualizadas. O sistema radicular certamente percebe e integra todas as condições, no espaço e tempo, de modo semelhante à parte aérea das plantas, que está exposta a trocas constantes de ambiente, indicando claramente que estresses na parte aérea e sistema radicular são igualmente importantes.

Operações agrícolas que envolvam mobilização e ou tráfego de máquinas alteram substancialmente a estrutura dos solos, modificando as condições que determinam o ambiente de crescimento radicular. Na maioria das vezes, há degradação da qualidade do solo, cujos principais atributos indicadores parecem ser a agregação e a compactação. A compactação ocorre com maior intensidade em solos argilosos; entretanto, esses solos são mais resistentes à desagregação, enquanto os solos arenosos apresentam menores problemas de compactação, porém revelam alta susceptibilidade à desagregação.

A introdução da semeadura direta (SD) produz modificações em ambas as condições do solo, em taxas e direção diferentes das observadas em sistemas de manejo do solo que incluem sua mobilização. No entanto, o grau com que a SD altera as propriedades físicas é pouco conhecido e muito variável, principalmente devido às grandes variações de solos e clima onde é usada e às grandes variações de operações, tamanho de equipamentos e tipos de culturas empregados no sistema, nas mais diversas regiões e propriedades agrícolas.

O crescimento de plantas nos diferentes estágios de desenvolvimento, da emergência das plântulas à penetração das raízes, é afetado diretamente pela água, oxigênio, temperatura e impedância mecânica.³³ Esses fatores relacionam-se

³³ FORSYTHE, W. M. Las propiedades físicas, los factores físicos de crecimiento y la productividad del suelo. *Fitotecnia Latino Americana*, 4:165-176, 1967.

com propriedades do solo que afetam indiretamente as plantas. Plantas não crescem sem água e oxigênio; todavia, como saturação em água e aeração são inversamente proporcionais, excesso de água pode resultar em taxa de difusão e conteúdo de oxigênio reduzidos. Tem-se observado que, para algumas condições, a alongação de raízes é mais associada à aeração para solo com baixa impedância mecânica. Há evidências claras na literatura de que o impedimento radicular é reduzido ou eliminado quando o solo apresenta resistência à penetração igual ou maior do que 2 MPa, apesar de ser relacionado à condição estrutural.

O teor de água do solo controla a aeração, a temperatura e a impedância mecânica, os quais são afetados pela densidade do solo e distribuição do tamanho de poros. Aumento no teor de água reduz a aeração e a resistência do solo à penetração. O primeiro efeito é indesejável, ao passo que o segundo é desejável. A umidade também diminui a temperatura do solo, pois aumenta a condutividade térmica e o calor latente. Esses fatores físicos interagem e regulam o crescimento e funcionalidade das raízes, baseados em limites críticos associados ao ar, à água e à resistência do solo, com reflexos no crescimento e produtividade dos cultivos.

Agregação do solo

O manejo de solos e de culturas, que inclua espécies com diferentes tipos de sistemas radiculares, influencia fortemente a estabilidade da estrutura do solo e, em particular, a proporção de agregados estáveis em água. Os efeitos das plantas sobre a estabilidade dos agregados podem ser diretos ou indiretos, principalmente pela ação de proteção dos agregados superficiais, aporte de matéria orgânica na superfície ou internamente ao solo, e ação do sistema radicular. A SD, com rotação de culturas e com inclusão de plantas de cobertura de solo, além de reduzir drasticamente a erosão hídrica, afeta indiretamente a estabilidade estrutural através do incremento da matéria orgânica e atividade biológica do solo.

A presença da matéria orgânica do solo, nos diferentes estágios de decomposição, a atividade e natureza de microrganismos, associados à ação de sistema radicular de plantas, são altamente variáveis, considerando o enorme número possível de fontes de matéria orgânica, variação de microrganismos e tipos de sistemas radiculares existentes nos sistemas de produção agrícola. Tal fato impõe à estrutura do solo grande dinamicidade para os vários ambientes agrícolas e, para um mesmo ambiente, uma grande dinamicidade no tempo.³⁴

³⁴ REINERT, D. J. *Soil structural form and stability induced by tillage in a Typic Hapludalf*. East Lansing, Michigan State University, 1990. 129 p. (Tese de Doutorado).

ANGERS, D. A. Changes in soil aggregation and organic carbon under corn and alfalfa. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:1244-1249, 1992.

Há indicação clara de que o incremento de matéria orgânica, verificado após alguns anos do sistema de SD, é acompanhado, independentemente do tipo de solo, pelo incremento da agregação expressa pela estabilidade dos agregados. As taxas de aumento de agregação, no entanto, estão relacionadas à textura do solo, ao manejo e aos sistemas de cultura adotados. A degradação e o processo inverso, que é a recuperação da estabilidade estrutural, são pelo menos duas vezes mais rápidos em solos arenosos do que em solos argilosos. A condição inicial do solo, quando da adoção da SD, tem influência decisiva na condição estrutural resultante.

Quando se inicia a SD em um solo nunca cultivado, há evidências de que as perdas da qualidade são muito menores do que quando se empregam sistemas com mobilização do solo. O modelo de agregação em solo com gramíneas parece estar bem estabelecido. No entanto, o efeito das leguminosas ainda carece de informações. Nesse sentido, alguns dados experimentais suportam a hipótese de que há maior taxa de recuperação da agregação quando leguminosas são usadas na SD, indicando taxas mais lentas de recuperação da agregação ligadas às gramíneas de inverno, quando comparadas às leguminosas.

Os resultados disponíveis induzem a considerar que a SD age no sentido de melhorar as condições da estabilidade estrutural e seu efeito pode ter taxas baixas ou altas de melhoramento, dependendo do manejo global do solo e do sistema de cultura adotado. A bibliografia brasileira possui muita informação sobre condição da qualidade do solo; no entanto, em sua maioria, aponta diferenças entre manejo de solo e plantas em uma ou poucas épocas, sem o monitoramento temporal. Outrossim, para condições tropicais e subtropicais, o processo de degradação e recuperação deve apresentar taxas bem mais altas do que as observadas em climas temperados.

Alteração de propriedades do solo com a compactação

A compactação é um processo resultante do histórico de tensões recebidas em uma área, através da mecanização ou pelo pisoteio animal. A principal causa da compactação em solos agrícolas é o tráfego de máquinas em operações de preparo, semeadura, tratos culturais e colheita. A compactação superficial é causada basicamente pela pressão de inflação de ar dos pneus e a compactação subsuperficial pelo peso por eixo.³⁵ A utilização do sistema de plantio direto pode, em algumas situações, agravar esse problema.

³⁵ HÅKANSSON, I. & VOORHEES, W. B. Chapter on soil compaction. In: LAL, R., BLUM, W. H. VALENTIN, C. & STEWART, B. A. (eds.) *Methods for assessment of soil degradation*. Boca Raton: Lewis Publishers, 1997. 576 p.

Há controvérsia sobre que atributos utilizar para considerar se um solo está compactado, porém, o nível de compactação atual tem sido referenciado como “estado de compactação”, fator que limita o crescimento e o desenvolvimento das culturas.

Com a compactação há um aumento da densidade e da resistência do solo, redução da porosidade, principalmente macroporosidade ou porosidade de aeração (poros maiores que 50 mm), além de afetar diversos de seus atributos como a condutividade hidráulica, permeabilidade, infiltração de água e outras características ligadas à porosidade do solo. Essas alterações físicas, provocadas pela compactação, afetam o fluxo ou a concentração de água, oxigênio, dióxido de carbono, nutrientes e temperatura, que podem limitar o crescimento e desenvolvimento das plantas e causar problemas ambientais.³⁶

³⁶ STEPNIEWSKI, W.; HORN, R. & MARTYNIUK, S. Managing soil biophysical properties for environmental protection. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 88:175-181, 2002.

Há concordância no sentido de que a infiltração de água, macroporosidade, resistência à penetração de raízes, densidade, porosidade total e microporosidade indicam o estado em que a estrutura do solo se encontra e servem como indicadores do seu estado de compactação. A infiltração da água é a mais importante, pois integra vários fatores: distribuição do tamanho e continuidade de poros, poros biológicos e cobertura de solo. Poros biológicos são aqueles de seção aproximadamente circular, com diâmetro maior do que 2 a 3 mm, formados principalmente pela atividade da mesofauna e pela decomposição das raízes. Esses poros, embora em pequeno volume total, exercem grande efeito na infiltração da água no solo.

A densidade e porosidades, apesar de não serem as propriedades que recebem maior impacto com a modificação da estrutura do solo, têm sido mais largamente usadas pela facilidade de determinação e por receberem pequena influência do teor de água no momento da coleta de amostra de solo. O aumento da densidade do solo em lavouras sob SD foi verificado por vários autores, podendo ser considerado como uma consequência normal da técnica utilizada. No entanto, a produtividade muitas vezes não é prejudicada, devido a maior continuidade dos poros, que é uma importante característica que afeta a aeração do solo, a infiltração de água e a penetração de raízes. Dados publicados e observações visuais indicam que o maior estado de compactação de solos sob SD, indicado pela densidade, ocorre de 8 cm até aproximadamente 15 cm de profundidade, compactação provocada pelo confinamento das pressões que ocorrem próximo a essa profundidade. Para alguns

tipos de solos e de plantas, esse aumento da densidade não é prejudicial ao desenvolvimento da planta, mas, em algumas ocasiões, esse aspecto tem sido fator limitante à adoção do sistema de plantio direto. Num sistema de preparo reduzido, os efeitos da compactação tendem a ser mais persistentes do que em sistemas com preparo do solo, pois o revolvimento ocasionado pelo preparo convencional reduz, anualmente, os efeitos da compactação na camada arável.

Na superfície, a atividade biológica pode aliviar os efeitos negativos da compactação, mas não em maiores profundidades. A melhor maneira de aliviar os efeitos da compactação do solo na agricultura é criar uma rede estável de macroporos contínuos, pois esses favorecem o crescimento radicular, a aeração e a permeabilidade da água.

Outra propriedade físico-mecânica, alterada pelo sistema de manejo do solo, é a resistência mecânica à penetração de raízes, medida por penetrômetros. Tal resistência está estreitamente associada à densidade do solo e, para o mesmo teor de água, é tanto maior quanto maior a densidade, mostrando ser um bom indicador da compactação. Alguns pesquisadores sugerem que a densidade não é o mais importante fator que limita o crescimento radicular, mas sim a resistência que o solo oferece ao crescimento das raízes, que pode ser estimada por um penetrômetro.

Em sistemas integrados de produção de grãos e carne, também há a preocupação com a compactação. Solo de textura franca, que recebeu pisoteio contínuo no inverno com carga animal variando de 1.000 a 1.500 kg ha⁻¹, não apresentou valores de macroporosidade e densidade que indicassem restrição ao crescimento vegetal. Entretanto, quando foi utilizada alta carga animal, observou-se aumento da densidade e redução da aeração e infiltração da água no solo. Um estudo em bacias leiteiras de agricultores assistidos pela Cotrijuí foi realizado em solo argiloso. Adotou-se o sistema rotativo de pastoreio, no qual os animais permanecem por pouco tempo pastoreando (menos de duas horas); as forrageiras usadas foram trevo e tifton e a pastagem recebeu manejo sem mobilização de solo. De maneira geral, a compactação máxima situa-se em torno de 5 cm de profundidade, com valores de densidade do solo de cerca de 1,5 Mg m⁻³ e macroporosidade variando entre 5 e 8%. A resistência à penetração das raízes (RP) também indica que a máxima compactação é superficial, situando-se pouco abaixo dos 5 cm de profundidade. Se excluídas as leituras até 2 cm, a RP é alta na porção mais superficial do solo e diminui com a profundidade.

Para aliviar a compactação, deve-se considerar a relação solo-máquina/animal-planta. Modificações nas máquinas agrícolas resumem-se em diminuir a pressão de ar dos pneus, aumentar a largura dos mesmos, utilizar pneus de carcaça mais flexíveis (radiais), limitar o peso por eixo e evitar o patinamento excessivo.³⁷ Em relação ao solo, deve-se considerar a umidade do mesmo para realizar as operações de preparo, tratos culturais, colheita e transporte. No manejo, devem integrar a rotação de culturas espécies vegetais que produzam grande massa radicular e cujas raízes possuam a habilidade de penetrar em camadas compactadas. A decomposição dessas raízes deixa poros contínuos e de maior estabilidade, que aumentam a infiltração de água e as trocas gasosas, agindo como subsoladores naturais.

Limites físicos ao crescimento de plantas

Na tentativa de responder à necessidade de parâmetros do solo, que possam orientar no diagnóstico de condições físicas limitantes ao crescimento de plantas e, ainda, auxiliar na tomada de decisão sobre quando intervir para recuperar essas condições, alguns valores têm sido indicados na literatura, embora sejam estritamente empíricos. No quadro 3, apresentamos alguns desses valores e as fontes bibliográficas onde podem ser encontrados.

Quadro 3: Valores críticos para alguns parâmetros físicos do solo, segundo várias fontes da literatura. Adaptado de Reynolds *et al*³⁸

Parâmetro	Valores críticos	Fonte
Densidade do solo crítica - D _s (impedimento severo)	1,4 - 1,8 (função do teor de argila)	Jones (1983)
	1,4 - 1,6 (solo argiloso)	Veihmeier & Hendrickson (1948)
	1,6 - 1,8 (solo franco e arenoso)	
Resistência à penetração - RP	2 MPa	
Porosidade de aeração - EA	EA = 0,10 - 0,15 m ³ m ⁻³	Cockrooft & Olsson (1997)
Água disponível às plantas - AD	AD = 0,15 - 0,25 m ³ m ⁻³	Cockrooft & Olsson (1997)
Aeração/Porosidade	CC/Pt = 2/3 (0,66) ou EA/Pt = 1/3 (0,34)	Olness <i>et al.</i> (1988)

A dificuldade para a definição e, conseqüentemente, adoção de um valor crítico para propriedades e atributos de solo, reside no fato de que esses não são determinantes diretos do crescimento das plantas, como demonstrado por Letey³⁹ em seu conceito de faixa de umidade não limitante. Além disso, as propriedades e atributos do solo atuam de forma conjunta e complexa sobre os fatores de crescimento e, assim, a definição de um valor específico para uma

³⁷ HÅKANSSON, I.; VOORHEES, W. B. & RILEY, H. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop responses in different traffic regimes. *Soil Till. Res.*, 11:239-282, 1988.

³⁸ REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S. & LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*, 110:131-146, 2002.

³⁹ LETEY, J. *Op. cit.*

propriedade pode não ter significado nenhum quando analisado isoladamente. Em caráter experimental, tem-se observado que as plantas continuam produzindo adequadamente, mesmo em solos que muitas vezes apresentam, para algumas propriedades, condições inadequadas em termos teóricos.

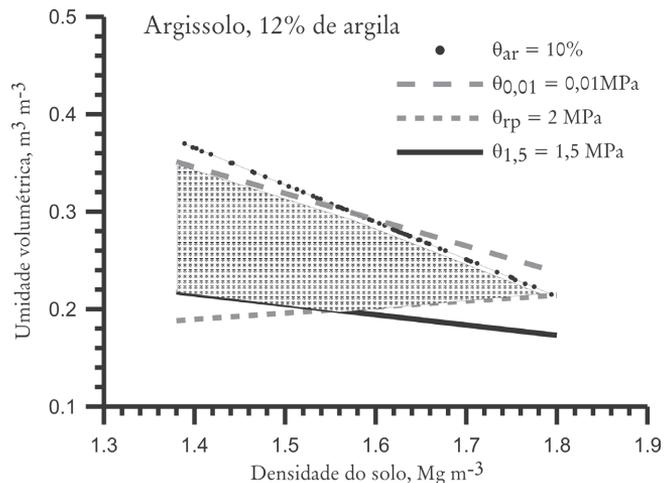
Intervalo hídrico ótimo como indicador de qualidade do solo

O conceito de faixa de umidade não limitante foi introduzido por Letey⁴⁰, considerando limitações ao crescimento vegetal relacionadas à aeração, à resistência à penetração e à água disponível com a variação de umidade do solo. Da Silva *et al.*⁴¹ modificaram esse conceito e definiram como intervalo hídrico ótimo (IHO) a faixa de umidade de um solo no qual o crescimento é pouco limitado. Como os fatores acima citados mudam com modificações da estrutura, há variação do IHO para cada solo em função de seu manejo e do manejo de plantas.

O IHO fica mais estreito à medida que o estado de compactação aumenta (aumento da densidade do solo) e que ocorre degradação da estrutura (figura 2). Por exemplo, a aeração do solo pode restringir a difusão de oxigênio e, por conseqüência, o crescimento radicular à umidade mais baixa que a capacidade de campo, assim como a resistência do solo à penetração pode restringir crescimento à umidade maior que a correspondente ao ponto de murcha permanente. Culturas produzidas em solos com pequeno IHO são mais vulneráveis à queda de produtividade por falta ou excesso de água do que solo com grande valor de IHO.

⁴⁰ LETEY, J. *Op. cit.*

⁴¹ DA SILVA, A. P.; KAY, B. D. & PERFECT, E. Characterization of least limiting water ranges of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1775-1781, 1994.



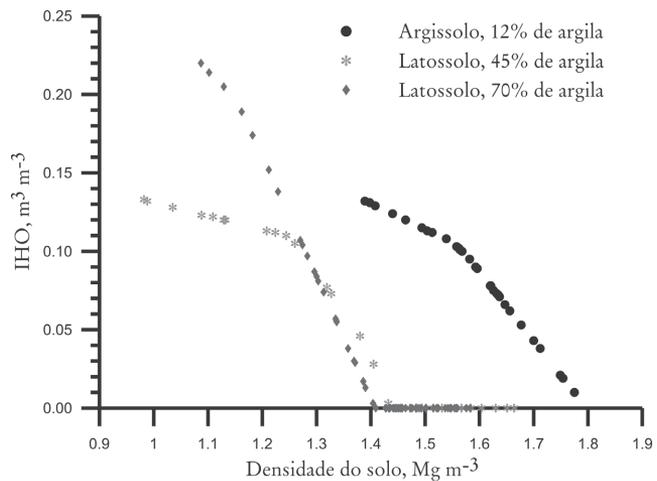
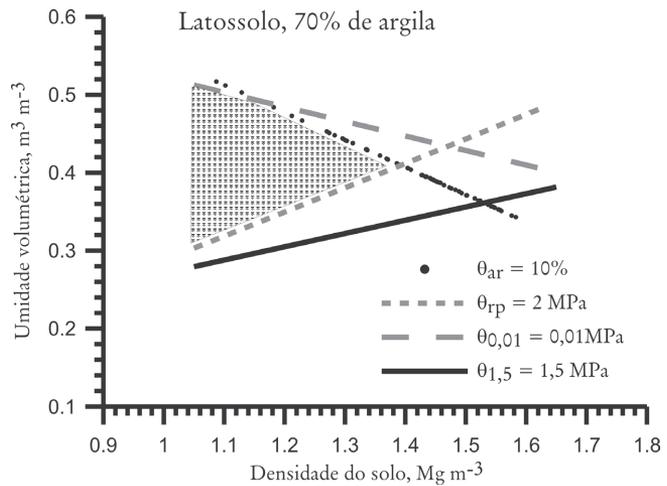
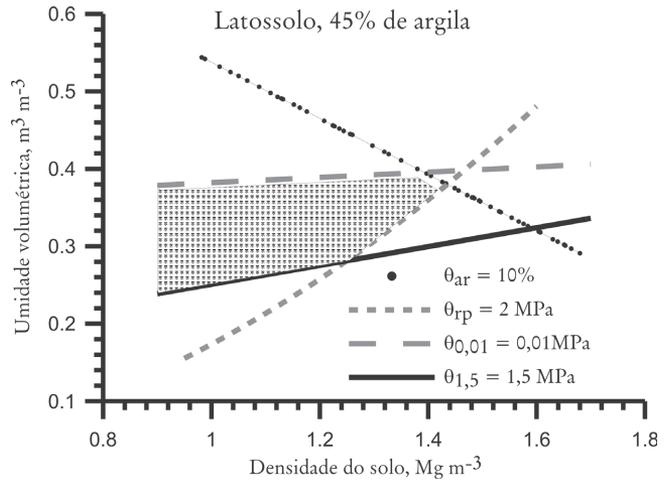


Figura 2: Efeito da estrutura do solo no intervalo hídrico ótimo (IHO), tomando por base os níveis críticos da porosidade de aeração (α_{ar}), capacidade de campo ($\alpha_{0,01}$), resistência mecânica à penetração (α_{rp}), ponto de murcha permanente ($\alpha_{1,5}$) para três solos sob semeadura direta (SD).

O intervalo hídrico ótimo (IHO) é considerado um índice de qualidade estrutural do solo, pois integra num só índice os fatores físicos que estão diretamente relacionados com o desenvolvimento das plantas. Tais fatores são: porosidade de aeração (Ar) superior a 10%, água no solo a tensões entre a capacidade de campo (CC) e ao ponto de murcha permanente (PMP) e teor de água quando a resistência mecânica (RP) do solo é inferior a 2 MPa. O IHO integra quatro fatores relacionados diretamente com o crescimento das plantas, que são determinados pelas propriedades intrínsecas e pela estrutura do solo.

Na densidade do solo quando o IHO é zero ($ds_{\text{IHO}=0}$), a probabilidade da umidade estar fora do ótimo é 100% e, portanto, o risco às culturas é alto. No entanto, é possível que esse valor ainda não seja o crítico, pois valores maiores podem ser os impeditivos. Uma dificuldade inerente à definição de valor crítico é estabelecer se um dado processo (exemplo: crescimento de raízes) ou resultado (exemplo: produção de grãos) é afetado em determinado grau estabelecido (restritivo) ou totalmente paralisado (impeditivo).

Um aspecto fundamental e pouco comentado em relação ao IHO é que o estimador desse intervalo é a densidade do solo (ds). Assim, apesar de existirem inúmeros trabalhos sobre RP e relações com a ds e umidade do solo e muitos deles afirmarem que a ds não indica nada, ela é a estimadora. Portanto, em pesquisa, por reconhecer que o IHO é um índice mais completo, definir-se-iam faixas, classes e limites e, na prática (no campo ou em larga escala de identificação da qualidade física), usar-se-ia a ds .

Na tentativa de verificar, preliminarmente, se os limites críticos de densidade do solo (ds_c) estabelecidos por Reinert & Reichert⁴² são adequados, a proposição é contrastada com resultados de pesquisa de IHO, para distintos solos, representados no triângulo textural (figura 3). Os valores propostos de ds_c foram de 1,45 Mg m⁻³ para solos com textura argilosa (> 55% de argila), 1,55 Mg m⁻³ para textura média (20 a 55% de argila) e 1,65 Mg m⁻³ para textura arenosa (< 20% de argila). Percebe-se que os valores de ds_c inicialmente propostos parecem ser consistentes para solos argilosos, mas estão subestimados para solos não argilosos (textura média e arenosa).

Qualidade estrutural do solo, sistema radicular e produtividade de plantas

A análise da distribuição radicular no perfil é uma metodologia qualitativa, possuindo grande utilidade na avaliação e identificação de camadas de impedimento mecânico ao

⁴² REINERT, D. J. & REICHERT, J. M. Modificações físicas em solos manejados sob sistema de plantio direto. In: *Siembra directa: una herramienta para la agricultura conservacionista*. Florianópolis-SC. CD-ROM. 1999.

crescimento radicular. Na comparação de três sistemas de manejo para a cultura do feijão em solo franco arenoso, verificou-se o seguinte: no plantio direto as raízes concentraram-se na camada de 5 a 15 cm, porém algumas ultrapassaram a camada compactada e desenvolveram-se em profundidades maiores que 30 cm; no preparo convencional, não ocorreram restrições ao crescimento radicular, pois as raízes distribuíram-se uniformemente nos lados da planta, ocupando todo o volume de solo; no preparo reduzido, as raízes concentraram-se até a profundidade de 25 cm. Em relação ao plantio direto e ao preparo convencional, o feijoeiro cultivado sob preparo reduzido permaneceu 3 dias a mais em solo com a umidade entre o limite superior e o limite inferior do IHO do que no plantio direto, e 4 dias a mais do que no preparo convencional. Contudo, não houve diferenças entre a produtividade do feijoeiro nos diferentes sistemas de manejo do solo, indicando que o período de dias em que o solo permaneceu fora das condições ideais não foi suficiente para afetar diferencialmente a produtividade da cultura. Portanto, mais estudos são necessários para relacionar o IHO como indicador físico de qualidade do solo para a produção de plantas.

⁴³ DA SILVA, A. P. *et. al.* *Op. cit.*

⁴⁴ DA SILVA, A. P. da & KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soil from properties and management. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:877-883, 1997.

⁴⁵ KLEIN, V. A. *Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo.* Piracicaba - SP. ESALQ, Universidade de São Paulo, 1998. 130 p. (Tese de Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas).

⁴⁶ TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. da & LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:573-581. 1998.

⁴⁷ TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. da & LIBARDI, P. L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. *Soil Till. Res.*, 52: 223-232, 1999.

⁴⁸ IMHOFF, S.; DA SILVA, A. P.; DIAS JUNIOR, M. de S. & TORMENA, C. A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. *R. Bras. Ci. do Solo*, 25: 11-18, 2001.

⁴⁹ SILVA, V. R. da. *Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação.* Santa Maria-RS. UFSM, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003. 171 p. (Tese de Doutorado em Agronomia).

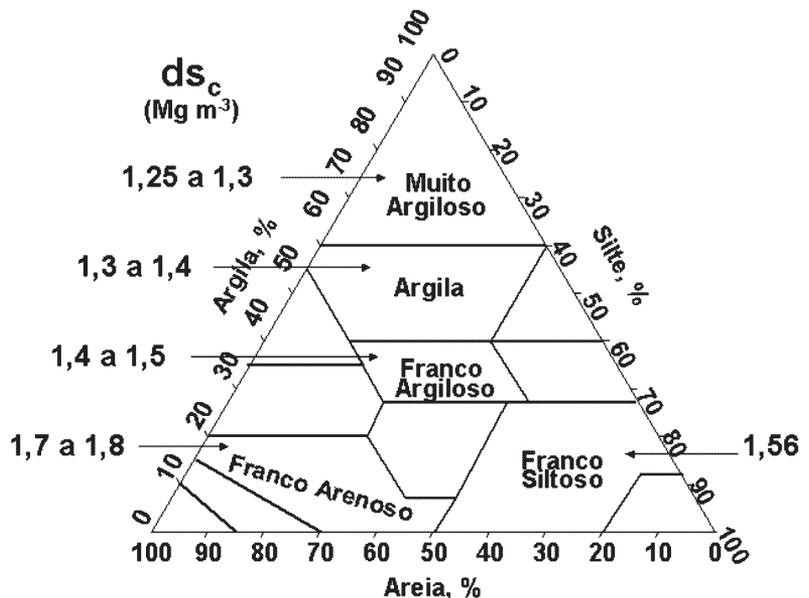


Figura 3: Variação de valores de densidade do solo quando o IHO é zero (ds_c em $Mg\ m^{-3}$), para distintas classes texturais. Resultados apresentados em Da Silva *et al.* (1994)⁴³, Da Silva & Kay (1997)⁴⁴, Klein (1998)⁴⁵, Tormena *et al.* (1998)⁴⁶, Tormena *et al.* (1999)⁴⁷, Imhoff *et al.* (2001)⁴⁸ e Silva (2003)⁴⁹

⁵⁰ STRECK, C. A. *Compactação do solo e seus efeitos no desenvolvimento radicular e produtividade da cultura do feijoeiro e da soja*. Santa Maria-RS. UFSM, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003. 83p. (Dissertação de Mestrado em Agronomia).

Em outro estudo, também em solo franco arenoso, com compactação adicional imposta por tráfego de máquinas,⁵⁰ os diferentes estados de compactação do solo refletiram-se na distribuição e morfologia do sistema radicular da soja e do feijão, o que afetou significativamente a produtividade das culturas. Ao longo do ciclo das culturas, todos os tratamentos atingiram valores de resistência do solo à penetração radicular restritivos ao crescimento das plantas, mas com menor frequência e num menor intervalo de profundidade para o tratamento sem compactação adicional. Comparado ao tratamento sem compactação adicional, o estado de compactação imposto por duas passadas de máquina reduziu a produtividade da soja em 20% e 40% para o feijão, e para o estado de compactação mais elevado, imposto por quatro passadas de máquina, a redução na produtividade foi de 38% para a soja e 62% para o feijão.

⁵¹ SILVA, V. R. da. *Op. cit.*

Em Latossolos com distintos estados de compactação,⁵¹ a resistência à penetração radicular foi mais eficiente que a densidade do solo para identificar os estados de compactação e camadas compactadas. A estrutura da camada compactada possui aspecto maciço e laminar, indicativo do efeito do tráfego de máquinas. A cultura do trigo foi a mais sensível à compactação do solo, sendo reduzida em 18% no Latossolo Vermelho distrófico e em 34% no Latossolo Vermelho distroférico, típico no maior estado de compactação em relação ao menor, possivelmente devido à aeração deficiente. A produtividade de milho também foi sensível aos diferentes estados de compactação, enquanto a soja não o foi.

Esses estudos demonstram que, se o objetivo for produção de plantas, os indicadores físicos de estrutura do solo devem estar associados à produtividade e ser desenvolvidos, preferencialmente, no campo.

Avaliação da qualidade do solo pelo agricultor: raízes como fator-chave

O solo funciona como parte do agroecossistema, o que torna mais difícil medir sua qualidade. Múltiplas observações para diferentes lugares e tempo devem ser feitas e uma boa estratégia reside em observar respostas integradas de um determinado solo, como: desenvolvimento da cultura, doenças, empoçamento de água e produtividade. Nesse sentido, a maioria dos produtores rurais preocupa-se, sente o efeito dos sistemas de produção sobre o solo e percebe se a qualidade do mesmo está melhorando ou piorando.

Além dos indicadores de qualidade do solo considerados quantitativos e científicos, indicadores qualitativos que possam ser observados diretamente na propriedade (quadro 4), são de alta importância e devem servir de guia para o manejo dos solos agrícolas e estar bem consolidados na memória dos produtores.

Quadro 4: Indicadores físicos e biológicos relacionados às plantas usados para avaliar a qualidade dos solos (extraído de Reichert *et al.*⁵²)

⁵² REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. & SILVA, V. R. da. Compactação do solo em sistema de plantio direto: limites críticos e mitigação. In: COUTO, E. G. & J. F. FRANCO (eds.) *Os caminhos do uso da água na agricultura brasileira*. Cuiabá-MT: UFMT. 2003. No prelo.

Indicador	Época de Avaliação	Qualidade estrutural		
		Pobre	Média	Boa
Indicadores físicos				
1. Compactação subsuperficial	Boa umidade do solo	Solo resistente; aparência laminar; difícil de penetrar objeto pontiagudo	Alguma resistência a objetos pontiagudos	Solo friável
2. Boa estrutura	Boa umidade do solo	Aspecto maciço	Superfícies de fraqueza clara	Granular
3. Aeração	Crescimento de plantas	Poucos poros visíveis e drenagem limitada	Alguns bioporos	Solo aberto e bioporos comuns
4. Profundidade efetiva	Qualquer	Subsolo exposto	Evidências de perda horizonte A	Horizonte A profundo
5. Infiltração	Após chuva	Água escoou ou permanece na superfície	Água penetra	Sem escoamento ou empocamento
6. Drenagem	Após chuva	Solo úmido por longo tempo	Algum empocamento	Água se move rapidamente
7. Retenção de água	Crescimento de plantas	Estresse após poucos dias	Plantas "sentem" seca	Estresse somente em seca extrema
8. Cobertura superficial	Qualquer	Exposto	Alguma cobertura, <30%	100% cobertura
Indicadores biológicos (planta)				
1. Bioporos/minhocas	Úmido na superfície	Sem sinal	Alguns bioporos: de 2 a 10/m ²	Bioporos: > 10/m ²
2. Raízes	75% floração	Concentrada na superfície	Algumas se aprofundam	Raízes profundas sem sinal de restrição
3. Resistência à seca	Seca	Plantas não se recuperam	Sofrem	Suportam
4. Aparência da cultura	Ciclo	Folhas curtas e descoloridas	Crescimento médio e manchado	Densa, verde e alta
5. Produção	Colheita	Abaixo da média	Média local	Acima da média

A análise de indicadores quali-quantitativos deve ser feita em períodos estratégicos. Alguns indicadores devem ser observados ao longo do tempo. Um bom exemplo refere-se ao escoamento superficial após chuvas, mas outros, como acúmulo de água com drenagem lenta, aparência das plantas, presença de organismos, entre outros, podem fornecer

⁵³ REICHERT, J. M. *et. al.* *Op. cit.*

José Miguel Reichert é engenheiro agrônomo, PhD em Solos e professor titular do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

reichert@ccr.ufsm.br

Dalvan José Reinert é engenheiro agrônomo, PhD em Solos e Culturas e professor titular do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

dalvan@ccr.ufsm.br

João Alfredo Braidá é engenheiro agrônomo, doutorando em Ciência do Solo e professor assistente do Curso de Agronomia do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Unidade Pato Branco.

braidaja@pb.cefetpr.br

boa indicação do estado da qualidade do solo. O indicador de qualidade de maior sucesso é a observação de como as raízes “vêm” o ambiente do solo abaixo da superfície.⁵³ Para tanto, abre-se uma trincheira, com uma planta no estágio de maior desenvolvimento radicular (75% do florescimento) no centro de uma das paredes, e com auxílio de um objeto pontiagudo expõe-se parte do sistema radicular. As raízes expostas são analisadas visualmente, tentando-se perceber se há sinais de limitações físicas. Características como direção, espessura e aprofundamento das raízes são indicadores freqüentemente empregados na identificação de restrições.

Considerações finais

Existe uma confusão na literatura sobre manejo do recurso natural solo e sustentabilidade de sistemas agroecológicos. O que se busca não é um manejo sustentável, mas manejos e tecnologias que contribuam para a sustentabilidade dos agroecossistemas. Essa contribuição pode e deve ser monitorada através de indicadores de qualidade do solo, os quais precisam ser integradores de processos e relacionar-se claramente com funções do solo. Nesse sentido, entre outras possibilidades, a integração de três propriedades do solo para formar o intervalo hídrico ótimo e, a partir dele, estabelecer a densidade crítica do solo para o desenvolvimento de plantas, é um grande avanço na área de biofísica do solo.

PLANTIO DIRETO NA PALHA RUMO À SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA NOS TRÓPICOS

Telmo Jorge Carneiro Amado
Flávio Luiz Foletto Eltz

O preparo convencional da terra, baseado em freqüentes mobilizações do solo, resultou em elevadas taxas de erosão, sob clima tropical. Este processo, que está associado à manutenção de solo descoberto, principalmente durante períodos de chuva intensa, provoca decréscimo do estoque de carbono no solo, comprometendo sua funcionalidade ecológica e produtiva no ecossistema. O insucesso do manejo convencional estimulou agricultores e pesquisadores a experimentarem o sistema de plantio direto. Introduzido inicialmente como alternativa de controle da erosão, foi sendo gradualmente adaptado para as condições tropicais. Parte do sucesso alcançado no Brasil pelo novo sistema residiu no reconhecimento da importância de se manter uma elevada quantidade de resíduos protegendo o solo. O sistema passou, então, a ser denominado plantio direto na palha, tendo como principal característica a permanente cobertura do solo. Para atender a este requisito, plantas de cobertura foram utilizadas em substituição ao pousio de inverno. Além disso, a rotação de culturas comerciais mostrou-se indispensável para a manutenção do sistema sem interrupção. Eficiente controle da erosão, incremento da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, estímulo à atividade biológica, atenuação da temperatura do solo, manutenção da umidade e gradual incremento da qualidade do solo são algumas das vantagens do plantio direto.

A erosão e a degradação dos solos no Sul do Brasil

O avanço da fronteira agrícola no Sul do Brasil baseou-se em sistemas de manejo do solo trazidos pelos colonizadores europeus. Revisão detalhada sobre o tema é apresentada por Mielniczuk¹. Estes sistemas de manejo apresentavam como principal característica a freqüente mobilização do solo, visando oferecer condições ideais à germinação de sementes. O preparo, em condições de clima temperado, é importante para o aquecimento do solo, que vem de um intenso período de inverno, no qual muitas vezes a superfície do solo fica congelada; outro benefício desta prática é o incremento do armazenamento de água, devido à maior rugosidade superficial induzida. O padrão de chuvas de longa duração e baixa intensidade, predominante em clima temperado, favorece o processo de infiltração de água no solo, com limitada ocorrência de erosão em solos com pequena declividade. A experiência com estes sistemas de manejo em condições tropicais e subtropicais era muito limitada, quando do avanço da fronteira agrícola.

Na década de 70, o Sul do Brasil experimentou o mais severo processo de degradação do solo agrícola de sua história, contrastando com os significativos avanços obtidos a partir dos programas de correção da acidez e fertilidade (operação tatu) implementados na época. A rápida expansão da fronteira agrícola alicerçada no preparo convencional do solo pode ser ilustrada com a área de cultivo do Rio Grande do Sul que, em 1969, era de apenas 800 mil hectares, e que em 1977 já alcançava 4 milhões de hectares.² As estimativas indicavam que para cada tonelada de grãos produzidos, nesta década, eram perdidas 10 toneladas de solo com elevado potencial agrícola. Entre as causas que favoreciam a ocorrência da erosão, destacam-se a intensa e freqüente mobilização do solo em períodos de chuvas, com elevado potencial erosivo³, a queima dos resíduos de trigo e o monocultivo de soja no verão. Deve-se salientar também que a acelerada redução no teor de matéria orgânica (MO), o selamento superficial (encrostamento), a compactação subsuperficial (pé de arado e pé de grade) conduziram ao decréscimo da qualidade física do solo que retroalimentava o processo erosivo.⁴ Além da degradação da matriz produtiva, o manejo do solo adotado apresentava alto impacto ambiental, devido às elevadas quantidades de nutrientes e pesticidas que eram transportadas pela enxurrada e que contaminavam os recursos hídricos. Nesta década, também foram emitidas as maiores quantidades de CO₂ para a atmosfera, devido ao elevado consumo de óleo

¹ MIELNICZUK, J. Manejo do solo no Rio Grande do Sul: uma síntese histórica. In: CURSO DE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, VI. Passo Fundo, 2003. *Resumo de palestras*. Aldeia Norte Editora Ltda., Ibirubá, 2003. p. 5-14.

² MIELNICZUK, J. *Op. cit.*

³ COGO, N. P.; DREWS, C. R. & GIANELLO, C. Índice de erosividade das chuvas dos municípios de Guaíba, Ijuí e Passo Fundo, no Estado do Rio Grande do Sul. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, II. Passo Fundo, 1978. *Anais ...* Passo Fundo, CNPT. p. 145-152.

⁴ CABEDA, M. S. V. Degradação física e erosão do solo. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL, I & SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DE SOLOS DO PLANALTO, III. Passo Fundo, 1984. *Anais...* 1984, p. 28-33.

diesel nas operações de preparo e freqüentes ressemeaduras e, principalmente, devido ao processo de transferência de estoque do carbono que se encontrava no solo para a atmosfera.

O monocultivo, outra característica importante do sistema de manejo importado de condições temperadas, tinha no rigoroso inverno um fator natural de controle de pragas. Tal fato não se verificava em condições tropicais e subtropicais. Assim, houve a necessidade de generalização do uso de pesticidas, visando manter o potencial produtivo dos cultivos, resultando em elevados índices de contaminação humana e ambiental.

A degradação do solo no Sul do Brasil, durante a década de 70 e meados dos anos 80, comprometeu a obtenção de incrementos de rendimento proporcionais aos avanços tecnológicos, tais como: melhoria genética, insumos e máquinas disponibilizadas ao setor primário.⁵ Para ilustrar este processo, em novembro de 1978 a ocorrência do fenômeno climático “El Niño” resultou em perdas por erosão sem precedentes na história do Rio Grande do Sul, com prejuízos econômicos estimados em 33 milhões de dólares, apenas em sementes, fertilizantes, corretivos e trabalho perdidos.⁶ Todos os indicadores, portanto, conduziam a um quadro de insustentabilidade agrícola, que teve forte impacto social conduzindo ao êxodo rural de uma significativa parcela dos agricultores.

O insucesso em condições tropicais de sistemas de manejo baseados em freqüentes mobilizações e monocultivos pode ser resumido por dois processos: a) a manutenção do solo descoberto ou com baixa cobertura durante períodos de ocorrência de chuvas de elevada intensidade, fato que favorece as perdas de solo e água; b) o decréscimo acelerado do conteúdo de MO, que compromete as funções produtivas e ecológicas de solos com predominância de argilas de baixa atividade.

Perdas de solo e água sob preparo convencional e plantio direto

Com o crescimento acelerado das taxas de erosão verificadas nas lavouras, vários trabalhos de pesquisa foram iniciados no Rio Grande do Sul e Paraná, visando quantificar as perdas de solo e água. Historicamente, a erosão era quantificada de forma sistemática, apenas no Estado de São Paulo, com destaque para os trabalhos conduzidos pelo Dr. Quintilhano de Avelar Marques, no Instituto Agrônômico de Campinas, em 1943, e que ainda hoje continuam a ter as perdas de solo e água registradas.

⁵ ALVES, C. S. & SCHELL, L. O difícil caminho da produtividade. *Trigo e Soja*, 74:27-31, 1980.h

⁶ GIANLUPPI, D.; SCOPEL, I. & MIELNICZUK, J. Alguns prejuízos da erosão do solo no RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XVII, Manaus, 1979. *Resumos...* Campinas, SBCS. p. 92

No Rio Grande do Sul, em Argissolo Vermelho Amarelo, resultados de 5 anos mostraram que as perdas de solo em preparo convencional na sucessão trigo-soja foram de 129,8 t ha⁻¹, enquanto que no plantio direto foram de 45,2 t ha⁻¹. Resultados de 4 anos no mesmo solo mostraram perdas de solo de 92,6 t ha⁻¹ para o preparo convencional de trigo-milho e de apenas 13,0 t ha⁻¹ para a mesma sucessão em plantio direto.⁷

Em Latossolo Roxo, resultados de 4 anos na sucessão trigo-soja mostraram perdas de 38,5 t ha⁻¹ para o preparo convencional e de 2,6 t ha⁻¹ para o plantio direto. No mesmo solo com a sucessão aveia-milho, as perdas de solo no preparo convencional foram de 39,5 t ha⁻¹ e de 4,2 t ha⁻¹ no plantio direto.⁸

Em Argissolo Vermelho Amarelo, verificou-se redução de 70% nas perdas de solo com o plantio direto, em relação ao preparo convencional, na sucessão aveia/tremoço-milho.⁹ Seganfredo *et al.* observaram redução acima de 99% nas perdas de solo, quando compararam sistemas de culturas, com plantio em contorno, sob plantio direto com as perdas de solo verificadas em parcelas de solo descoberto.¹⁰ As perdas de MO em solo descoberto, neste trabalho, foram consideradas muito altas, de 4,2 t ha⁻¹ em apenas um ano, o que correspondeu a 8,5% de toda a MO existente na camada de 0-20 cm. Este resultado ressalta que a erosão pode ser o principal processo de redução do estoque de MO dos solos tropicais e subtropicais, quando mantidos descobertos.

No Paraná, em Latossolo Vermelho Escuro de Ponta Grossa, as perdas relativas de solo foram de 100 para o preparo convencional e 5 para o plantio direto, enquanto que para um Latossolo Roxo de Londrina, as perdas relativas de solo foram de 100 para o preparo convencional e de apenas 1 para o plantio direto.¹¹ Vieira e Mondardo relataram perdas de 657 kg ha⁻¹ de MO em preparo convencional e de 5 kg ha⁻¹ em plantio direto.¹² Os resultados da pesquisa independem do tipo de solo e de perdas de solo e de MO.

Do ponto de vista da sustentabilidade, sob condições tropicais e subtropicais, dois aspectos devem ser considerados: primeiro, dado o longo tempo necessário para a formação do solo, pode-se considerar as perdas verificadas sob preparo convencional como irreversíveis; segundo, além da perda quantitativa, está implícito que a camada superficial de solo removida é a mais fértil, o que equivale a um comprometimento da qualidade deste recurso natural que dificilmente será recuperado.

⁷ ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; SCOPEL, I. & GUERRA, M. perdas de solo e água por erosão em diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais em solo Laterítico bruno-avermelhado distrófico (São Jerônimo) sob chuva natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 8: 117-125, 1984a.

⁸ CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L. F. & VIAU, V. M. Preparo do solo para a cultura do milho e as perdas por erosão em 3 solos do Rio Grande do Sul - 1979-1980. In: REUNIAO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, XXVI. Porto Alegre, 1981. *Ata...* Secretaria da Agricultura Porto Alegre, 1981. p. 148-152.

⁹ ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; GUERRA, M. & ABRÃO, P. U. R. Perdas de solo e água por erosão em diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais em solo São Pedro (Podzólico Vermelho Amarelo) sob chuva natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:245-249, 1984b.

¹⁰ SEGANFREDO, M. L.; ELTZ, F. L. F. & BRUM, A. C. R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:287-291, 1997.

¹¹ MONDARDO, A & BISCAIA, R. C. M. Controle da Erosão. In: *Plantio direto no Estado do Paraná*. Londrina: Fundação Instituto Agromônico do Paraná, 1981. p. 33-42. 244 p. (Circular IAPAR, 23).

¹² VIEIRA, M. J. & MONDARDO, A. Perdas por erosão em diferentes quantidades e manejos dos resíduos de colheita de trigo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, III. RECIFE, 1980. *Resumos*. Recife, SBCS, 1980.

Perdas de matéria orgânica sob preparo convencional e a emissão de CO₂ para a atmosfera

Além da perda de MO associada ao processo erosivo, o preparo intenso e freqüente estimula a mineralização da MO (oxidação biológica) e a liberação do CO₂ que se encontrava nos poros, reduzindo a permanência do carbono no solo.¹³ Quando o solo está sob vegetação natural (pastagem ou floresta), o conteúdo de carbono orgânico total, principal componente da matéria orgânica, encontra-se estável, havendo pequena variação ao longo do tempo. Neste caso, o efeito do solo sobre o fluxo de CO₂ para a atmosfera é praticamente neutro (figura 1 – etapa 1). Clima, vegetação, topografia e tipo do solo condicionam o tamanho do estoque inicial de carbono. Com o preparo intenso do solo, visando o cultivo de culturas anuais, verifica-se o rompimento do estado estável, com aumento nas taxas de perda de carbono do solo e redução na taxa de adição deste elemento via resíduos culturais.¹⁴ Na figura 1, a etapa 2 representa a fase em que o balanço de carbono é negativo, ou seja, há um rápido declínio do teor de MO. O solo torna-se uma importante fonte de emissão de CO₂ para a atmosfera, contribuindo para a intensificação do efeito estufa. Após alguns anos de declínio do teor de MO, um novo conteúdo estável, inferior ao original, é atingido, quando então, o conteúdo permanece com pequena variação ao longo do tempo, representado pela etapa 3, na figura 1. Neste caso, o impacto do solo sobre a emissão de CO₂ é praticamente neutro. Nesta etapa, o solo tem sua qualidade alterada para um patamar inferior, comprometendo sua funcionalidade produtiva e ecológica. A etapa 4, na linha contínua, representa uma fase na qual, com a implementação de práticas conservacionistas e princípios de sustentabilidade agrícola, o solo recupera sua capacidade de atuar como um regulador ambiental, passando a ser um importante dreno de CO₂ atmosférico. A capacidade produtiva do solo, nesta etapa, também é recuperada gradativamente. A linha pontilhada, na etapa 4, representa um cenário no qual as práticas conservacionistas não são implementadas.

Analisando-se estes processos concluiu-se que é praticamente impossível aumentar o teor de MO do solo quando a aração e a gradagem são utilizadas como sistema de preparo. Este fato está associado à eliminação de fatores que determinam a estabilidade física da MO, induzidos pela ruptura de agregados¹⁵ e pelo incremento da oxigenação do solo¹⁶.

¹³ BRUCE, J. P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H. & LAL, R. Carbon sequestration in soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, 5:382-389, 1999.
REICOSKY, D. C. & LINDSTROM, M. J. Fall tillage method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil. *Agron. J.*, 85:1237-1243, 1993.

¹⁴ REICOSKY, D. C. & LINDSTROM, M. J. *Op. cit.* BAYER, C. *Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo do solo*. Porto Alegre, UFRGS, 1996. 240 p. (Tese de Doutorado).

¹⁵ CARTER, M. R.; ANGERS, D. A. & KUNELIUS, H. T. Soil structure and organic matter fractions under perennial grasses. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1194-1199, 1994.

¹⁶ REICOSKY, D. C. & LINDSTROM, M. J. *Op. cit.*

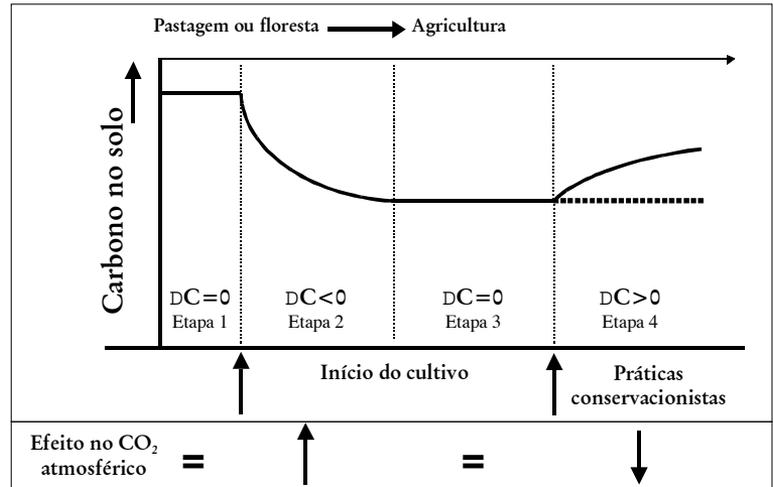


Figura 1: Modelo conceitual da dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo do solo

Historicamente, o preparo convencional tem conduzido a uma redução média na ordem de 30 a 50% no conteúdo original de MO do solo.¹⁷ Há evidências de que esta foi uma das principais fontes agrícolas que contribuíram para o significativo aumento da concentração de CO₂ na atmosfera, agravando o efeito estufa.¹⁸ A emissão de gases que provocam o efeito estufa deve, necessariamente, ser contabilizada quando da análise da sustentabilidade de sistemas de manejo do solo.

Programas de manejo e conservação do solo no Rio Grande do Sul

Vários programas de conservação do solo foram desencadeados no Sul do Brasil visando reverter este severo processo de degradação dos recursos naturais. Entre eles destacam-se: o projeto integrado de uso e conservação do solo “PIUCS”, desenvolvido no planalto do Rio Grande do Sul a partir de 1979; o projeto “Saraquá”, desenvolvido nas encostas basálticas a partir de 1980; o programa de microbacias hidrográficas a partir de 1984, e o “METAS” a partir de 1992. Estes programas integravam a iniciativa privada, extensão rural, pesquisa agrícola e universidades. Revisão abrangente sobre o assunto foi apresentada recentemente por Mielniczuk¹⁹. Cada um destes programas cumpriu um importante papel para o aprimoramento dos sistemas agrícolas na direção da sustentabilidade. Entre as práticas conservacionistas difundidas entre os agricultores, destacam-se: eliminação de queimadas de resíduos de trigo, redução na

¹⁷ SCHLESINGER, W. H. Changes in soil carbon storage and associated properties with disturbance and recovery. In: TRABALHA, J. R. & REICHELE, D. E. (eds.) *The changing carbon cycle: A global analysis*. New York, 194-220, 1985.

¹⁸ POST, W. M.; PENG, T. H.; EMANUEL, W. R.; KING, A. W.; DALE, V. H. & DEANGELIS, D. L. The global carbon cycle. *American Scientist*, 78:310-326, 1990.

¹⁹ MIELNICZUK, J. *Op. cit.*

freqüência e intensidade de preparo, terraceamento, plantio em contorno, eliminação de voçorocas, valorização da cobertura do solo, realocação de estradas rurais e difusão de preparos reduzidos, cultivo mínimo e plantio direto.

O sistema plantio direto

O sistema plantio direto foi desenvolvido gradativamente nos Estados Unidos, Alemanha e Nova Zelândia, refletindo uma evolução tecnológica da produção no sentido de reduzir a intensidade de preparo do solo. No início da década de 60, os agricultores do Kentucky (meio oeste americano) já utilizavam o sistema com o objetivo principal de controlar o processo erosivo.²⁰ Os primeiros resultados de pesquisas evidenciavam o potencial do novo sistema em controlar tanto a erosão hídrica quanto a eólica. Dez anos após o seu desenvolvimento, o sistema de plantio direto, já era introduzido por pesquisadores no sul do Brasil, despertando o interesse de agricultores pioneiros no Paraná e no Rio Grande do Sul.²¹

O sistema plantio direto introduzido dos EUA apresentava como características a manutenção de uma significativa percentagem de cobertura do solo e a mínima mobilização do solo quando da implantação da cultura. Estas características permitiam que o sistema fosse enquadrado como preparo conservacionista. As principais limitações, sob clima temperado, para a adoção do plantio direto, eram a redução da temperatura do solo, maior ocorrência de pragas e exigência de qualificação técnica do produtor.²²

Os principais entraves iniciais à expansão do plantio direto no Brasil estavam relacionados à falta de máquinas aptas a efetuar a semeadura em condições de presença de resíduos na superfície do solo, limitações de controle químico de ervas daninhas e ausência de experiência técnica com o novo sistema. Sob o ponto de vista do manejo, o foco recaía sobre a operação de semeadura, procurando minimizar problemas como excessiva mobilização do solo pelas semeadoras, “embuchamento” com palha do disco de corte, profundidade irregular de deposição das sementes, espelhamento da parede dos sulcos e efeito salino dos fertilizantes quando em contato com as sementes. Todos estes fatores combinados conduziam, em muitas situações, a problemas de “stand” das lavouras e presença de plantas daninhas na linha de semeadura. Resumidamente, o sistema plantio direto era sinônimo de ausência ou de mínima mobilização do solo e seu objetivo, o controle da erosão.

²⁰ PHILLIPS, S. H. No-Tillage, past and present. In: PHILLIPS, R. E.; THOMAS, G. W. & BLEVINS, R. L. *No-Tillage Research: Research Reports and Reviews*. University of Kentucky, 1981. 150 p.

²¹ MUZILLI, O. *O plantio direto no Brasil*. Atualização em Plantio Direto. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 3-18.

²² PHILLIPS, S. H. *Op. cit.*

As principais críticas a sua difusão em condições tropicais eram direcionadas a uma possível maior dependência ao uso de herbicidas e de outros insumos em relação ao sistema tradicional.

Sistema plantio direto na palha – desafios e soluções

As condições climáticas subtropicais e tropicais lançavam os primeiros desafios aos pesquisadores e agricultores brasileiros usuários do novo sistema: a) sem a interrupção do ciclo de pragas, devido à condição natural de inverno ameno, e sem o efeito físico do preparo do solo sobre os insetos, não poderia ocorrer maior incidência de pragas? b) a rápida decomposição dos resíduos culturais das safras anteriores, mesmo quando deixados na superfície do solo, não poderia resultar em períodos de solo descoberto? c) haveria restrições à infiltração de água devido à ausência de preparo do solo? d) os problemas de compactação e a necessidade de incorporação de corretivos poderiam ser solucionados em situação de ausência de preparo? e) seria aceitável, em termos econômicos e ambientais, controlar os insetos somente com métodos químicos? f) a presença de palha na superfície não seria um fator de incremento de pragas e doenças? g) seria praticamente impossível aumentar o teor de MO dos solos tropicais e subtropicais, devido às elevadas taxas de decomposição; h) o sistema era adaptado apenas às propriedades grandes e tecnificadas e i) a transição de um modelo de agricultura colonial para uma agricultura comercial contribuiria para o incremento da dependência internacional do país. Pelo exposto, muitos obstáculos e preconceitos precisavam ser superados para a consolidação do sistema em condições tropicais.

A atual área de expansão do sistema plantio direto no Brasil, que alcançou aproximadamente 20 milhões de hectares na safra 2002/03, é um indicativo de que estes desafios foram paulatinamente superados ao longo dos últimos 30 anos. Na figura 2 observa-se que, na década de 70, o sistema estava em fase de introdução e adaptação, já na década seguinte verificou-se o início de sua expansão, ainda concentrado nos Estados do Sul do Brasil, expansão que foi consolidada a partir dos anos 90, alcançando o Cerrado e as novas fronteiras agrícolas como o Norte do Brasil, espalhando-se então por todo o território nacional.

O Rio Grande do Sul foi um dos estados pioneiros na adoção do sistema, apresentando a segunda maior área no país. Em termos de pesquisa, a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) teve papel destacado, apresentando um dos

primeiros e mais citados trabalhos sobre o sistema, de autoria dos professores José Arleu Machado e Antônio Carlos R. de Brum, que já em 1978 evidenciava o efeito positivo do sistema sobre o teor de MO, porosidade total e macroporosidade, quando comparado ao sistema convencional.²³

²³ MACHADO, J. A. & BRUM, A. C. R. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 2:81-84, 1978.

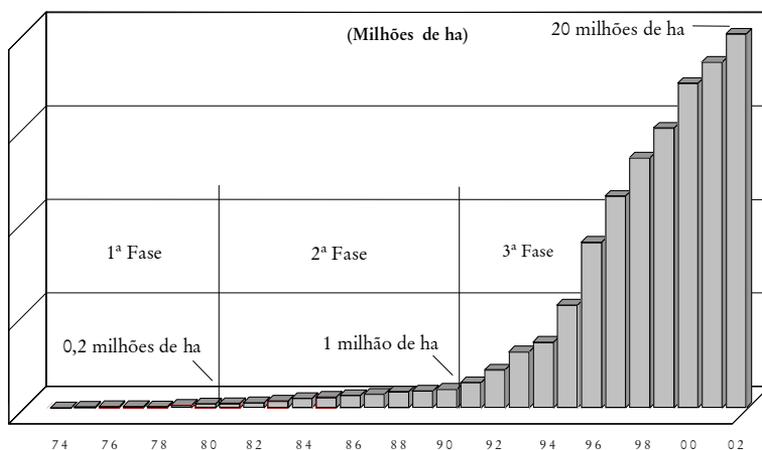


Figura 2: Expansão do sistema plantio direto no Brasil (1974 –2002). Fonte: FEBRAPDP, 2003²⁴

²⁴ FEDERAÇÃO DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. Evolução do plantio direto no Brasil-1974 a 2002. Disponível no “site” www.fedrapdp.org.br, capturado em 12\09\2003.

Atualmente, o Brasil possui 30% do plantio direto realizado no mundo e ocupa a segunda posição em área de adoção, sendo superado apenas pelos Estados Unidos. Em condições de clima tropical e subtropical, o Brasil é o país com maior adoção do sistema. Merece registro também a veloz expansão do sistema verificada nos anos 90. A área de 1 milhão de hectares no início da década atingia, ao final, 16 milhões de hectares, ou seja, uma taxa de incremento de 1,5 milhões de hectares ano⁻¹, sem subsídios aos agricultores (figura 2).

Um dos aspectos determinantes para o sucesso do plantio direto foi a percepção da importância dos resíduos culturais para a eficiência do sistema, que, em condições tropicais e subtropicais, deveria ser, inclusive, em quantidades superiores àquelas preconizadas para as condições de clima temperado.

O plantio direto com pouca palha é o que tem mais problemas²⁵

²⁵ DONATO, D. Problemas do plantio direto estão relacionados à falta de palha no plantio direto. *Revista Plantio Direto*, mai/jun., 2000.

Tal percepção levou os agricultores a denominarem o sistema como plantio direto na palha. A maior demanda por palha, sob clima tropical, está associada à necessidade de reduzir as elevadas temperaturas do solo, a alta evaporação

e a ocorrência de chuvas de elevado potencial erosivo; à necessidade de incremento da detenção superficial da enxurrada, manutenção da infiltração de água, controle de inóculos por efeitos físicos e alelopáticos, ciclagem de nutrientes; e à necessidade de fornecer substrato para a atividade biológica e a recuperação do teor de MO do solo.²⁶

É necessário fazer a distinção de que o sistema plantio direto utilizado em clima temperado estava associado a monocultivos de verão e à utilização de pousio de inverno. Além disto, periodicamente é submetido a alguma operação de preparo do solo, intercalando ciclos de plantio direto com preparo do solo. Em condições tropicais e subtropicais, tal modelo, embora pudesse representar significativa contribuição ao controle da erosão, estaria ainda distante de apresentar características de sustentabilidade. Assim, duas das principais adaptações foram o desenvolvimento do sistema que pudesse ser mantido por longo período de tempo sem interrupção e a utilização de sistemas de cultura que pudessem aportar uma quantidade de biomassa compatível com a velocidade de decomposição dos resíduos. Esta última tarefa seria praticamente impossível apenas com o aporte de biomassa proporcionado pelos cultivos de culturas econômicas.

No Rio Grande do Sul, no início da década de 80, apenas 900 mil hectares eram cultivados durante o inverno, predominantemente com trigo, enquanto no verão a área cultivada alcançava 6,5 milhões de hectares, portanto 5,4 milhões de hectares permaneciam em pousio de inverno.²⁷ Esta realidade foi completamente mudada com o avanço do cultivo da aveia preta que, somente como cobertura do solo, alcança 1,2 milhões de hectares no Rio Grande do Sul.²⁸ No centro-oeste, o milheto e a brachiaria, entre outras, desempenharam este importante papel de fornecer a quantidade de cobertura morta necessária para a eficiência do sistema. Com base nisto foi possível desenvolver o conceito de plantio direto sob cobertura permanente.²⁹ Além disto, para que o sistema se mantivesse por longo tempo sem interrupção, a rotação de culturas mostrou-se indispensável. Assim, sistemas envolvendo dois anos de cultivo de soja intercalados por um de milho ou, ainda melhor, a rotação anual destas culturas foram implementados.³⁰

O sistema de manejo teve que ser completamente revisto, visando a adaptação à elevada quantidade de resíduos preconizados pelo plantio direto na palha. São exemplos deste processo: a) o rolo-faca, um implemento desenvolvido para o manejo das culturas de cobertura, cultivadas especificamente para aportar fitomassa; e b) o picador de

²⁶ LAL, R. No-Tillage farming in the tropics. In: *No-Tillage Research: Research Reports and Reviews*. University of Kentucky, USA, 1975. p. 103-148.

LAL, R. *Role of mulching techniques in tropical soil and water management*. Ibadan: IITA, 1975. 38 p.

MEDEIROS, J. C.; MIELNICZUK, J. & PEDO, J. F. Sistemas de culturas adaptadas a produtividade, recuperação e conservação do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:199-204, 1987.

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; SCOPEL, E. & RIBEIRO, F. New concepts for sustainable management of cultivated soils through direct seeding mulch based cropping systems: the Cirad experience, partnership and networks. In: *WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, II*. Foz do Iguaçu, 2003. *Anais...* p. 142-144.

²⁷ FERREIRA, L. A. B. Uma visão ecológica das enchenetes. *Trigo e Soja*, 74:24-26, 1984.

²⁸ FLOSS, E. L. Aveia em semeadura direta. *Revista Plantio Direto*, 56:24-26, 2000.

²⁹ SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; SCOPEL, E. & RIBEIRO, F. *Op. cit.*

³⁰ RUEDELL, J. A Soja numa Agricultura Sustentável. In: *A soja em rotação de culturas no plantio direto*. Cruz Alta: Fundacep/Fecotrigo, 1998. p. 1-31.

³¹ BIANCHI, M. A. Manejo Integrado de Plantas Daninhas. In: *A soja em rotação de culturas no Plantio Direto*. Cruz Alta: Fundacep/Fecotrigo, 1998. p. 157-183.

³² WIETHÖLTER, S. Recomendações de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. In: *CURSO DE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO*, VI. Passo Fundo, 2003. *Resumo de palestras*. Aldeia Norte Editora Ltda., Passo Fundo, 2003. p. 64-95.

³³ ANGHINONI, I.; SALET, R. L. & NICOLodi, M. Calagem no sistema plantio direto no Estado do Rio Grande do Sul. In: *CURSO DE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO*, VI. Passo Fundo, 2003. *Resumo de palestras*. Aldeia Norte Editora Ltda., Passo Fundo, 2003. p. 36-51.

³⁴ CERETTA, C. A. & PAVINATO, P. S. Adubação em linha ou a lanço no plantio direto. In: *CURSO DE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO*, VI, Passo Fundo, 2003. *Resumo de Palestras*. Aldeia Norte Editora Ltda., Passo Fundo, 2003. p. 23-35.

³⁵ AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. & AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no Rio Grande do Sul e Santa Catarina adaptado ao uso de culturas de cobertura, sob sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:241-248, 2002.

³⁶ BAYER, C. *Op. cit.*
SÁ, J. C. M. Evolução da matéria orgânica do solo no sistema plantio direto. In: *CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO*, IV. Passo Fundo, 2001. *Resumo de palestras*. Aldeia Norte Editora Ltda., Passo Fundo, 2001. p. 5-20.

palha, que muitos produtores inclusive dispensavam, passou a ser um implemento importante, e gradativamente foi substituído pelo espalhador de palha, que não fracionava os resíduos e permitia a sua distribuição uniforme sobre a superfície do solo. As semeadoras sul-brasileiras tiveram que desenvolver sistemas de corte capazes de atuar nesta nova condição de superfície, experimentando sucessivos aprimoramentos que as projetaram internacionalmente pela sua qualidade. A tecnologia de aplicação de defensivos também foi amplamente revisada, visando aumentar a eficiência através de cuidados com tipos de bico, volume de aplicação, qualidade da água, horário de aplicação, condições climáticas e dosagens adaptadas ao tipo de cobertura vegetal (plantas daninhas e culturas de cobertura).³¹

As recomendações de fertilização e correção da acidez tiveram que ser revistas e ainda encontram-se em fase de adaptação.³² A amostragem de solo visando recomendação de adubação teve que ser adaptada às variabilidades horizontal e vertical comuns no sistema plantio direto. A correção da acidez passou a ser feita com aplicações na superfície do solo, com doses menores e mais espaçadas do que as anteriormente utilizadas.³³ A adubação com fósforo e potássio, em algumas situações, pode ser feita a lanço, dissociada do momento da semeadura, com vantagens operacionais.³⁴ A fertilização de reposição dos nutrientes exportados pelas culturas econômicas passou a ser feita nas culturas de cobertura, durante o inverno, com sucesso pelos agricultores. A adubação nitrogenada também teve sua recomendação revista passando a cultura de cobertura antecedente a integrar juntamente com o teor de MO e a expectativa de rendimento o conjunto de parâmetros a serem analisados para determinar a dose de adubação.³⁵ O incremento do teor de MO proporcionou aumento linear da CTC na camada superficial do solo, contribuindo para a redução do processo de lixiviação de bases.³⁶ O aumento da CTC devido à recuperação do teor de MO é fundamental para o manejo de solos tropicais. Outros importantes avanços na área de fertilidade e química foram a constatação da diminuição da atividade do alumínio, devido a ligações orgânicas com produtos da decomposição dos resíduos³⁷, bem como o deslocamento de corretivos no perfil, devido a ligantes orgânicos hidrossolúveis³⁸ e o arraste de partículas finas juntamente com o fluxo preferencial de água nos bioporos³⁹. O aporte de nutrientes via biomassa das culturas de cobertura através da valorização dos processos de ciclagem e fixação biológica de nitrogênio também merece destaque no sistema plantio direto na palha.

³⁷ SALET, R. L.; ANGHINO, I.; FORNARI, T. G. & KRAY, C. H. O alumínio é menos tóxico no sistema plantio direto. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, I. Lages, 1996. Resumos... SBCS, 1996. p. 72-74.

³⁸ PAVAN, M. A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. *R. Bras. Ci. Solo*, 25: 885-895, 2001. CAIRES, E. F. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiências no Estado do Paraná. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24, FERTBIO 2000, UFSM, Santa Maria, 2000.

³⁹ AMARAL, A. S. *Mecanismos de correção de acidez do solo no sistema plantio direto com aplicação de calcário na superfície*. Porto Alegre, UFRGS, 2002. 107p. (Tese de doutorado).

⁴⁰ MEDEIROS, J. C.; MIELNICZUK, J. & PEDO, J. F. *Op. cit.* SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; SCOPEL, E. & RIBEIRO, F. *Op. cit.* DERPSCHE, R. & BENITES, J. Situation of conservation agriculture in the world. In: WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, II. Foz do Iguaçu, 2003. *Anais...* p. 182-184.

⁴¹ REEVES, D. W. A Brazilian model for no-tillage cotton production adapted to the southeastern USA. In: WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, II. *Op. cit.* p. 182-184.

⁴² LANG, I. The ecological foundations of sustainable land use: Hungarian agriculture and the way to sustainability. In: GREENLAND, D. J. & SZABOLCS, I. Soil resilience and sustainable land use. *Proceedings of a symposium...* Budapest, 1992. p. 3-19.

O efeito das culturas de cobertura no incremento da agregação, macroporosidade e no aporte de carbono é preservado pela ausência de preparo. Estas culturas possibilitam que os sistemas de manejo atendam a um dos principais fatores determinantes da sustentabilidade nos trópicos, ou seja, que o solo esteja permanentemente coberto por resíduos ou plantas em fase vegetativa.⁴⁰ Assim, verifica-se uma interação positiva entre o uso de culturas de cobertura e a ausência de preparo que resultam na gradativa melhoria da qualidade do solo. Este efeito combinado é um dos fatores chaves para o sucesso do plantio direto em condições de clima tropical e subtropical.⁴¹

Sistema plantio direto na palha: características de sustentabilidade

O conceito de desenvolvimento sustentável foi formulado no início da década de 80 e, resumidamente, postulava que era possível harmonizar as necessidades materiais da sociedade, em crescimento populacional, com a utilização dos recursos naturais de maneira que a degradação e a poluição pudessem ser minimizadas.⁴² Portanto, um sistema sustentável deve atender os seguintes pré-requisitos: a) manter ou melhorar a qualidade dos recursos naturais; b) ser econômico, político e socialmente aceitável; c) melhorar a qualidade de vida.⁴³ A concepção de agricultura sustentável emerge do reconhecimento de que os recursos naturais são finitos e que os agroecossistemas são frágeis.⁴⁴ Nesse sentido, Lal afirma que o principal desafio da agricultura sustentável é o de promover incremento da produtividade com diminuição do impacto ambiental. Para ele, um sistema agrícola será sustentável, se atender os seguintes requisitos: a) erosão do solo controlada; b) conteúdo de MO mantido/aumentado; c) estrutura do solo preservada/melhorada; d) nutrientes eficientemente reciclados; e) regimes hídrico e energético mantidos favoráveis à integridade do sistema.⁴⁵

O controle da erosão, portanto, é condição essencial para o desenvolvimento de sistemas sustentáveis. Friend e Debarba & Amado argumentam que as taxas de perda de solo, visando a sustentabilidade, deveriam se aproximar da taxa de formação do solo.⁴⁶ Com base neste critério, as perdas de solo toleráveis seriam pequenas, na faixa de 0,5 a 2,4 Mg ha⁻¹ ano⁻¹.⁴⁷ Em um experimento de perda de solo localizado na UFSM, Debarba & Amado observaram que os sistemas aveia+ervilhaca/milho, tremoço/milho, feijão de porco/milho e mucuna/milho sob plantio direto atenderam a

- ⁴³ LAL, R. Sustainable Land Use Systems and Soil Resilience. 41-67p. In: GREENLAND, D. J. & SZABOLCS, I. Soil resilience and sustainable land use. *Proceedings of a symposium...* Budapest, 1992. 561 p.
- ⁴⁴ ESWARAN, H. Soil resilience and sustainable land management in the context of Agenda 21. 21-39 p. In: GREENLAND, D. J. & SZABOLCS, I. Soil resilience and sustainable land use. *Proceeding of a symposium...* Budapest, 1992. 561 p.
- ⁴⁵ LAL, R. *Op. cit.*, 1992.
- ⁴⁶ FRIEND, J. A. Achieving soil sustainability. *Journal of Soil and Water Conservation*, 47:156-157, 1992.
- DEBARBA, L. & AMADO, T. J. C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no Sul do Brasil com características de sustentabilidade. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:473-480, 1997.
- ⁴⁷ FRIEND, J. A. *Op. cit.*
- LAL, R. *Op. cit.*, 1992.
- ⁴⁸ DEBARBA, L. & AMADO, T. J. C. *Op. cit.*
- ⁴⁹ DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDOCEK, D. F. & STEWART, B. A. (eds). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-22. (Publication number 35).
- ⁵⁰ AMADO, T. J. C. Matéria orgânica no solo no sistema plantio direto: A experiência do Rio Grande do Sul. SIMPÓSIO SOBRE ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO, III. *Anais...* 2002 – disponível no “site” www.potafos.org.br, capturado em 02/09/2003.
- ⁵¹ WATSON, R. T.; ZINYO-WERE, M. C. & MOSS, R. H. Impacts of climate change: scientific-technical analyses. In: *Climate change*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

este requisito.⁴⁸ Por outro lado, o sistema pousio de inverno/milho sob plantio direto, tratamento com sistemas de cultura semelhante ao adotado em clima temperado, apresentou perdas de solo que foram o dobro da taxa estimada de formação do solo, apresentando características de insustentabilidade.

O solo é um componente crítico da biosfera terrestre, funcionando não somente no sistema agrícola, mas também na manutenção da qualidade ambiental.⁴⁹ O eficiente desempenho das funções ecológicas dos solos tropicais está diretamente relacionado à manutenção e incremento do teor de MO. Nesse contexto, o sistema plantio direto na palha produz incrementos graduais no teor de MO, com taxas de seqüestro de carbono atmosférico estimadas entre 0,2 a 1,6 Mg ha⁻¹ ano⁻¹.⁵⁰ Com isto, o solo agrícola atua como um dreno de CO₂ para a atmosfera. Watson *et al.* estimaram que a agricultura em nível mundial pode compensar até 10% das emissões antrópicas de CO₂ com base no ano de 1990.⁵¹ Esta função ecológica do solo poderá inclusive ser remunerada num futuro próximo pelo mercado de carbono, como já está ocorrendo nos Estados Unidos.

Amado *et al.*, estimando emissões de CO₂ devido a mudança de estoque de carbono no solo, demonstraram que o sistema plantio direto pousio/milho resultou, em oito anos, numa liberação líquida de 4,3 Mg ha⁻¹, enquanto o sistema mucuna/milho proporcionou um seqüestro de 20 Mg ha⁻¹ (figura 3).⁵² Os resultados reforçam o papel das leguminosas, as quais, através da fixação biológica do nitrogênio, proporcionam incrementos do teor de MO nos solos tropicais e subtropicais.

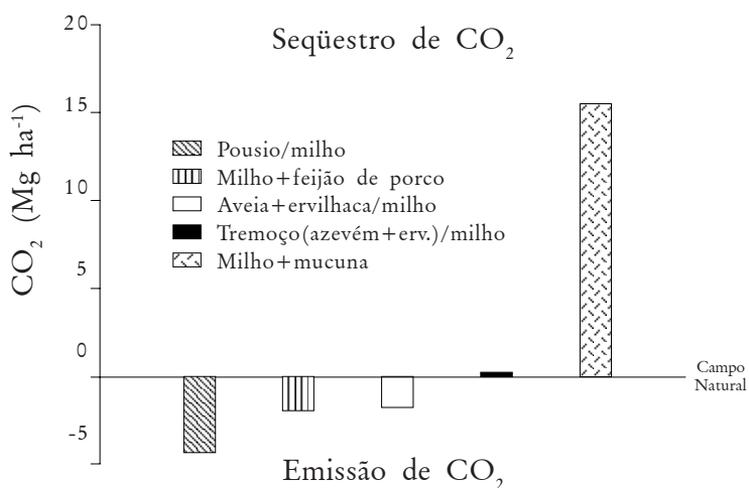


Figura 3: Estimativa do fluxo de CO₂ em sistemas de manejo do solo. Fonte: AMADO *et al.*, 2001⁵³

⁵² AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F. & BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:189-197, 2001.

⁵³ AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F. & BRUM, A. C. R. *Op. cit.*, 2001.

⁵⁴ GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C. M. & ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 1994.

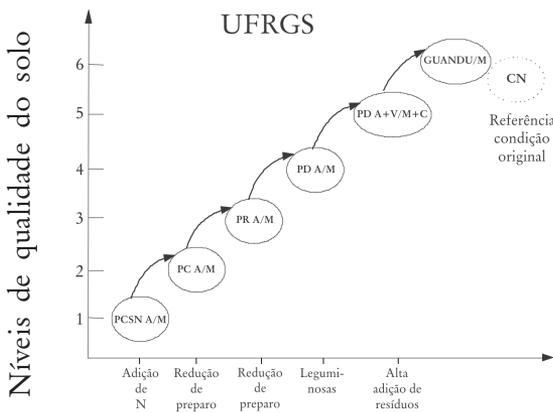
⁵⁵ ISLAM, K. R. & WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. *Journal of Soil and Water Conservation*, 55:69-78, 2000.

⁵⁶ CONCEIÇÃO, P. C. & AMADO, T. J. C. Qualidade do solo sob sistema plantio direto em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul. *Revista Plantio Direto*, 72: 29-33, 2002.

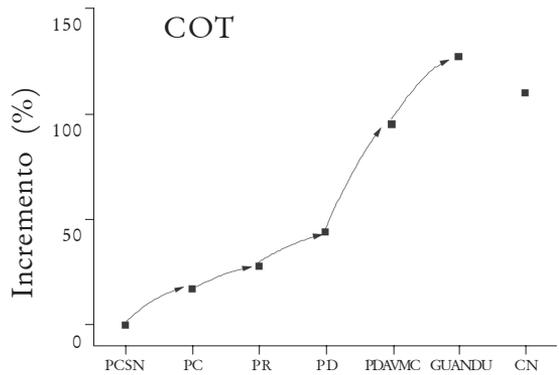
Para que o sistema de manejo apresente características de sustentabilidade, faz-se necessário que a qualidade do solo seja mantida e/ou incrementada ao longo do tempo. A qualidade do solo está relacionada ao seu grau de aptidão a um uso específico e é dependente das práticas agrícolas adotadas e das suas características pedogenéticas. Portanto, é o produto dos fatores que formaram o solo (qualidade inerente) e dos fatores do manejo adotado pelo produtor (qualidade dinâmica).⁵⁴ Para Islam & Weil⁵⁵, os indicadores de qualidade podem ser distinguidos em três grandes grupos: os efêmeros, cujas alterações ocorrem em curto prazo de tempo ou são modificados pelas práticas de cultivo (umidade do solo, densidade, pH, disponibilidade de nutrientes, etc.); os permanentes, que são próprios do solo (profundidade, camadas restritivas, textura, mineralogia, etc.) e, entre esses dois extremos, estão os indicadores intermediários, que possuem influência crítica na capacidade de o solo desempenhar suas funções no ecossistema. Para esses autores, os indicadores intermediários são os de maior importância para avaliar a qualidade do solo, com destaque à agregação, à atividade microbiana, ao carbono orgânico ativo e ao carbono orgânico total.

Utilizando os princípios anteriormente discutidos, Conceição & Amado⁵⁶ avaliaram a qualidade do solo, durante quinze anos, em um experimento que é o principal referencial de sistemas de manejo no Rio Grande do Sul, localizado na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O solo da área experimental é um Argissolo Vermelho Distrófico de textura franco-argilosa. O clima da região, segundo classificação de Koeppen, é o subtropical de verão úmido quente do tipo fundamental Cfa. Os tratamentos foram hierarquizados em ordem crescente de qualidade, em função dos sistemas de preparo e cultura utilizados, conforme segue: 1) Aveia (*Avena strigosa*)/milho sob preparo convencional e sem adubação nitrogenada (PCSN A/M); 2) Aveia/milho sob preparo convencional e com adubação nitrogenada (PC A/M); 3) Aveia/milho sob preparo reduzido e com adubação nitrogenada (PR A/M); 4) Aveia/milho sob plantio direto e com adubação nitrogenada (PD A/M); 5) Aveia+ervilhaca/milho+caupi (*Vigna unguiculata*) sob plantio direto e com adubação nitrogenada (PD A+V/M+C); 6) Guandu (*Cajanus cajan*)/milho sob plantio direto (GUANDU/M) e com adubação nitrogenada; 7) Campo natural (CN).

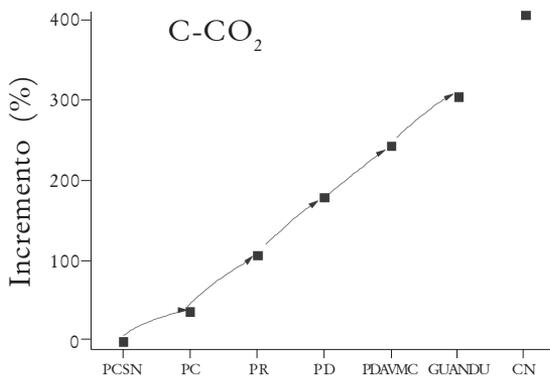
O incremento do carbono orgânico total (COT), principal constituinte da MO, na camada de 0-5 cm, foi um eficiente indicador da qualidade do solo em sistemas de manejo, conforme a figura 4. Este fato está associado à influência que a MO exerce, sob condições tropicais, nos demais atributos essenciais para que o solo desempenhe eficientemente suas funções no ecossistema. Destaca-se que os indicadores associados à atividade biológica, como a biomassa microbiana e a respiração do solo, também expressaram satisfatoriamente a qualidade do solo.



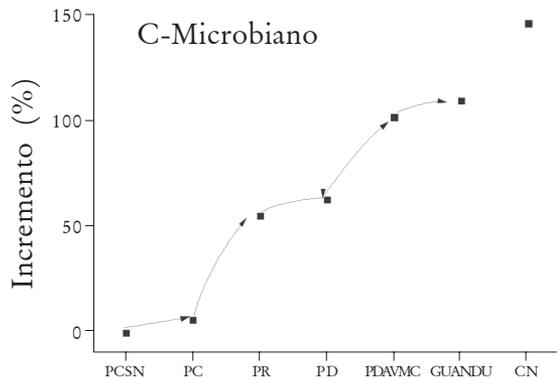
Melhorias na qualidade de manejo do solo



Sistemas de manejo



Sistemas de manejo



Sistemas de manejo

Figura 4: Níveis hierárquicos da qualidade do solo em sistema de manejo avaliado pelo conteúdo de carbono orgânico total, respiração do solo e biomassa microbiana

Sistema plantio direto na palha: perspectivas futuras

Pequena propriedade

O incremento na área cultivada com o sistema plantio direto, apresentado na figura 2, verificou-se principalmente onde a agricultura empresarial gerenciou a atividade. Por outro lado, o avanço nas pequenas propriedades é mais recente e modesto, porém não deve ser negligenciado devido ao elevado número de pessoas envolvidas. O Brasil, na safra 2001/02, possuía 173 mil hectares sob plantio direto na pequena propriedade, envolvendo 38.000 agricultores, concentrados principalmente nos três estados do Sul.⁵⁷ Deve-se enfatizar que o tamanho da propriedade não é, intrinsecamente, uma característica limitadora para a adoção do sistema. Provavelmente, no Brasil ainda não houve a mesma difusão do sistema nas pequenas propriedades, daquela verificada nos estabelecimentos de maior porte, devido à falta de uma política mais incisiva por parte de órgãos governamentais estaduais e federais. Tecnologia e implementos adequados para plantio direto em pequenas propriedades existem há vários anos, faltando uma ação política que incentive e financie o pequeno proprietário a utilizar o sistema. A extensão rural desempenha um papel fundamental neste processo.

Diversificação de culturas

O plantio direto atinge hoje uma variedade de culturas jamais imaginada há poucos anos atrás. O sistema foi utilizado inicialmente em culturas de grãos, como: soja, milho e trigo. No entanto, logo foi adotado também em algodão, centeio, sorgo, colza e girassol, aveia, nabo forrageiro, tremoço, ervilhaca, chícharo e espérgula. Todas essas culturas tinham em comum a reprodução por sementes. Adaptações permitiram também o cultivo de fumo em plantio direto, cultura esta que utiliza o transplante de mudas. O cultivo de hortaliças em plantio direto, tais como repolho, couve-flor, quiabo, entre outras, também foi bem sucedido. Em Santa Catarina, o plantio direto da cebola apresentou rendimentos 25% superiores ao convencional.⁵⁸ O feijão, tido como cultura sensível e que demanda solo mobilizado, mostrou-se perfeitamente adaptado ao plantio direto, inclusive em colheita mecanizada. A adaptação da tecnologia permitiu ainda o plantio direto de melancia, outra cultura tradicionalmente plantada em covas, e que passou a ser

⁵⁷ DERPSCH, R. & BENITES, J. *Op. cit.*

⁵⁸ AMADO, T. J. C. No-Tillage for onion production. *Onion Newsletter for the Tropics*, 02: 32-35, 1990.

cultivada com semeadora em linhas. Esses exemplos confirmam a percepção de Mr. Phillips, considerado o pioneiro mundial do plantio direto, de que uma das principais características deste sistema de manejo é a sua versatilidade.⁵⁹

⁵⁹ PHILLIPS, S. H. *Op. cit.*

Entre as mais recentes inovações tecnológicas, salienta-se o uso de semeadoras-adubadoras de plantio direto para acácia-negra, uma cultura florestal. Aparentemente, o limite de utilização do plantio direto é a imaginação do usuário. A cada ano surgem novas e surpreendentes aplicações para este sistema. A mandioca em plantio direto é uma das últimas novidades, e os rendimentos são equivalentes aos obtidos sob preparo convencional, que sempre foi o método preconizado para esta cultura. Reeves destaca a criatividade dos brasileiros como um dos componentes responsáveis pelo sucesso do plantio direto em clima tropical.⁶⁰

⁶⁰ REEVES, D. W. *Op. cit.*

Integração lavoura-pecuária

Outro aspecto importante é a agilidade com que a integração lavoura-pecuária pode ser executada mediante o uso do plantio direto. Desta forma, a substituição de pastagens por lavoura, processo observado atualmente em milhões de hectares no Centro-Oeste, é rápido e seguro, sem que haja perda de tempo pelas operações de preparo nem degradação do solo. Na integração lavoura-pecuária, a pastagem normalmente é semeada imediatamente após a colheita da lavoura comercial, mas também pode ser implantada mesmo antes da colheita, através da sobresemeadura ou ressemeadura natural, ganhando tempo extra para o estabelecimento, eficiência na ciclagem de nutrientes e melhor aproveitamento da estação de chuvas. A recuperação de pastagens degradadas por meio do cultivo de grãos também é uma estratégia de manejo que tem apresentado excelentes resultados, praticamente sem erosão. Os benefícios da integração entre lavoura e pecuária são mútuos, quando eficientemente manejados. A lavoura após a pastagem beneficia-se pelo melhoramento físico e recuperação da MO, enquanto a pastagem após a lavoura beneficia-se em razão da melhoria da fertilidade do solo, pelo efeito residual da adubação aplicada na lavoura, e do controle de inços. O domínio desta tecnologia é especialmente importante para o Brasil, que possui a maior reserva de solos agrícolas do mundo. Portanto, existe uma oportunidade histórica de utilização deste valioso recurso natural com base em um sistema de manejo adaptado às condições tropicais.

Sustentabilidade do sistema

O avanço do sistema plantio direto na palha na direção da sustentabilidade dependerá da integração com outras práticas de conservação do solo, do incremento da biodiversidade, do aumento do teor de MO, do aporte de nitrogênio via fixação biológica, do incremento da ciclagem de nutrientes, da rotação de culturas de cobertura do solo, da redução da utilização de agroquímicos, da incorporação de novas tecnologias como as ferramentas da agricultura de precisão, do aprimoramento do balanço energético, do decréscimo do escoamento superficial de água, da redução da emissão de gases que provocam o efeito estufa e da preservação dos demais recursos naturais. Portanto, há ainda um longo caminho a ser percorrido rumo à sustentabilidade agrícola nos trópicos. No entanto, quando se leva em consideração os resultados já alcançados em pouco mais de 30 anos com o sistema plantio direto na palha, só se pode ter uma visão otimista do futuro.

Telmo Jorge Carneiro Amado
e **Flávio Luiz Foletto Eltz** são
engenheiros agrônomos, doutores
em Solos e professores do
Departamento de Solos da
Universidade Federal de Santa
Maria, Rio Grande do Sul.
tamado@smail.ufsm.br
feltz@ccr.ufsm.br

O CONTROLE DE PRAGAS AGRÍCOLAS E A SUSTENTABILIDADE ECOLÓGICA

Flavio Moscardi

A sustentabilidade ecológica de sistemas agrícolas, face à predominância em várias regiões do Brasil, de áreas extensivas de monocultivos para a produção de grãos, tem-se tornado uma preocupação crescente dos setores envolvidos, principalmente os de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, de assistência técnica, de organizações não governamentais e mais recentemente da sociedade em geral. Nesse contexto, o controle de pragas tem sido realizado, predominantemente, com o emprego de insumos químicos, na maioria de amplo espectro de ação e elevada toxicidade ao homem, a outros vertebrados e à fauna benéfica extensiva. Além disso, o uso desses produtos pode implicar contaminação do solo e de águas. Portanto, torna-se relevante discutir técnicas que possam ser empregadas em sistemas de cultivo extensivo, de forma a minimizar os impactos negativos ao ambiente, decorrentes de práticas de controle de pragas.

Introdução

Os sistemas de produção agrícola do Brasil, com raríssimas exceções, estão embasados no aumento da produção e produtividade, visando, principalmente, a sustentabilidade econômica do agronegócio, com muito menor ênfase à sustentabilidade ecológica ou ambiental. Essa visão, infelizmente, grassa na maioria das regiões que envolvem áreas extensivas de monoculturas (soja, milho e algodão, dentre outras). Sem dúvida, não há sustentabilidade de um sistema de produção que não seja economicamente viável. Entretanto, a médio e longo prazo, uma atividade economicamente viável poderá deixar de sê-lo, caso ocorra a degradação do meio ambiente. Conquanto algumas práticas conservacionistas, como o plantio direto na palha, tenham contribuído para solucionar alguns problemas como erosão e perda de qualidade do solo, há lacunas importantes em vários sistemas agrícolas, principalmente quanto ao uso excessivo e até crescente de agroquímicos para o controle de plantas daninhas, fitopatógenos e insetos. Em áreas extensivas de monocultivos, os problemas fitossanitários e ambientais têm sido agravados pela introdução, no país, de insetos e fitopatógenos, adaptação de insetos indenes às culturas (como a soja, por exemplo, com a rápida expansão dessa cultura para o Centro-Oeste, Norte e Nordeste), desequilíbrio causado pelo uso freqüente e excessivo de produtos fitossanitários de amplo espectro, poluição do solo e águas, aumento dos casos de resistência de pragas a inseticidas, fungicidas e herbicidas químicos, quase que ausência de rotação de culturas, cultivos subseqüentes com a mesma cultura em uma mesma área (exemplo, milho safrinha após milho de safra normal), dentre outros aspectos.

Não se pode esperar que a presente situação de desequilíbrio ambiental, característica dos monocultivos extensivos, com baixa diversidade de flora e fauna, possa ser alterada rapidamente. Afinal, o modelo econômico ditado pela globalização determina a busca pela competitividade através do aumento da produção e produtividade, com o conseqüente incremento da utilização de insumos químicos, em contraposição a um modelo mais racional de exploração da atividade agrícola, que leve em conta os aspectos ambientais e socioeconômicos.

No que tange ao controle das pragas, existem várias técnicas desenvolvidas em diferentes instituições de pesquisa e que podem contribuir para minimizar o impacto de medidas de controle sobre o ambiente. Nesse contexto, o

programa de manejo integrado de pragas (MIP) da soja será utilizado como referência, por ser considerado um dos mais bem sucedidos exemplos de implantação de técnicas que têm o potencial de reduzir o impacto ambiental de agroquímicos em sistemas de produção da cultura. Embora o conceito de MIP envolva ações contra as diferentes classes de pragas (plantas invasoras, fitopatógenos e insetos), o presente trabalho, sem o intuito de ser exaustivo, concentrar-se-á nos insetos, pelo fato da maioria das iniciativas terem sido desenvolvidos para essa classe de praga. Será feita uma análise resumida de sistemas agrícolas conduzidos em áreas extensivas, discutindo-se na seqüência diferentes técnicas de MIP para amenizar os impactos ambientais do controle de pragas.

Características de agroecossistemas e sustentabilidade ecológica quanto ao controle de pragas

Altieri¹ discute a necessidade de energia para sustentar um nível desejado de estabilidade da produção, bem como os padrões ecológicos de diferentes agroecossistemas. Aqueles baseados em monoculturas anuais, exigem grande gasto de energia para a produção (principalmente insumos químicos não renováveis), são de baixa estabilidade ecológica e diversidade genética, apresentando elevado índice de intervenção humana e menor nível de controle natural das pragas (por predadores, parasitoides e entomopatógenos), em relação aos outros tipos de agroecossistemas. É óbvio que as intervenções cada vez maiores para o controle de pragas com agroquímicos, exigidas em sistemas de produção extensiva de monoculturas e, dada a sua instabilidade, promovem e promoverão contínua degradação ambiental, caso não sejam adotadas estratégias de longo prazo. Em brilhante entrevista à *Revista Cultivar*, o reconhecido entomologista Marcos Kogan² enfatiza que “a sustentabilidade dos sistemas é uma necessidade tanto de sociedades ricas quanto pobres”. Continuando, cita a definição dada pela Sociedade Americana de Agronomia para agricultura sustentável: “é aquela que, no longo prazo, melhora a qualidade do ambiente e dos recursos básicos dos quais depende a agricultura; atende as demandas de fibras e alimentos; é economicamente viável; e melhora a qualidade de vida dos agricultores e da sociedade como um todo”. Ainda menciona cinco princípios básicos para o manejo sustentável do agroecossistema: 1) uso prudente dos recursos renováveis ou recicláveis; 2) proteção à integridade dos sistemas naturais,

¹ ALTIERI, M. A. *Agroecology: the scientific basis of alternative agriculture*. Boulder, CO: Westview Press, 1987.

² KOGAN, M. Entrevista sobre “Pragas: biodiversidade e controle”. *Revista Cultivar*, 3(35): 26-27, 2002.

de maneira que os recursos naturais sejam continuamente regenerados; 3) melhoria da qualidade de vida dos indivíduos e das comunidades; 4) viabilidade do ponto de vista econômico; 5) basear-se em uma ética que considera os benefícios de longo prazo para todos os membros de uma comunidade. Na mesma entrevista cita, também, como o manejo integrado de pragas (MIP), desde que bem conduzido, pode auxiliar na sustentabilidade do processo agrícola, enfatizando que, para isso, “são necessários avanços importantes quanto ao desenvolvimento e uso de novas táticas de controle que sejam compatíveis com a sustentabilidade ambiental e que possam substituir técnicas consideradas disruptivas”.

O conceito amplo de MIP, na realidade, sempre incorporou a filosofia da sustentabilidade de agroecossistemas, apesar de ser interpretado de forma variada por diferentes profissionais envolvidos com o tema, agricultores e a sociedade em geral. Em suas várias definições, o MIP engloba todas as classes de pragas (plantas invasoras, insetos, outros invertebrados, vertebrados, fitopatógenos etc.) num contexto holístico e baseado fortemente em princípios de ecologia (de populações, de comunidades e de ecossistemas). O conceito prevê diferentes níveis de integração: 1) de táticas de controle; 2) dos efeitos de estresses múltiplos causados pelas diferentes classes de pragas; e 3) de sistemas de produção.³ Numa tentativa de conciliar as 67 definições de MIP efetuadas entre 1959 e 1998, Kogan propôs a seguinte: “MIP é um sistema de suporte à decisão quanto a seleção e uso de táticas de controle de pragas, isoladamente ou harmonicamente coordenadas em uma estratégia de manejo, com base em análises de custo/benefício que levem em conta os interesses e impactos sobre produtores, sociedade e ambiente”⁴. Para ser considerado como tal, um programa de manejo de pragas deve utilizar metodologias preconizadas pelo MIP e contemplar os seguintes preceitos: a) as decisões de controle devem ser baseadas em avaliações adequadas do custo/benefício; b) os custos devem incluir todas as despesas diretas, bem como os custos indiretos ao ambiente e à sociedade; c) os benefícios incluem o valor econômico dos resultados obtidos com as ações de controle (por exemplo, redução de produtividade evitada) e os benefícios ao ambiente e à sociedade.⁵ Se os custos ecológicos e de energia não renovável fossem computados, vários programas de controle de pragas, principalmente em monocultivos extensivos, seriam considerados como não sustentáveis do ponto de vista ecológico e social.

³ KOGAN, M. Integrated pest management theory and practice. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 49: 59-70, 1988.

⁴ KOGAN, M. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. *Annual Review of Entomology*, 43: 243-270, 1998.

⁵ KOGAN, M. & BAJWA, W. I. Integrated pest management: a global reality? *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 28: 1-25, 1999.

O contexto holístico preconizado pelo MIP, conforme já discutido acima, na realidade, acaba se confundindo, em vários preceitos, com o contexto de agricultura ecológica. O conceito de MIP é coerente com a necessidade de sustentabilidade dos agroecossistemas. Entretanto, há uma lacuna enorme entre a teoria e a prática de programas de MIP desenvolvidos em diferentes países, incluindo o Brasil. A questão primordial a ser analisada é se as práticas correntes de MIP, sendo utilizadas ou com potencial de uso pelos agricultores, realmente contribuem ou contribuirão para a sustentabilidade ecológica de sistemas de produção agrícola. Essa questão não é fácil de ser respondida, pela quase que ausência de dados científicos sobre o impacto de programas de MIP na preservação ou recuperação da qualidade ambiental, principalmente em regiões de plantios extensivos de monocultivos, onde há o maior risco de degradação do ambiente (embora a produção de hortaliças e de algumas fruteiras, cultivadas em áreas pequenas, seja exemplo, também, de grande risco ambiental, devido ao grande número de aplicações de agroquímicos). Falta a adoção de critérios de monitoramento ambiental (solo, águas de superfície e subterrâneas, flora e fauna, etc.) que permitam avaliar os benefícios das táticas de MIP implementadas ou potenciais. O critério mais utilizado, que é a redução do uso de agroquímicos em sistemas de MIP, não é suficiente para aferir a qualidade ambiental decorrente da adoção desses programas. Vários artigos abordam a necessidade e critérios para o monitoramento ambiental de programas de MIP, como forma de avaliar o impacto desses programas.⁶ No Brasil, esses estudos são praticamente inexistentes. Para que se possa pensar em sustentabilidade ecológica dos sistemas de produção agrícola no país, é preciso adotar critérios que possibilitem avaliar a contribuição, ao ambiente e à sociedade, das ações adotadas em prol “da sustentabilidade ambiental”, decorrentes das ações desenvolvidas para tanto, como os programas de MIP.

Táticas de MIP

Monitoramento de pragas para decisão de controle

No contexto do MIP, o monitoramento da incidência de pragas é importante para que a intervenção de controle seja realizada num momento em que possíveis perdas de produtividade possam ser evitadas. Dessa forma, a disponibilidade de níveis de ação para o controle das principais pragas se torna importante. Os níveis de ação, estabelecidos

⁶ COATS, J. R. Risks from natural versus synthetic insecticides. *Annual Review of Entomology*, 39: 489-515, 1994.

LEVITAN, L. “How to” and “why”: assessing the environmental impacts of pesticides. *Crop Protection*, 19: 629-636, 2000.

SOLOMON, K.; GIESY, J. & JONES, P. Probabilistic risk assessment of agrochemicals in the environment. *Crop Protection*, 19: 649-655, 2000.

para determinados cultivos, como a soja, têm ampla margem de segurança, de forma a permitir a decisão de controle com base em múltiplos critérios ao nível da propriedade agrícola. Embora os níveis de ação e de dano econômico sejam questionados, seu uso, considerando fatores climáticos, desenvolvimento da planta (sob estresse hídrico ou não), tamanho da propriedade, disponibilidade de equipamentos etc., é de muita importância em programas de MIP. Caso sejam adequadamente utilizados, certamente levam a uma diminuição considerável do volume de produtos químicos consumidos no controle de pragas, bem como a uma modificação no perfil desses produtos, permitindo o uso daqueles com menor impacto ambiental e à saúde humana. No entanto, esses parâmetros de decisão foram desenvolvidos principalmente para insetos, com menor intensidade para fitopatógenos e muito pouco para plantas invasoras, em função da ênfase da pesquisa e das características inerentes a cada classe de praga (grau de dificuldade maior para plantas invasoras). Além disso, muito pouco se conhece sobre o impacto de múltiplos fatores de estresse (classes de pragas) sobre a produtividade de culturas (nível II de integração) e muito menos sobre o nível III de integração do MIP (sistemas de produção).⁷ Aparentemente, os pesquisadores envolvidos com as diferentes classes de pragas não têm interagido o suficiente para que o MIP avance do nível I para, pelo menos, o nível II de integração.

⁷ KOGAN, M. *Op. cit.*, 1998.
KOGAN, M. & BAJWA, W.
I. *Op. cit.*, 1999.

Práticas culturais

O controle de pragas através de práticas culturais pode ser considerado como uma alteração deliberada do agroecossistema para reduzir populações de pragas e evitar danos econômicos a uma dada cultura. Essas práticas contemplam, dentre outras opções: a diversificação de cultivos em uma propriedade e/ou região, bem como a convivência com certo nível e diversidade de plantas daninhas (refúgio para inimigos naturais de pragas); a rotação de culturas (redução de insetos e fitopatógenos do solo, por exemplo), culturas armadilhas, o plantio em data antecipada ou atrasada de determinada cultura, para quebrar a sincronia de altas populações de pragas com as fases mais suscetíveis da cultura; e o uso de espaçamentos menores (que favorecem inimigos naturais, como fungos entomopatógenos). O plantio de diferentes culturas (policultivos) e o convívio com plantas daninhas em uma propriedade agrícola, podem levar a um aumento da contribuição de inimigos naturais no controle de pragas, com conseqüente redução do nível de ocorrência de

⁸ ALTIERI, M. A.; SILVA, E. N. & NICHOLLS, C. I. *O papel da biodiversidade no manejo de pragas*. Ribeirão Preto: Holos, 2003.

⁹ TONHASCA Jr., A. & BYRNE, D. L. The effects of crop diversification on herbivorous insects: a meta-analysis approach. *Ecological Entomology*, 19: 239-244, 1994.

pragas.⁸ No entanto, para pragas polífagas, essa tática pode não resultar em claros benefícios.⁹

Ademais, quando se analisa a presente situação de cultivos de monoculturas em áreas extensivas no Brasil, há que se considerar o retorno econômico ao produtor. Hoje ainda são poucas as opções aos produtores para a diversificação de cultivos em áreas extensivas de plantação de grãos e de fibras (soja, milho, trigo, algodão). O mesmo se pode dizer de propostas de rotação de culturas, envolvendo sistemas que muitas vezes não são adotados pelos agricultores, pela sua inviabilidade econômica. Em alguns casos, a rotação de cultivos tem sido adotada pelos agricultores, pela severidade do ataque de insetos e fitopatógenos em algumas regiões. Tanto a diversidade de cultivos como a rotação de culturas devem ser incentivados num programa de MIP. No entanto, a pesquisa e os órgãos de assistência técnica, bem como os governos (federal, estaduais e municipais) devem propiciar tecnologias que permitam alternativas economicamente viáveis para o emprego dessas e outras práticas culturais pelo agricultor e que contribuam para a preservação do ambiente.

Controle biológico

A regulação de populações de pragas por meio de agentes bióticos (predadores, parasitóides, entomopatógenos e microorganismos antagonistas de fitopatógenos) é uma das mais importantes ferramentas de programas de MIP, que tende a ser, cada vez mais, importante a curto, médio e longo prazo, contribuindo para a sustentabilidade ecológica de agroecossistemas. O controle biológico ocorre naturalmente. Pode ser preservado ou aumentado em agroecossistemas, através de estratégias específicas em cada programa de MIP. Ainda, para o controle de pragas introduzidas, agentes naturais de controle podem ser importados dos países de origem da praga para os países onde uma determinada praga foi introduzida. Esse tipo de tática (introdução e estabelecimento) tem contribuído para a solução de inúmeros problemas com pragas introduzidas em diferentes países. Além disso, agentes de controle biológico podem ser produzidos de forma comercial, em laboratório, para serem liberados ou aplicados com vistas à redução de populações de pragas a níveis não econômicos para determinada cultura, substituindo o uso de pesticidas químicos.

O Brasil tem sido exemplo de adoção de programas de controle biológico. Alguns livros recentes publicados no país atestam esse fato¹⁰, avaliando e discutindo o uso e o

¹⁰ ALVES, S. B. *Controle microbiano de insetos*. Piracicaba, SP: FEALQ, 1998.

MELO, I. S. de & AZEVEDO, J. L. *Controle biológico*. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, v. 1, 1998, v. 2, 1999 e v. 3, 2000.

PARRA, J. R. P.; BOTELHO, P. S. M.; CORRÊA-FERREIRA, B. S. & BENTO, J. M. S. *Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores*. São Paulo: Manole, 2002.

potencial de agentes de controle biológico de pragas em programas de MIP, considerando a sustentabilidade de agroecossistemas. No entanto, a legislação brasileira para o registro desses agentes, ainda demanda modificações importantes no âmbito do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que permitam políticas governamentais específicas para os produtos biológicos destinados ao controle de pragas, diferentemente das políticas relativas aos produtos químicos fitossanitários, que se distinguem fundamentalmente daqueles em termos de sustentabilidade ecológica de agroecossistemas. Dada a diversidade de agentes de controle biológico no país, muitos ainda nem identificados, há enorme potencial de incremento da utilização desses agentes visando a melhoria ambiental dos sistemas agrícolas. A maioria dos programas de controle biológico postos em prática envolve insetos-pragas, havendo clara necessidade do desenvolvimento de programas com fitopatógenos e plantas invasoras que possam ser amplamente utilizados em vários agroecossistemas.

Uso de variedades resistentes

Dada a sua compatibilidade com outras práticas de MIP, o desenvolvimento de variedades de plantas resistentes a insetos e fitopatógenos tem sido e será fundamental para minimizar ou evitar o impacto ambiental de produtos fitossanitários utilizados no controle de pragas. No contexto de várias culturas, novas variedades só são lançadas se, comprovadamente, forem resistentes a determinadas doenças que possam limitar a produtividade. No entanto, a introdução de pragas exóticas em território brasileiro, representa um risco enorme a programas de MIP, baseados fortemente em resistência de plantas a pragas. Tomando a soja como exemplo, em 1989, foi introduzido no Brasil (acidentalmente ou não) um fungo devastador, *Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*, causador da doença denominada cancro da haste. Felizmente, o programa de melhoramento da Embrapa, em parceria com outras instituições de pesquisa, já havia previsto, há muitos anos, a possibilidade de introdução desse fungo no país, incorporando genes de resistência ao patógeno em genótipos de soja, permitindo, já em 1991, lançar as primeiras variedades de soja resistentes ao fungo. Hoje a doença é controlada através da resistência varietal, nas diferentes regiões produtoras de soja. Posteriormente, também foi introduzido no país o nematóide de cisto da

soja (*Heterodera glycines*), com grande repercussão econômica nas regiões infestadas. Hoje, através do uso de variedades resistentes e de práticas culturais, esse problema está praticamente equacionado, mas as variedades necessitam contemplar resistência às diferentes raças do nematóide e outras que possam surgir. Mais recentemente, foi introduzida a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, com potencial de redução de 70% da produtividade em áreas infestadas, demandando até duas aplicações de fungicidas na cultura, onerando os custos de produção e contribuindo como mais um fator de desequilíbrio ambiental. Nesse caso, o desenvolvimento de variedades resistentes é, também, uma necessidade premente a ser combinada com outras práticas de MIP.

Na natureza, a resistência de plantas é um fenômeno decorrente de co-evolução planta/herbívoro e fundamenta-se, principalmente, em múltiplos genes e diversidade de fatores de resistência, o que contribui para a estabilidade da resistência. Um dos maiores problemas quanto ao uso desse método em plantas agrícolas é que os programas de melhoramento, na sua maioria, se baseiam na incorporação de um único gene de resistência em plantas cultivadas, o que torna fácil para uma praga (inseto ou fitopatógeno) evoluir (novas raças) e sobrepujar a resistência. Dada a “prioridade” pela seleção de características agrônômicas importantes (produtividade, porte da planta, tamanho da semente, sabor etc.) por melhoristas, muitas das defesas naturais contra herbívoros foram sendo perdidas ao longo do tempo. Portanto, há a necessidade de aumentar a diversidade genética da resistência em plantas cultivadas, visando ampliar a estabilidade da resistência¹¹, resgatando genes para essa característica em ancestrais selvagens de plantas cultivadas. É importante enfatizar que a resistência de plantas tem sido muito mais empregada com respeito a fitopatógenos que para insetos.

No caso da soja, o principal problema quanto à resistência a insetos é que os genótipos de soja com nível mais elevado de resistência são menos produtivos¹², o que parece se aplicar a outras culturas. Os programas de melhoramento genético de plantas das várias instituições de pesquisa, com base essencialmente no aumento da produtividade, descartam genótipos resistentes a insetos com desempenho de produtividade 3-5% inferior aos padrões, em testes finais em campo. Visando a sustentabilidade ecológica dos agroecossistemas, esse é um procedimento questionável. Qual é a justificativa de não oferecer essas variedades resistentes, embora um pouco menos produtivas, aos agricultores?

¹¹ PIMENTEL, D. A. Diversification of biological control strategies in agriculture. *Crop Protection*, 10: 243-253, 1991.

¹² HOFFMANN-CAMPO, C. B.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; CORRÊA-FERREIRA, B. S. & GAZZONI, D. L. Alternativas potenciais para uso no manejo de pragas da soja. In: CORRÊA-FERREIRA, B. S. (org.) *Soja Orgânica: alternativas para o manejo dos insetos-pragas*. Londrina: Embrapa Soja, 2003. p. 65-83.

Estes devem ter a possibilidade de contar com essas variedades, que em regiões de alta incidência de pragas podem representar um lucro líquido superior ao daquele resultante do plantio de uma variedade suscetível, além dos benefícios ao ambiente. Outro exemplo é o dos produtores de culturas orgânicas, que não podem aplicar inseticidas químicos e necessitam de variedades resistentes a determinadas pragas para as quais não existam outras alternativas, como o controle biológico.

Uso de pesticidas seletivos

O ideal em termos de sustentabilidade ecológica é a adoção de técnicas diversas, fundamentadas em planejamento realizado antes do plantio da cultura, que permitam evitar a necessidade de aplicação de produtos contra pragas. Entretanto, dada a instabilidade de agroecossistemas de culturas anuais, principalmente as de área extensiva, há, com freqüência, a necessidade de intervenção para evitar danos elevados por pragas. Nesse contexto, com o monitoramento das pragas e a adoção de múltiplos critérios para a decisão sobre a necessidade de intervenção, a escolha do produto a ser aplicado será decisiva para a preservação do potencial do controle biológico existente. Sempre que disponíveis deve-se dar preferência aos produtos que atendam a essas características. Sendo assim, os produtos biológicos e outros naturais (como os extraídos de plantas), bem como os alomônios, kairomônios e feromônios sintéticos¹³, teriam ascendência sobre os demais. No entanto, apesar dos avanços, a disponibilidade desses produtos ainda é pequena, considerando as várias pragas importantes em diferentes agroecossistemas brasileiros. Mesmo quando disponíveis, muitas vezes problemas que limitam a produção massal desses agentes ou substâncias restringem a sua oferta aos agricultores.¹⁴

Pesticidas químicos, na falta de alternativas, de acordo com os preceitos do MIP, devem ser selecionados quanto a sua toxicidade e riscos ao homem, outros vertebrados, invertebrados, entomopatógenos, potencial de poluição do ambiente etc. Mas, o uso de produtos reguladores de crescimento em insetos (popularmente denominados de “inseticidas fisiológicos”) tem impacto ambiental muito menor que o dos inseticidas químicos convencionais (organoclorados, organofosfatos, carbamatos etc.). A avaliação do impacto de pesticidas sobre inimigos naturais de pragas, tem sido um critério importante para a recomendação do uso de inseticidas em programas de MIP, em algumas culturas.

¹³ COPPING, L. & MENN, J. Biopesticides: a review of their action, applications and efficacy. *Pest Management Science*, 56: 651-676, 2000.

¹⁴ ALVES, S. B. *Op. cit.*
PARRA, J. R. P.; BOTE-
LHO, P.S. M.; CORRÊA-
FERREIRA, B. S. & BEN-
TO, J. M. S. *Op. cit.*

Entretanto, essas recomendações têm sido, na prática, utilizadas para predadores de pragas, faltando critérios para a recomendação de produtos com base em seu impacto sobre parasitóides, entomopatógenos e agentes naturais controladores de fitopatógenos e plantas invasoras.

A adoção crescente de fungicidas em determinadas culturas, por exemplo, pode acarretar desequilíbrios na relação inseto hospedeiro e fungos entomopatogênicos de ocorrência natural importante, como é o caso do fungo *Nomuraea rileyi* em lagartas da soja. Determinados fungicidas têm efeito supressivo sobre o fungo, propiciando o aumento populacional da lagarta-da-soja, *Anticarsia gemmatalis*, enquanto alguns fungicidas não afetam significativamente a incidência natural desse fungo.¹⁵ Portanto, o uso de fungicidas de menor efeito sobre esse agente de controle biológico natural, torna-se necessário. Apesar de recomendações da pesquisa sobre produtos que têm menos impacto sobre predadores de pragas e sobre entomopatógenos em algumas culturas, como a soja, há que se reconhecer que a adoção dessas recomendações, por grande número de agricultores, muitas vezes não é efetivada por razões econômicas (uso de produtos de menor custo, embora possam ser deletérios ao meio ambiente), culturais (aplicar os mesmos produtos que vêm sendo utilizados pela família há muitos anos e que são “eficientes” e controlam rapidamente a praga visada), e de um “marketing” massivo por empresas de produtos químicos na mídia, nas cooperativas de produtores e diretamente entre os produtores, fato que sobrepuja olímpicamente os esforços de divulgação de órgãos governamentais de pesquisa e assistência técnica quanto aos produtos que representam menor risco ambiental.

O manejo integrado de insetos-pragas da soja no Brasil

A intenção aqui, após o que foi exposto nos itens anteriores, é resumir ações de MIP desenvolvidas para a cultura da soja, com respeito aos insetos-pragas, como exemplo de um esforço de várias instituições de pesquisa, de assistência técnica oficial e da iniciativa privada, que redundou em enormes benefícios econômicos, ambientais e sociais. Dado ao fato de que programas de MIP são dinâmicos, permitindo o aperfeiçoamento de técnicas vigentes e a incorporação de novas técnicas ao longo do tempo, há que se salientar que muito ainda pode e deve ser feito para que o programa de MIP Soja tenha maior repercussão, principalmente quanto à minimização de impactos ambientais do controle de pragas em sistemas de produção de soja.

¹⁵ SOSA-GÓMEZ, D. R.; DELPIN, K. E.; MOSCARDI, F. & NOZAKI, M. de H. The impact of fungicides on *Nomuraea rileyi* (Farlow) Samson epizootics and on populations of *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae), on soybean. *Neotropical Entomology*, 32: 287-291, 2003.

Breve histórico sobre a implementação do programa de MIP Soja

Antes da implementação do programa, produtores de soja geralmente aplicavam inseticidas na base de “calendário”, pela primeira detecção de insetos na cultura ou por informações de produtores vizinhos, o que resultava em número excessivo de aplicações de inseticidas químicos e em doses desnecessariamente elevadas. Além disso, os inseticidas mais utilizados eram produtos como DDT, Endrin, Paration Metílico, Toxafeno, bem como misturas desses inseticidas.¹⁶ Em 1975, um esquema de MIP foi testado em lavouras de soja do sul do país, com base: a) no monitoramento semanal das principais pragas (lagarta-da-soja – *Anticarsia gemmatalis* – e percevejos sugadores de vagens e grãos) e da incidência do fungo *Nomuraea rileyi* em populações da lagarta-da-soja; b) na avaliação de níveis de desfolha e desenvolvimento da planta em diferentes estágios fenológicos da cultura; c) no uso de níveis de ação tendo como referência a desfolha, a densidade populacional das principais pragas e o estágio de desenvolvimento da cultura; e d) na aplicação de inseticidas selecionados em doses mínimas de eficiência, quando a população de determinada praga e os seus danos atingissem o nível de ação.¹⁷

Os resultados foram importantes, pois o número de aplicações nas áreas de MIP foi reduzido, em média, em 78%, em comparação com áreas pareadas em cada propriedade e conduzidas de acordo com as práticas utilizadas pelos sojicultores para o controle de pragas da soja, sem que houvesse efeito diferencial quanto à produtividade. Esse programa foi implementado pela Embrapa e Emater-PR em 1977. Deste ano até 1980, o número médio de aplicações de inseticidas, entre sojicultores assistidos, foi reduzido de cerca de seis para aproximadamente duas por safra. A partir desses resultados, o MIP Soja foi expandido para outros estados produtores de soja, com adoção de cerca de 40% entre sojicultores. A pesquisa referente a outras táticas de MIP levou a considerável aprimoramento do programa de MIP Soja, através de diferentes técnicas, principalmente quanto ao controle biológico das principais pragas.

Controle biológico

O controle biológico natural de pragas da soja exercido por predadores, parasitóides e entomopatógenos é significativo, embora para alguns insetos esse controle

¹⁶ GAZZONI, D. L. & OLIVEIRA, E. B. de. Soybean insect pest management in Brazil: I. Research effort; II. Program implementation. In: MATTESON, P. C. (ed.) *Proceedings of the International Workshop on Integrated Pest Control in Grain Legumes*. Brasília: Embrapa, 1984. p. 312-325.

MOSCARDI, F. Soybean integrated pest management in Brazil. *Plant Protection Bulletin*, Roma, FAO, 41: 91-100, 1993.

¹⁷ KOGAN, M.; TURNIPSEED, S. G.; SHEPARD, M.; OLIVEIRA, E. B. & BORGIO, A. Pilot insect pest management program for soybean in southern Brazil. *Journal of Economic Entomology*, 70: 659-663, 1977.

natural nem sempre seja suficiente para manter suas populações sob controle, ou abaixo do nível de ação. Conforme já discutido anteriormente, a primeira medida importante do MIP Soja é a recomendação de produtos seletivos, que não afetem os inimigos naturais das pragas. No contexto do MIP, visando substituir aplicações de inseticidas químicos, foram desenvolvidos dois programas de controle biológico aplicado contra a lagarta-da-soja e o complexo de percevejos, pragas principais e que demandam mais de 90 % das aplicações de inseticidas nesse tipo de cultura.

Uso de vírus no controle da lagarta-da-soja

Um vírus do gênero *Nucleopolydnavirus* (vírus de poliedrose nuclear – VPN – família Baculoviridae) foi isolado do inseto já em 1972 e, posteriormente, desenvolvido como inseticida biológico pela Embrapa Soja, Londrina, Paraná. É um produto natural, específico para a lagarta-da-soja e inócuo ao homem, a outros vertebrados, invertebrados e plantas. A implementação de seu uso ocorreu em 1983 e já em 1990 a sua aplicação era realizada em cerca de 1,0 milhão de hectares.¹⁸ Atualmente, sua utilização atinge cerca de 2,0 milhões de hectares. Nesta área, como exemplo, deixa-se de aplicar anualmente no meio ambiente cerca de dois milhões de litros de inseticidas químicos, que normalmente seriam utilizados na ausência do programa de controle biológico. O maior problema restringindo a ampliação de seu uso encontra-se na capacidade de produção do inseticida biológico. Como a produção em laboratório era economicamente inviável, passou a ser realizada exclusivamente em campo, aproveitando a ocorrência natural do inseto durante cada safra. Devido a problemas bióticos e abióticos que limitam a incidência da lagarta-da-soja cada ano, há variação da capacidade de produção do vírus em campo. Ademais, a procura pelo inseticida biológico aumentou de tal forma nos últimos três anos, especialmente no Centro-Oeste, que a oferta do produto tem-se situado cerca de 20-30% aquém da demanda. Recentemente, foi aperfeiçoada metodologia para a produção do vírus em insetos criados continuamente em dieta artificial em laboratório, que resulta em produto final com custo competitivo em relação ao dos inseticidas químicos disponíveis no mercado. Dessa forma, espera-se que esse método venha complementar a produção realizada em campo, de forma a atender a crescente demanda pelo produto.

¹⁸ MOSCARDI, F. Assessment of the application of baculoviruses for the control of Lepidoptera. *Annual Review of Entomology*, 44: 257-289, 1999.

Uso de parasitóides de ovos no controle de percevejos

Um programa para a produção de parasitóides de ovos (principalmente *Trissolcus basal*), visando o controle das principais espécies de percevejos da soja (*Euschistus heros*, *Nezara viridula* e *Piezodorus guidinii*) foi implementado pela Embrapa há cerca de 10 anos, após experimentos piloto que comprovaram a eficiência de liberações do parasitóide em áreas de produção de soja.¹⁹ Um dos aspectos importantes para o sucesso das liberações de parasitóides é o uso de inseticidas biológicos ou de outros produtos seletivos contra a lagarta-da-soja (*A. gemmatalis*), antes da liberação de parasitóides, com o fim de preservar populações naturais de parasitóides e predadores e também evitar o efeito prejudicial de inseticidas químicos de amplo espectro sobre os parasitóides liberados.

Um laboratório para a produção de percevejos foi estabelecido na Embrapa Soja, Londrina, visando a obtenção contínua de ovos desses insetos para a produção dos parasitóides e seu envio a produtores de soja, para a liberação em suas lavouras durante a safra. Outros laboratórios para a produção do parasitóide foram estabelecidos em diferentes regiões do sul do país, envolvendo associações de produtores, cooperativas e outras instituições. Atualmente, esse programa atinge entre 20.000 a 25.000 hectares de soja, com perspectivas de expansão nos próximos anos, caso sejam implementados outros laboratórios.

MIP Soja em microbacias

Essa é uma estratégia relativamente recente e vai ao encontro dos preceitos do MIP, uma vez que seu objetivo é implementar o MIP Soja em áreas contínuas de microbacias, no sentido de integrar produtores de cada comunidade, visando reduzir a aplicação de inseticidas químicos de amplo espectro e de alta toxicidade e melhorar a qualidade de vida de populações rurais e urbanas no entorno dessas microbacias, muitas das quais servem para a captação de água potável. As ações de MIP envolvem todas as técnicas disponíveis, incluindo: a) monitoramento semanal das pragas e inimigos naturais em todas as propriedades agrícolas de cada microbacia; b) decisão de controle com base em níveis de ação estabelecidos para as principais pragas; c) uso de produtos biológicos (*Baculovirus*, *Bacillus thuringiensis*) ou “inseticidas fisiológicos” contra a lagarta-da-soja; d) liberações de parasitóides de ovos (*T. basal*) para o controle de percevejos em pontos estratégicos da microbacia, para

¹⁹ CORRÊA-FERREIRA, B. S. Utilização do parasitóide de ovos *Trissolcus basal* (Wollaston) no controle de percevejos da soja. Londrina: Embrapa-CNPSO, 1993, 40 p. (Embrapa-CNPSO. Circular Técnica, 11).
CORRÊA-FERREIRA, B. S. & MOSCARDI, F. Biological control of soybean stink bugs by inoculative releases of *Trissolcus basal*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, Belgium, v. 79, p. 1-7, 1996.

favorecer a dispersão e a multiplicação dos parasitóides; e) aplicação de inseticidas nas bordas das lavouras de soja, quando de sua colonização inicial por percevejos ou o emprego, se necessário, de doses reduzidas de inseticidas misturadas com sal de cozinha (0,5%) para o controle desses insetos.²⁰

²⁰ CORSO, I. C. Uso de sal de cozinha na redução da dose de inseticida para o controle de percevejos da soja. Londrina: Embrapa-CNPSo, 1990, 7 p. (Embrapa-CNPSo. Comunicado Técnico, 45).

Os primeiros estudos em microbacias foram realizados nos municípios de Cafelândia, Realeza e Santa Mariana, Paraná, na safra 1991/92. Na safra 1994/95 iniciou-se um trabalho na microbacia do Rio do Campo (RIOCAM), município de Campo Mourão, Paraná, que será utilizado como um estudo de caso. Na época, a área cultivada na RIOCAM era de 7.000 hectares, sendo 4.600 hectares de soja num total de 65 propriedades. A estrutura incluía um laboratório para a produção do parasitóide *T. basalis*, um sistema de abastecimento de água para a população rural e urbana, estudos sobre a vegetação de mata ciliar, recuperação de estradas rurais, e uma associação de produtores da RIOCAM muito ativa. Várias instituições participam do projeto, incluindo a Embrapa Soja, Associação dos Produtores da RIOCAM, Emater-PR, Coamo (Cooperativa Agrícola Mourãoense), Prefeitura de Campo Mourão, Instituto Ambiental do Paraná e Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Paraná, dentre outras. Após quatro anos de implantação do MIP Soja na RIOCAM, houve drásticas mudanças no controle de insetos pragas e no perfil dos produtos utilizados.²¹ O número médio de aplicações decresceu de 2,80 para 1,23 (56,1%) na RIOCAM, enquanto na região de Campo Mourão e no Estado do Paraná variou entre 2,09 a 2,63 e 2,26 a 2,74, respectivamente. O uso do Baculovírus da lagarta-da-soja atingiu 62,0% na RIOCAM, enquanto na região de Campo Mourão e no Estado do Paraná o uso desse inseticida biológico foi de 16% e 22%, respectivamente. É importante mencionar que inseticidas químicos de amplo espectro e alta toxicidade, que representavam 97,0% das aplicações contra a lagarta-da-soja na RIOCAM, foram substituídos, em grande parte, por produtos seletivos e ambientalmente aceitáveis, como produtos biológicos e “inseticidas fisiológicos”. Esse fato, associado a liberações do parasitóide *T. basalis*, resultaram em drástica redução no número de aplicações de inseticidas para o controle de percevejos na RIOCAM (de 0,82 para 0,19 num período de quatro anos). No mesmo período, o número de aplicações contra esses insetos variou de 0,69 a 0,79 para a região de Campo Mourão e de 0,82 a 1,03 para o Estado do Paraná. Também, o monitoramento da água da RIOCAM,

²¹ CORRÊA-FERREIRA, B. S.; DOMIT, L. A.; MORALES, L. & GUIMARÃES, R. C. Integrated soybean pest management in micro river basins in Brazil. *Integrated Pest Management Reviews*, 5: 75-80, 2000.

no período, indicou que houve sensível melhoria de sua qualidade, em benefício da população. Dessa forma, a estratégia de MIP Soja em microbacias apresenta potencial para implementação em outras regiões, visando a sustentabilidade ecológica de sistemas de produção de soja, acrescentando outras táticas de MIP (práticas culturais, cultivares resistentes etc.). Essa é uma estratégia que pode ser adaptada para microrregiões, com características de certa forma uniformes (clima, solo, táticas de manejo da cultura etc.).

MIP em cultivos de soja orgânica

A área cultivada com soja orgânica, especialmente na região sul, vem crescendo a cada ano, sendo que um dos principais desafios relativos à conversão do cultivo convencional para o orgânico é o controle de insetos-pragas. Entretanto, produtores de soja orgânica têm utilizado técnicas importantes de MIP Soja, como o controle biológico, práticas culturais, dentre outras, que permitem solucionar o problema de insetos-pragas sem a aplicação de inseticidas químicos, com patamares de produtividade semelhantes aos obtidos em cultivos convencionais. Mesmo no caso de menores produtividades, a receita líquida pode ser maior no sistema de produção orgânica devido ao melhor preço ofertado ao produto orgânico. Recentemente, foi lançado um livro sobre soja orgânica relativo às alternativas para o manejo dos insetos-pragas, abordando práticas como o controle biológico, a biodiversidade vegetal e outras práticas culturais, o uso de variedades resistentes a insetos, uso de extratos vegetais, uso de armadilhas e de semioquímicos, dentre outras.²² Os mesmos preceitos se aplicam, com os necessários ajustes, à agricultura de pequena escala (familiar, de subsistência), bem como para áreas extensas de monocultivos, visando a sustentabilidade ecológica dos agroecossistemas de produção de soja. No entanto, a pesquisa precisa oferecer, cada vez mais, alternativas que, ao mesmo tempo, sejam viáveis economicamente e ecologicamente aceitáveis, associadas a políticas governamentais que visem, a médio e longo prazo, reverter o impacto negativo de práticas de controle de pragas sobre o meio ambiente.

Considerações finais

Apesar dos consideráveis ganhos em produtividade de diversos cultivos, com safras recordes nos últimos anos, a agricultura brasileira, especialmente a baseada em monocultivos extensivos, é “predatória” em relação ao meio ambiente

²² CORRÊA-FERREIRA, B. S. *Soja orgânica: alternativas para o manejo dos insetos pragas*. Londrina: Embrapa Soja, 2003.

(poluição do solo e águas de superfície e subterrâneas). Da forma como são conduzidos atualmente os agroecossistemas baseados em monocultivos extensivos, com gastos excessivos de energia não renovável e uso de insumos que poluem o meio ambiente, exigidos cada vez mais para a preservação do potencial produtivo das diversas culturas agrícolas, a degradação ambiental é inevitável. Isso pode prejudicar a competitividade de produtos brasileiros no mercado internacional, dadas as crescentes exigências de países importadores quanto à produção com menor impacto ambiental e a qualidade dos produtos (nível e tipo de resíduos de agroquímicos). No entanto, os efeitos desses produtos no meio ambiente carecem de avaliação criteriosa e sistemática, com base em parâmetros científicos (efeitos sobre animais selvagens em geral, incluindo pássaros, outros vertebrados terrestres e aquáticos e plantas; efeitos na fauna dos solos; contaminação de águas de superfície e subterrânea; desenvolvimento de resistência de insetos, fitopatógenos e plantas daninhas a pesticidas, etc.).

Há a percepção, no meio científico e de outros setores envolvidos com o agronegócio, de que o atual modelo de exploração agrícola no país, apesar dos avanços obtidos, precisa ser reavaliado, de forma a manter altos níveis de produtividade, mas com ações efetivas quanto à sustentabilidade ambiental. Para tanto, são necessários planos consequentes de médio e longo prazo, com a participação dos governos (federal, estaduais e municipais), das instituições de pesquisa e de assistência técnica, bem como da iniciativa privada envolvida com o agronegócio, inserindo a preservação ambiental como prioridade. Talvez seja necessário, pelo menos no início, que os governos propiciem incentivos para que o agricultor abdique de determinadas práticas disruptivas do meio ambiente, em prol de ações que levem em conta o custo ecológico e social das práticas atuais. Isso se constitui em um tipo de subsídio? Com certeza, sim. Mas para um bom propósito – a preservação do ambiente para as gerações futuras. Bem diferente dos propósitos amplamente conhecidos de países ricos quanto aos subsídios que fornecem aos seus agricultores.

É preciso salientar que houve avanços tecnológicos consideráveis ao longo do tempo, relativos à preservação ambiental. Houve um aumento considerável de área com plantio direto na palha, diminuindo problemas de erosão e aumentando a matéria orgânica do solo; houve uma mudança do perfil de produtos inseticidas lançados no mercado (princípios ativos mais seletivos, de menor toxicidade e

impacto ambiental, utilizados em doses reduzidas); houve um acréscimo de opções de MIP, com grande enfoque em produtos biológicos, práticas culturais e cultivares resistentes a pragas (a soja serve como exemplo, além da cana-de-açúcar, do trigo, citrus, dentre outras culturas). Embora haja muito que avançar em programas de MIP, envolvendo insetos e outros invertebrados, plantas daninhas e fitopatógenos, a pesquisa agrícola do país, realizada pela Embrapa, Universidades e empresas estaduais, têm respondido aos desafios, desenvolvendo tecnologias apropriadas de controle de pragas visando a preservação ambiental. Acredita-se que essas instituições terão papel importante quanto à oferta futura de inovações tecnológicas (novos agentes de controle biológico, opções econômicas para a diversificação e rotação de culturas na propriedade, novas variedades resistentes a insetos e fitopatógenos, novas alternativas provenientes da biotecnologia etc.), de modo a atender o desafio da produção agrícola sustentável econômica e ecologicamente. Da mesma forma, acredita-se que as empresas privadas produtoras de insumos químicos, dada a crescente demanda da sociedade por produtos de melhor qualidade e com menor nível de resíduos de agroquímicos prejudiciais à saúde, deverão ofertar, cada vez mais, produtos destinados ao controle de pragas que atendam a essa demanda.

Flavio Moscardi é engenheiro agrônomo, PhD em Entomologia, membro titular da Academia Brasileira de Ciências e pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Soja, Londrina, Paraná.
moscardi@cnpso.embrapa.br

IMPACTO DAS ATIVIDADES AGROPECUÁRIAS NA QUALIDADE DA ÁGUA

Danilo dos Santos Rheinheimer
Celso Silva Gonçalves
João Batista Rossetto Pellegrini

No Rio Grande do Sul, a modernização agrícola modificou a paisagem de uma grande região em curto espaço de tempo. A conversão de áreas de floresta e campo nativo em lavoura, sob sistema de cultivo convencional, fragilizou os ecossistemas, conduzindo a desequilíbrios ambientais. Esses desequilíbrios foram provocados porque as áreas com vegetação permanente são responsáveis pela redução de fontes de poluição não pontuais de rios e lagos. O modelo de agricultura adotado ao longo das últimas décadas, baseado no uso intensivo dos recursos naturais e com a dependência total de agroquímicos, que de uma forma ou de outra acabam atingindo os mananciais de água, tornou-se fonte de poluição difusa. Os sistemas de produção de grãos em sequeiro, de arroz inundado, da criação de aves e suínos e da lavoura de fumo contribuem maciçamente para a contaminação da água no Sul do Brasil. Dentre os contaminantes, os que merecem mais atenção são os agrotóxicos, o nitrato e fosfato e os dejetos orgânicos, que causam direta ou indiretamente alterações no ambiente e na saúde humana. Para melhorar a qualidade da água no meio rural, precisa-se de ações integradas em bacias e microbacias hidrográficas, de legislação atualizada e aplicável à realidade da região, e de ações simples, desenvolvidas pelos próprios agricultores, que visem à diminuição do impacto antrópico.

Conversão de ambientes naturais equilibrados em áreas agricultáveis

As crescentes expansões demográficas, industriais e agropecuárias, ocorridas nas últimas décadas, provocaram alterações negativas na qualidade da água dos rios, lagos e reservatórios. A limitada disponibilidade de água doce na natureza e o alto custo de sua obtenção por meios menos convencionais, como a água do mar e do subsolo, são indicativos da necessidade de maiores investimentos na preservação, controle e utilização racional das águas doces superficiais.

No Rio Grande do Sul, a vegetação natural permanente (floresta e campo nativo) foi severamente destruída, o que provocou desmantelamento de ecossistemas equilibrados, transformando-os em focos de contaminação ambiental. Em 1940, a cobertura vegetal de florestas nativas ocupava em torno de 46% da área total do Estado, já em 1983, as florestas cobriam apenas 5,62% da superfície.¹ Grandes áreas de florestas e de campos nativos tornaram-se áreas agrícolas e pastagens. A maior parte dos solos, outrora recobertos com vegetação permanente, apresenta sérios problemas de degradação. As florestas são responsáveis por 89,3% da água infiltrada no solo e o campo nativo, por 7,1%, enquanto a agricultura é responsável por apenas 3,6%.² Um estudo das características físico-químicas do deflúvio superficial de sete microbacias rurais da Bahia indicaram a descarga de 0,884 g s⁻¹ para bacias com vegetação de mata nativa, de 0,78 a 0,97 g s⁻¹ para aquelas reflorestadas com *Eucalyptus sp* e mata nativa, e de 0,148 a 0,275 g s⁻¹ para as ocupadas com pastagens.³ Assim, as áreas de vegetação permanente diminuem as fontes de poluição não pontuais e controlam o ambiente físico e químico dos rios e lagos, promovendo o equilíbrio através de ciclagem de materiais.⁴

As áreas cultivadas são, portanto, as grandes responsáveis pelo escoamento superficial, principalmente se o modelo de agricultura for baseado no preparo intensivo do solo, como ocorreu no Rio Grande do Sul a partir dos anos 50. A conversão de áreas de vegetação natural permanente, especialmente de florestas, em áreas de lavoura, deixa o solo vulnerável ao impacto da gota da chuva. Essa mudança desagrega o solo, diminui sua porosidade e provoca o selamento da camada superficial, reduzindo, em consequência, sua capacidade de infiltração e retenção de água. A intensidade da chuva também influencia as taxas de infiltração, reduzindo-as a partir do teor de saturação da umidade do solo, e no escoamento superficial, quando a capacidade de

¹ GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Inventário florestal contínuo. Disponível em www.aquaonline.com.br. Acesso em 10 set. 2002.

² ODUM E. P. *Fundamentals of ecology*. 3 ed. Philadelphia: W. B. Saunders, 1971. 474 p.

³ AZEVEDO, E. C.; COSTA, L. M.; FONTES, L. E. F. & PETERNELLI, L. A. Características físicas e químicas do deflúvio de microbacias hidrográficas cobertas com mata nativa, pastagem e *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, v. 9, n. 4, p. 559-571, 1995.

⁴ SHARPLEY, A. N. & HALVORSON, A. D. The management of soil phosphorus availability and its transport in agricultural runoff. p. 1-84. In: LAL, R. (ed.) *Soil Processes and Water Quality*. Advances in Soil Science, Boca Raton, FL.: Lewis Publishers, 1994.

⁵ LINS, M.; BRAMORSKI, J. & PINHEIRO, A. *et al.* *Influência da cobertura do solo e do comprimento da vertente no transporte de sedimento*. Caracterização quali-quantitativa da produção de sedimentos. 1. ed. Santa Maria: ABRH UFSM, 2001. p. 11-22.

⁶ LAU, S. S. S. The significance of temporal variability in sediment quality for contamination assessment in a coastal wetland. *Wat. Res.*, vol. 34, p. 387-394, 2000.

⁷ ALMEIDA, S. G.; PETERSEN, P. & CORDEIRO, A. *Crise socioambiental e conversão ecológica da agricultura brasileira: subsídios à formação de diretrizes ambientais para o desenvolvimento agrícola*. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2001. 122 p.

infiltração é reduzida.⁵ Isso acelera o escoamento superficial e a erosão hídrica, levando a uma rápida e intensa degradação do solo. Os materiais erodidos, principalmente argila e matéria orgânica, conduzem moléculas de agrotóxicos e fertilizantes para os mananciais d'água. A contaminação de sedimentos em suspensão de rios é alta, mas os contaminantes parecem estar ligados fortemente nos sedimentos, com baixa solubilidade, podendo ser potencialmente liberados, causando nova contaminação mesmo quando se tem uma diminuição na entrada de poluentes por deflúvio superficial.⁶ A erosão do solo traz como conseqüências a perda da capacidade produtiva, a diminuição da quantidade de água disponível na superfície, a contaminação da água de escoamento, bem como o assoreamento de rios e reservatórios. Isso aumenta os riscos de grandes alagamentos e compromete a produção de energia pelas hidrelétricas.⁷

A agricultura ao longo dos anos tornou-se uma grande fonte de poluição difusa. O uso do solo, sem respeitar sua capacidade de suporte, desorganiza os sistemas naturais. A simplificação da produção, via adoção de pacotes tecnológicos, gera um agroecossistema frágil e não sustentável. O intenso revolvimento do solo e o uso indiscriminado de agrotóxicos e fertilizantes são importantes fontes de poluição. Esses agrotóxicos são produtos de origem industrial que têm finalidade de eliminar organismos nas estruturas dos ecossistemas alterados pelo homem ou eliminar organismos considerados parasitas, mas que acabam tendo um efeito em organismos não alvo. Já os fertilizantes são usados com a finalidade de enriquecer o meio com nutrientes, para facilitar o desenvolvimento das plantas introduzidas em detrimento das plantas nativas.

As águas rurais também podem ser contaminadas pelos dejetos humanos e de animais que são lançados a céu aberto pela falta de saneamento básico, tornando-se constantes fontes de poluição. A falta de saneamento básico no meio rural, independente da forma de ocupação, é um fator preocupante por se tratar de constante lançamento de poluentes no meio ambiente. Em águas superficiais com vegetação aquática nos dão um indicativo visual de contaminação e não de valor estético.

Agricultura atual e seus reflexos na qualidade da água

No Rio Grande do Sul existem vários sistemas de produção, cada um com seus diferentes tipos de poluentes. Na região do Planalto, destaca-se a produção de grãos de sequeiro (soja, trigo, milho, cevada etc.) e na Metade Sul,

tem-se o sistema de produção de arroz inundado. Os dois sistemas usam intensamente agrotóxicos e fertilizantes. Nas regiões de pequenas propriedades, em especial nas Encostas Basálticas e no Escudo Cristalino, as maiores fontes de contaminação são provenientes das lavouras de fumo, da fruticultura e dos sistemas de criação de aves e suínos em confinamento.

O principal sistema de produção do Estado é o cultivo de grãos de sequeiro. A área de cultura de sequeiro ocupa aproximadamente 5 milhões de hectares, sendo que 60% dessa área é cultivada sob sistema plantio direto (SPD).⁸ Esse sistema foi adotado para diminuir os custos de produção e ao mesmo tempo proporcionar proteção ao solo e diminuir o arraste de partículas. O SPD preconiza a manutenção de cobertura do solo, durante todo ano, através da rotação de culturas e pela manutenção de palhada. A cobertura é responsável pela diminuição da oscilação da temperatura na camada superficial, pela manutenção de maiores teores de umidade e, principalmente, por dissipar a energia cinética da gota da chuva, que é responsável pela desagregação do solo. Todos esses fatores contribuem para maior infiltração da água e diminuição do escoamento superficial e da erosão, fazendo chegar menor quantidade de sedimento nos rios e reservatórios. O impacto positivo pode ser visualizado pela mudança na coloração da água dos principais rios, especialmente na região do Planalto Médio. No entanto, o SPD mantém o mesmo pacote tecnológico da agricultura moderna, recomendando grandes quantidades de agroquímicos. A capacidade de retenção de nutrientes e agrotóxicos da camada superficial do solo pode e é saturada rapidamente, facilitando seu arraste com a água que sai do sistema, atingindo as vias de drenagem.

O segundo sistema de produção, o cultivo de arroz inundado, representa aproximadamente um milhão de hectares no Rio Grande do Sul.⁹ Como se trata de áreas planas, não há problemas de erosão. No entanto, é utilizada uma lâmina de água durante todo ou grande parte do ciclo da cultura e a água retorna aos sistemas de drenagem naturais, carregando consigo os compostos usados. Tem-se observado que a água que sai da lavoura contém vários tipos de agrotóxicos¹⁰, e altos teores de fósforo e nitrato¹¹, contaminando os mananciais d'água e causando inúmeros problemas em organismos não alvo.

O terceiro sistema de produção de suma importância para o Estado e que contribui para a contaminação da água é produção animal em sistema de integração. A criação de

⁸ INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em www.ibge.gov.br. Acesso em: 10 set. 2002.

⁹ INSTITUTO RIO GRANDE DO ARROZ. Disponível em www.irga.rs.gov.br. Acesso em: 20 mai. 2003.

¹⁰ MIRON, D.; VIEIRA, V. P. & MACHADO, S. L. O. *et al.* Crescimento, sobrevivência e avaliações metabólicas em alevinos de jundiá (*Rhamdia quelen*). In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DO ARROZ, 1, 2002, Florianópolis. *Anais...* p. 662-665.

¹¹ WEBER L. *Consumo e qualidade da água e cultivares de arroz irrigado em diferentes sistemas de cultivos*. 2000. (Dissertação de Mestrado – PGA-Agronomia/UFSM).

suínos e aves na América Latina, especialmente no Brasil, intensificou-se nos últimos anos, devido à política de transferência da produção dessas criações dos EUA e da Comunidade Européia para os países considerados “emergentes”. Essa estratégia passou a ser adotada, principalmente, pela existência de mão-de-obra a baixo custo e a alta contaminação que essas criações causaram ao meio ambiente desses países, principalmente nas águas superficiais e subsuperficiais.

Esse sistema de produção necessita de grande quantidade de mão-de-obra, que no meio rural está disponível em maior número nas pequenas propriedades familiares. No Rio Grande do Sul e Santa Catarina essas propriedades estão localizadas em solos marginais, declivosos e com muitos problemas de manutenção da capacidade produtiva. São propriedades muito pequenas e com graves problemas de erosão e armazenamento de água. A produção de alimentos vegetais era a base dessas propriedades. Com a estagnação da renda dos consumidores, os preços dos produtos da alimentação básica ficaram muito baixos e, conseqüentemente, diminuiu a renda dos agricultores. Essa atividade é vista, pelos órgãos públicos e pelos agricultores, como uma forma de manutenção das pessoas no meio rural. Assim, há uma grande concentração de produtores avícolas e suínícolas no Oeste e Sul Catarinense e no Vale do Taquari, no Vale do Uruguai, na região de Marau, no Rio Grande do Sul, alterando consideravelmente a matriz produtiva.

A absorção da mão-de-obra na criação de animais diminuiu a área cultivada nas propriedades, com aumento nas áreas revegetadas de floresta natural. Nos últimos anos, tem-se observado uma recuperação lenta da vegetação natural, atingindo 17,5% em 2001.¹² Também foi determinante nesse processo o abandono das áreas mais difíceis de serem cultivadas, o maior rigor da legislação e a conscientização dos proprietários. Se, por um lado, o aumento nas áreas de vegetação permanente tem melhorado a infiltração da água e a regularização da vazão dos rios, diminuindo o transporte de sedimentos, por outro, a concentração de animais em pequenas áreas tem gerado um excedente de dejetos nas propriedades. Esse problema se agrava quando se tem uma má utilização dos dejetos em sistemas de adubação, usando altas dosagens em áreas com relevo muito declivoso, causando contaminação de fontes e poços superficiais. Como exemplo, em 1.430 amostras de água coletada no meio rural do Oeste e Sul Catarinense, 85,5% revelaram a ocorrência de coliformes totais e fecais.¹³

¹² GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. *Op. cit.*

¹³ BALDISSERA I. T. Poluição por dejetos de suínos no oeste catarinense. *Pesquisa Agropecuária Catarinense*. v. 15, n. 1, p. 11-12, 2002.

Os elementos químicos presentes nas rações, dentre os quais destacam-se o fósforo, o nitrogênio, o zinco e o cobre, são eliminados pelas fezes e urina dos animais. Quando os dejetos são adicionados ao solo, elevam-se suas biodisponibilidades. A água que sai do solo é enriquecida com esses elementos, provocando o desenvolvimento de algas ou outras plantas aquáticas indesejáveis em reservatórios ou águas paradas, comprometendo a fauna e flora aquáticas. O nitrato, por ser um íon muito móvel no solo, geralmente ocorre em baixos teores em águas superficiais, mas tem sua biodisponibilidade aumentada em águas profundas, e quando ingerido juntamente com água de consumo, pode causar efeitos adversos à saúde humana.

Atualmente, o custo para tratamento dos dejetos ou para o transporte até as glebas de terras que ainda são passíveis de receber dejetos é muito elevado e está a cargo dos produtores. Por estas razões, abrem as esterqueiras nos períodos de chuva, lançando os dejetos de suínos diretamente nos rios, aumentando a carga orgânica e conseqüentemente a demanda por oxigênio. A utilização do solo como um meio de descarte deve ser monitorada, tendo em vista que cada gleba possui uma capacidade máxima de retenção dos contaminantes. Deve-se fazer uma adequação das doses aplicadas com a resposta das plantas e com as taxas aceitáveis de perdas. No caso do fósforo, devem-se procurar solos com alta capacidade de adsorção e cultivar plantas com alta habilidade de absorção e exportação, e ainda, manejar o solo corretamente, evitando a perda de solo e água do sistema.¹⁴

Outro sistema de produção com grande potencial poluidor é a fumicultura, a qual conta com mais de 170 mil produtores no Sul do Brasil, onde aproximadamente 86% das propriedades têm menos de 20 ha.¹⁵ Esses produtores são dependentes de um pacote tecnológico que preconiza o uso maciço de agrotóxicos e fertilizantes.

Estudo de caso de contaminação de águas superficiais de uma microbacia fumageira

Esse estudo foi realizado em uma microbacia hidrográfica (MBH) situada no Distrito de Nova Boêmia, município de Agudo, Rio Grande do Sul. Trata-se de uma microbacia com 70% da renda bruta dos agricultores provenientes da lavoura fumageira, dependente essencialmente do pacote tecnológico das empresas integradoras. Monitorou-se a qualidade da água de todas as fontes (35) utilizadas pelos agricultores e quatro pontos do arroio principal da MBH.

¹⁴ HATFIELD. J. L. Sustainable agriculture: impacts on nonpoint pollution. *Water. Science Technology*, v. 28, n. 3-5, p. 415-424, 1993.

¹⁵ ASSOCIAÇÃO DOS FUMICULTORES DO BRASIL. Disponível em www.afubra.com.br. Acesso em: 15 jun 2003.

A água de todas as fontes da microbacia, analisada no período de janeiro a agosto de 2002, manteve-se fora dos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde, principalmente pela presença de coliformes totais (tabela 1)¹⁶. A concentração de amônia em alguns casos ultrapassou o limite máximo permitido, podendo causar problemas para a saúde humana e para a vida aquática. A proteção física das fontes, construída pelos agricultores, ou a sua posição na paisagem não impediram a entrada de poluentes e não tiveram relação com os parâmetros de qualidade da água. Apenas a fonte drenada, construída com supervisão técnica, apresentou água em condições de consumo. Além da contaminação microbiológica e de alguns elementos químicos, foi constatada a presença do princípio ativo clorpirifós (tabela 2) na água de três das quatro fontes, analisadas logo após o transplante do fumo, e nas quatro fontes após a capação do fumo. Não foram detectadas as presenças dos princípios ativos do fungicida iprodione, dos herbicidas atrazina, simazina e clomazone, do regulador de crescimento cujos níveis de detecção são 10; 0,100; 0,100; 0,250 e 0,075 $\mu\text{g l}^{-1}$, respectivamente.

¹⁶ BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n.º 1.469 de 2 de janeiro de 2001. Brasília, 2001. 20 p.

Tabela 1: Densidade de coliformes totais e fecais e de amônia na água das fontes utilizadas pelos agricultores da microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Nova Boêmia, Agudo (RS)

Grupo	Sub-grupo	Padrão	12/01	14/02	12/03	24/04	20/05	23/06	13/07	24/08	Média
coliformes totais NMP 100 ml ⁻¹											
A*	A1	0***	73	151	111	79	220	30	370	2784	477
	A2		53	174	40	125	101	36	4694	3617	1105
B**	B1		85	114	77	47	75	12	3506	1649	696
	B2		84	113	123	194	180	45	8341	1919	1375
C			8	16	40	10	40	0	16	21	20
coliformes fecais NMP 100 ml ⁻¹											
A	A1	0***	7	2	4	1	18	2	2	78	14
	A2		0	4	1	2	5	2	2	16	4
B	B1		1	1	1	1	0	0	0	2	1
	B2		12	3	3	4	5	1	2	45	9
C			0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amônia, mg l ⁻¹											
A	A1	1,5***	0,8	1,2	0,5	0,7	0,1	0,8	1,1	0,4	0,7
	A2		0,8	1,4	0,7	0,8	0,2	0,8	0,4	0,7	0,7
B	B1		0,6	1,3	0,4	0,6	0,1	2,4	0,3	2,10	1,0
	B2		0,8	1,4	0,6	0,9	0,1	0,9	0,2	0,9	0,8
C			0,6	1,5	0,3	0,5	0,0	2,7	0,3	0,8	0,8

A* = Fontes localadas nas áreas baixas. B** = Fontes localadas nas áreas altas. 1 = Sem proteção. 2 = Com proteção. C = Fonte drenada. ***Portaria do Ministério da Saúde n.º 1.469, de 29 de dezembro de 2000

A contaminação da água do arroio é evidenciada, principalmente, nos pulsos de inundação, que são muito agressivos e levam consigo todos os contaminantes que se acumulam nas margens e que chegam por deflúvio superficial. Os níveis de coliformes fecais e totais em alguns meses ultrapassaram o limite estabelecido pela Resolução n° 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)¹⁷, conforme tabela 3. A variabilidade nos valores de contaminantes microbiológicos entre os pontos de coleta e épocas do ano é causada pelo revolvimento do leito do rio e entrada de contaminantes de forma pontual ou difusa. A menor contaminação foi observada na nascente do arroio (ponto 1) e após a água ter passado por trecho de 1500 metros de mata ciliar madura (ponto 4).

¹⁷ BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Humano e Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 20 de 10 de junho de 1986. Brasília, 1986. 92 p.

Tabela 2: Concentração de clorpirifós em amostras de água de fontes utilizadas pelos agricultores da microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Nova Boêmia, Agudo (RS)

Época de coleta	Fonte 1	Fonte 2	Fonte 3	Fonte 4
	$\mu\text{g l}^{-1}$			
Antes do transplante do fumo	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Após o transplante do fumo	n. d.	0,104	0,092	0,084
Após a capação do fumo	0,116	0,116	0,143	0,144

n. d. (menor que o limite de detecção 0,075 $\mu\text{g l}^{-1}$)

Tabela 3: Densidade de coliformes totais e coliformes fecais da água do Arroio Lino, Nova Boêmia, Agudo (RS)

Parâmetro	Padrão	Ponto	12/01	14/02	12/03	24/04	20/05	23/06	13/07	24/08	Média
		***	NMP 100 ml ⁻¹								
Coliformes Totais	1000**	1	40	150	94	70	88	23	780	453	212
		2	94	353	268	133	119	327	16	1690	375
		3	88	119	268	302	669	2305	1275	780	713
		4	34	40	133	268	268	327	49	492	201
Coliformes Fecais	200**	1	0	2	2	2	8	5	16	78	14
		2	3	18	11	64	11	7	10	692	102
		3	19	11	33	22	33	2	0	488	76
		4	3	1	81	22	22	10	2	107	31

*Classe 1 - limite para uso em irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas que se desenvolvem rente ao solo e para que sejam consumidas cruas.

**Classe 1 - limite para outros usos (Resolução n° 20 do CONAMA, 1986).

***Ponto: 1 - Vertente da sanga secundária

2 - Mediana da sanga principal

3 - Junção de duas sangas

4 - Após passagem por aproximadamente 1500 m por mata ciliar madura, abaixo do ponto 3.

Os altos valores de fósforo encontrados na água do arroio (tabela 4) são condizentes com a alta disponibilidade desse elemento no solo. Em condições de represamento, esse enriquecimento de fósforo na água favorece o crescimento excessivo de algas e em consequência processos biológicos como o da eutrofização.¹⁸ Em dois levantamentos da caracterização física, química e biológica dos solos da MBH, constatou-se que mais de 90% das glebas monitoradas apresentaram teores de fósforo muito altos, com valores variando de 30 a 70 mg dm⁻³.¹⁹

Tabela 4: Teores de fósforo total, nitrato, cobre e zinco na água do Arroio Lino, Nova Boêmia, Agudo (RS)

Parâmetro	Padrão*	Ponto	12/01	14/02	12/03	24/04	20/05	23/06	13/07	24/08	Média
mg l ⁻¹											
Fósforo Total	0,025	1	0,06	0,09	0,15	0,07	0,20	0,20	0,21	0,24	0,15
		2	0,13	0,12	0,20	0,12	0,20	0,31	0,22	0,34	0,21
		3	0,14	0,13	0,22	0,11	0,20	0,23	0,20	0,14	0,17
		4	0,11	0,12	0,11	0,09	0,19	0,21	0,23	0,11	0,15
Nitrato	10	1	0,20	1,19	0,73	0,48	0,70	1,46	0,63	0,84	0,78
		2	0,60	1,19	0,46	0,60	0,49	0,40	1,05	1,54	0,79
		3	0,33	1,59	0,07	0,73	1,12	1,20	0,70	2,23	1,00
		4	0,60	1,32	0,20	1,26	1,19	2,13	1,05	2,37	1,27
Cobre	0,02	1	0,00	0,00	0,25	0,16	0,73	0,00	0,10	0,00	0,16
		2	0,00	0,00	0,35	0,20	0,71	0,00	0,07	0,00	0,17
		3	0,00	0,00	0,64	0,25	0,70	0,00	0,37	0,00	0,25
		4	0,00	0,00	0,65	0,33	0,75	0,00	1,07	0,00	0,35
Zinco	2 x 10 ⁻⁶	1	0,00	0,01	0,07	0,01	0,03	0,03	0,07	0,03	0,03
		2	0,00	0,14	0,09	0,03	0,06	0,02	0,00	0,05	0,06
		3	0,00	0,14	0,06	0,02	0,10	0,02	0,00	0,04	0,05
		4	0,00	0,15	0,06	0,00	0,04	0,00	0,01	0,04	0,04

* Classe 1 – limites segundo Resolução nº 20 do CONAMA (1986)

Os teores de nitrato na água do arroio sempre se mantiveram abaixo do limite estabelecido para águas de classe 1, pela resolução 20 do CONAMA (10 mg l⁻¹). No entanto, concentrações acima de 0,2 mg l⁻¹ de nitrato podem favorecer a proliferação de plantas aquáticas, e se a água for represada, poderão afetar o nível de oxigênio dissolvido, a temperatura e a passagem de luz, com reflexos negativos na vida aquática.²⁰

Nos meses de março, abril, maio e julho foi constatada a presença de cobre na água dos quatro pontos amostrados (tabela 4), sendo que a concentração aumentou da cabeceira à foz do arroio. Esses valores foram muito superiores

¹⁸ SPERLING, M. V. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2 ed. Belo Horizonte: DESA, 1996. 243 p.

¹⁹ RHEINHEIMER, D. S. *Caracterização física, química e biológica dos solos na microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Nova Boêmia, Agudo – RS*. Santa Maria: edição do autor, 2001. 115 p.

²⁰ EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Indicadores da qualidade da água*. Disponível em www.embrapa.com.br. Acesso em 28 out. 2002.

ao limite estabelecido pelo CONAMA, ultrapassando em 36 vezes o valor máximo permitido. Similarmente, verificou-se a presença de concentrações de zinco na água acima do valor máximo permitido, exceto no mês de janeiro e em quatro outras amostras (tabela 4). Os valores estabelecidos pelo CONAMA se referem aos elementos livres. No entanto, as análises efetuadas nesse trabalho são dos teores totais. Como há presença de carbono orgânico solúvel na água e, também, de argilominerais em suspensão, a maior parte desses metais está adsorvida ou complexada, uma vez que apresentam alta afinidade, mantendo baixos teores bio-disponíveis.²¹

O princípio ativo clorpirifós (tabela 5) também foi detectado na água do arroio, principalmente após a capação do fumo. Nem a portaria nº 1469 do Ministério da Saúde, nem a Resolução nº 20 do CONAMA propõem limites para esse inseticida. No entanto, a Diretriz 80/778 da Comunidade Econômica Européia estabelece o limite de 0,100 µg l⁻¹ de concentração individual de qualquer agrotóxico, o limite de 0,500 µg l⁻¹ de total de princípio ativo na água destinada ao consumo humano e um limite de 1 a 3 µg l⁻¹ de concentração total de princípio ativo na água de superfície.²²

Tabela 5: Concentração de agrotóxicos clorpirifós em amostras de água do Arroio Lino, Nova Boêmia, Agudo (RS)

Época de coleta	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
	clorpitifós, µg l ⁻¹			
Antes do transplante do fumo	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Após o transplante do fumo	n. d.	0,075	n. d.	0,092
Após a capação do fumo	0,083	0,110	n. d.	0,132

n. d. (menor que o limite de detecção 0,075 µg l⁻¹)

A baixa qualidade da água da MBH do Arroio Lino, especialmente pela presença de agrotóxicos, alta concentração de fósforo e contaminação por coliformes, decorrem da falta de planejamento paisagístico-ambiental do espaço rural no âmbito da MBH, pelo uso do solo fora de sua capacidade de aptidão, o que é agravado pelo cultivo convencional, e pela relação de dependência dos produtores ao pacote tecnológico fornecido pelas empresas fumageiras. É necessário que, em consonância com as organizações governamentais e não-governamentais, proponham-se alternativas mais sustentáveis (econômicas, ambiental e social), pois as práticas desenvolvidas na fumicultura tornam o ambiente insalubre para uma boa qualidade de vida.

²¹ STUMM, W. & MORGAN J. J. *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. 3 ed. New York: John Wiley & Son, 1996. 1022 p.

²² EUROPEAN ECONOMIC COMMUNITY. *Drinking water directive (80/778/EEC)*, n. L229/11-29, Brussels, 1980.

Desse modo, pelo menos, quatro grandes sistemas de produção (grãos de sequeiro, arroz inundado, integração para a criação de suínos e aves e para a produção de fumo) estão causando grande poluição aos mananciais hídricos no Rio Grande do Sul. Como resultado, a maioria das águas superficiais está contaminada com coliformes fecais, elementos químicos (especialmente, fosfato e nitrato) e resíduos de agrotóxicos. O problema da contaminação nos seres humano dificilmente acontece por ingestão maciça de algum elemento que seja prejudicial à manutenção da vida, em razão da rejeição que ocorre devido ao mau gosto ou mau cheiro que os contaminantes deixam na água. Os maiores problemas acontecem por ingestão de microdoses ao longo dos anos, cujos prejuízos à saúde humana são pouco conhecidos. Sendo assim, as regiões contaminadas merecem maior atenção, devendo ser uma preocupação não apenas dos produtores, mas de toda a sociedade. Isto porque a amplitude do problema envolve todo um ecossistema, sinalizando para o comprometimento da qualidade da água também para o meio urbano, pois os processos de tratamento convencionais podem não eliminar alguns contaminantes.

Manejo dos recursos naturais com possibilidade de melhoria na qualidade da água

O progresso científico e tecnológico atual oferece, muito mais do que no passado, a possibilidade de promover rápidas alterações nos ecossistemas agrícolas. A alternativa a ser buscada é a que apresente uma solução efetiva para os problemas de desequilíbrio ecológico, atacando as causas e não os efeitos da degradação dos agroecossistemas. Para tanto, será preciso inverter a orientação das políticas de desenvolvimento rural e da pesquisa agrônômica, no sentido da concepção de manejar os sistemas de produção agrícolas de uma forma mais sustentável. Trata-se da mudança de matriz tecnológica baseada na dependência dos insumos externos e da intensificação do uso dos recursos naturais, para uma agricultura de base mais ecológica, que busque equacionar os problemas decorrentes da relação Homem e Natureza.²³

A concepção da agricultura sustentável, do ponto de vista ecológico, deve buscar a convivência de práticas agrícolas e de preservação ambiental da paisagem, especialmente da biodiversidade e dos mananciais de água. Isso diminuirá os impactos negativos da agricultura na qualidade de águas superficiais e não superficiais. O uso adequado dos recursos naturais num agroecossistema deve estar fundamentado

²³ ROMEIRO, A. R. *Meio ambiente e dinâmica de inovações na agricultura*. São Paulo: Annablume, 1998. 272 p.

na administração integrada das áreas de lavoura e de preservação ambiental, através de práticas que visem à diminuição do transporte de sedimentos e água para os sistemas aquáticos.

A possibilidade de recuperação da qualidade da água no meio rural passa pela adoção de práticas coletivas, utilizando a microbacia como unidade espacial de planejamento, conferindo uma dimensão mais integrada às diferentes atividades desenvolvidas pelos agricultores, procurando sempre a sustentabilidade dos agroecossistemas. No Rio Grande do Sul, os programas RS-Rural e o Pro-Guaíba são bons exemplo de como entender e trabalhar o espaço agrário a partir de uma visão sistêmica do meio rural. Também, é imprescindível a participação das indústrias fumageiras, através da melhor distribuição dos lucros com os produtores, da criação de incentivos à produção de fumo com menor impacto ao meio ambiente e da responsabilidade pelos danos ambientais e na saúde pública.

Não menos importantes são as ações individuais que cada produtor pode adotar em sua propriedade, de uma forma simples e barata, capaz de trazer ótimos benefícios na melhoria da qualidade da água no meio rural, tais como: manutenção do solo constantemente coberto, proteção das fontes de água superficial, preservação das matas ciliares, utilização mínima de agrotóxicos, maximização da reciclagem dos dejetos animais, seleção do lixo doméstico, tratamento dos dejetos domésticos de forma adequada, melhoria e organização da propriedade sob o ponto de vista das instalações e da paisagem, entre outras.

Considerações finais

A situação da qualidade da água no meio rural é preocupante, pela diversidade e quantidade de poluentes que estão chegando aos mananciais d'água e pela falta de conhecimento de como esses poluentes, por sua formação original ou substâncias de sua decomposição, podem ser prejudiciais à manutenção da vida.

A água no meio rural não é do interesse apenas dos agricultores e sim de toda a população, uma vez que se trata de um bem público. Através de seu ciclo, pode ser foco de contaminação em vários setores, mesmo passando por prévio tratamento.

A recuperação e o manejo dos ecossistemas, como as florestas e os campos nativos, tão importantes para a qualidade da água, devem ter estudos e financiamentos prioritizados, com ênfase no controle específico da poluição de fontes pontuais e não pontuais.

Danilo dos Santos Rheinheimer é engenheiro agrônomo, doutor em Solos e professor adjunto do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

danilo@ccr.ufsm.br

Celso Silva Gonçalves é engenheiro agrônomo e doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

celso@mail.ufsm.br

João Batista Rossetto Pellegrini é engenheiro agrônomo, mes-trando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

joaopellegrini@mail.ufsm.br

LAVOURA ARROZEIRA E RECURSOS HÍDRICOS

Sérgio Luiz de Oliveira Machado

Enio Marchezan

Silvio Carlos Cazarotto Villa

Edinaldo Rabaioli Camargo

A água é um recurso essencial para a sustentação da vida, do meio ambiente e do conjunto de atividades que movem a economia de um país, com destaque para a agricultura. No entanto, cada vez mais se reconhece a crescente falta de água para a irrigação agrícola, sem contar a demanda para usos industriais e para o abastecimento público. A escassez também se explica por sua disponibilidade irregular, variando marcadamente ao longo do ano, entre os anos e de região para região. Esses fatores tornam cada vez mais difícil a utilização contínua e indefinida dos recursos hídricos e exigem novas estratégias para a sua preservação. Entre elas, as que consistem em estabelecer critérios de uso para todas as atividades produtivas, incluindo a lavoura arrozeira, a partir de informações e estudos que contribuam para o estabelecimento de culturas planejadas e que conservem os recursos naturais. O desenvolvimento atual da orizicultura depende de procedimentos tecnológicos e econômicos para otimizar o uso da água, melhorar a eficiência da sua aplicação e proporcionar ganhos de produtividade, baseados na resposta da cultura à aplicação de insumos, sem, contudo, comprometer a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos e do ecossistema.

A lavoura arrozeira e o consumo de água

O Brasil é o país mais rico em água potável, com cerca de 8% das reservas mundiais, concentrando 18% do potencial de água da terra.¹ Apesar da situação aparentemente favorável, verifica-se uma enorme desigualdade regional na distribuição dos recursos hídricos, quando se comparam a Bacia Amazônica com o Nordeste e os conflitos de uso nas regiões Sul e Sudeste. No Rio Grande do Sul, o consumo de água nas lavouras de arroz vem diminuindo ao longo do tempo, mas ainda se encontra em patamares elevados. Em condições adequadas de solo, relevo e manejo de água, a eficiência da irrigação atinge valores em torno de 60%. No entanto, há citações de que a eficiência da irrigação situa-se em torno de 45%. Como a água utilizada para a irrigação é também disputada por outras atividades agrícolas, industriais e de abastecimento público, torna-se alvo de conflitos. Minimizar os impactos ambientais causados pela utilização de insumos agrícolas é essencial para reduzir os conflitos potenciais, especialmente quanto ao uso da água. Outro desafio consiste em dimensionar corretamente os impactos ambientais causados para orizicultura irrigada, a partir de indicadores que permitam avaliar a atividade em separado das demais fontes de contaminação que ocorrem nas bacias hidrográficas.

O entendimento dos processos de retenção, transporte e transformação é indispensável para direcionar trabalhos de monitoramento, antevendo os impactos potenciais que essas ações planejadas possam provocar no ambiente. Entretanto, o que se deve buscar em termos de sustentabilidade, é que o uso de determinados insumos não comprometa o ambiente a longo prazo. No caso dos defensivos agrícolas, considerando os processos de transporte entre os compartimentos, a lixiviação e o escoamento superficial merecem destaque. O escoamento superficial favorece a contaminação das águas de superfície, com o produto sendo arrastado para fora da lavoura, adsorvido ao sedimento ou em solução. Portanto, dependendo do manejo da água adotado pelos produtores e da precipitação pluvial, existe o risco de que resíduos destes compostos sejam carreados para fora da lavoura, contaminando mananciais hídricos.

A eficiência do uso da água de irrigação integra vários componentes, considerando-se, entre outros, as perdas que ocorrem nos reservatórios, na sua captação, condução e distribuição. A reutilização da água também deve ser implementada como componente da sustentabilidade da lavoura arrozeira. Uma irrigação que procure minimizar perdas por

¹ MAIA NETO, R. F. Água para o desenvolvimento sustentável. *A água em revista*, Belo Horizonte, n. 9, p. 21-32, 1997.

escoamento superficial e um sistema de recalque corretamente dimensionado serão fatores importantes na busca desta racionalização. Sendo assim, a eficiência do uso da água deve ser aumentada, principalmente através da elevação da produtividade e de ajustes dos sistemas de estabelecimento da lavoura. Os métodos e os equipamentos de irrigação podem e devem ser aprimorados visando reduzir as perdas com ganhos de eficiência do uso, principalmente em regiões com baixa disponibilidade de água.

Ainda no aspecto quantitativo, haverá restrições no uso de água quando entrarem em vigor os planos de bacia, instituídos pela Lei Estadual nº 10.350/94, que criou a Política e o Sistema de Recursos Hídricos no Rio Grande do Sul, e que determinará a quantidade de água dos rios passível de utilização. A outorga e a cobrança pelo uso da água podem tornar-se instrumentos eficazes para a racionalização e conservação do recurso, além de incentivar a adoção de tecnologias dotadas de maior eficiência produtiva. Associada ao licenciamento ambiental, prevê-se a distribuição da água entre os usuários, considerando-se os seus múltiplos usos e incentivando o armazenamento em períodos de maior precipitação pluvial, bem como a recuperação da sua qualidade.

Apesar de abundante no Estado, a disponibilidade de água para o cultivo do arroz é fator limitante, na medida em que, no período de maior demanda, o nível dos rios e reservatórios experimenta considerável redução. Há escassez localizada de água em algumas regiões, pois em determinados rios, como o Vacacaí, mais de 90% da água destinam-se à irrigação do arroz. Em anos com chuvas normais, no período de maior demanda de água pela cultura, o nível dos reservatórios e de rios baixa significativamente, trazendo conseqüências para o ambiente e insegurança para os produtores. Dentre as diversas alternativas de manejo visando reduzir o consumo de água, merecem destaque a adoção da sistematização do terreno viabilizando o uso de lâminas de água mais baixas.

Nesse sentido, cresce a demanda por sistemas de estabelecimento da lavoura que proporcionem maior economia de água sem afetar a produtividade do arroz (tabela 1). As possíveis diferenças no consumo de água decorrem de alterações nas características físicas e hidráulicas do solo nos sistemas pré-germinado e no transplante de mudas. Em ambos os casos ocorre desestruturação da camada superficial do solo, com selamento dos poros e redução da taxa de infiltração, devido ao trabalho de preparo do solo que algumas vezes é realizado em presença da lâmina de água. Os desafios são inúmeros,

- ² MOTA, F. S.; ALVES, E. G. P. & BECKER, C. T. Informação climática para planejamento da necessidade de água para irrigação do arroz no Rio Grande do Sul. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v. 43, n. 392, p. 3-6, 1990.
- ³ BELTRAME, L. S. & LOUSADA, J. A. Water use rationalization in rice irrigation by flooding. *In: INTERNATIONAL SEMINAR ON EFFICIENT WATER USE*, 1., 1991. Cidade do México. *Anais...* Cidade do México, 1991. p. 337-345.
- ⁴ BHUIYAN, S. I.; SATTAR, M. A. & KHAN, M. A. K. Improving water use efficiency in rice irrigation through wet-seedling. *Irrigation Science*, New York, v. 16, p. 1-8, 1995.
- ⁵ SACHET, Z. P. *Consumo de água de duas cultivares de arroz (Oryza sativa L.) em três tratamentos de irrigação*. 1977. 96f. Dissertação (Mestrado em Hidrologia Aplicada: Irrigação e Drenagem) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1977.
- ⁶ TOESCHER, C. F.; RIGHES, A. A. & CARLESO, R. Volume de água aplicada e produtividade do arroz sob diferentes métodos de irrigação. *Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia*, Uruguaiana, v. 4, n.1, p. 75-79, 1997.
- ⁷ MACEDO, V. R. M.; CORRÊA, N. I.; LOPES, M. S. *et al.* Rendimento de grãos, características físicas e consumo da água num solo sob sistemas de cultivo de arroz irrigado. *In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO*, 20., 1997, Balneário Camboriú. *Anais...* Itajaí: EPAGRI, 1997. p. 184-186.
- ⁸ MARCOLIN, E.; CORREA, N.; LOPES, M. S. *et al.* Determinação do consumo de água em três sistemas de cultivo de arroz irrigado. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO*, 1.; REUNIÃO DA CULTURA

porém três deles revelam-se fundamentais: a garantia do aporte regular de água para a orizicultura irrigada, a racionalização do uso e o controle dos efeitos adversos no ambiente.

Tabela 1: Consumo de água em diferentes sistemas de estabelecimento da lavoura de arroz irrigado

Sistemas de implantação	Consumo (m ³ ha ⁻¹)	Referências
Convencional	6.100 a 7.710	Mota <i>et al.</i> , 1990 ²
Convencional	13.400	Beltrame & Lousada, 1991 ³
Convencional	12.790	Bhuiyan <i>et al.</i> , 1995 ⁴
Convencional (água corrente)	17.972	Sachet, 1977 ⁵
Convencional (lâmina estagnada)	8.639	Sachet, 1977 ⁵
Convencional (lâmina rasa)	6.497	Sachet, 1977 ⁵
Convencional (inundação contínua)	11.175	Toeschler <i>et al.</i> , 1997 ⁶
Convencional (inundação intermitente)	8.764	Toeschler <i>et al.</i> , 1997 ⁶
Convencional	6.145	Macedo <i>et al.</i> , 1997 ⁷
Convencional	7.415	Marcolin <i>et al.</i> , 1999 ⁸
Convencional	11.605	Weber, 2000 ⁹
Convencional	7.856	Marcolin <i>et al.</i> , 2001 ¹⁰
Convencional	5.487 a 5.998	Machado <i>et al.</i> , 2002 ¹¹
Cultivo mínimo	12.193	Weber, 2000 ⁹
Cultivo mínimo	5.374 a 5.431	Machado <i>et al.</i> , 2002 ¹¹
Plantio direto	6.247	Macedo <i>et al.</i> , 1997 ⁷
Plantio direto	6.945	Marcolin <i>et al.</i> , 1999 ⁸
Plantio direto	7.145	Marcolin <i>et al.</i> , 2001 ¹⁰
Pré-germinado	5.700 a 7.900	Eberhardt, 1994 ¹²
Pré-germinado	6.145	Macedo <i>et al.</i> , 1997 ⁷
Pré-germinado	7.233	Marcolin <i>et al.</i> , 1999 ⁸
Pré-germinado	11.989	Weber, 2000 ⁹
Pré-germinado	7.881	Marcolin <i>et al.</i> , 2001 ¹⁰
Pré-germinado	5.852 a 6.216	Machado <i>et al.</i> , 2002 ¹¹
Mix de pré-germinado	11.788	Weber, 2000 ⁹
Mix de pré-germinado	5.716 a 6.308	Machado <i>et al.</i> , 2002 ¹¹
Transplante de mudas	11.675	Weber, 2000 ⁹
Transplante de mudas	5.581 a 6.422	Machado <i>et al.</i> , 2002 ¹¹

Dispersão e persistência dos herbicidas na água de irrigação

Os recursos hídricos agem como integradores dos processos biogeoquímicos de qualquer região. Assim, quando os defensivos agrícolas são aplicados, os recursos hídricos aparecem como destino final destes compostos, espalhando-se por todo o meio líquido, sendo difícil conter sua

- DO ARROZ IRRIGADO, 23., 1999, Pelotas. *Anais... Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado*, 1999. p. 263-265.
- ⁹ WEBER, L. *Consumo de água, qualidade da água de drenagem inicial e cultivares de arroz irrigado em diferentes sistemas de cultivo*. 2000. 56f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.
- ¹⁰ MARCOLIN, E.; MACE-DO, V. R. M.; MENEZES, V. G. *et al.* Rendimento de grãos e consumo de água em três sistemas de cultivo de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 24., 2001, Porto Alegre. *Anais... Porto Alegre: IRGA*, 2001. p. 241-243.
- ¹¹ MACHADO, S. L. de O.; RIGUES, A. A.; MARCHEZAN, E. *et al.* Determinação do consumo de água em cinco sistemas de cultivo do arroz irrigado. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DO ARROZ, 7., 2002, Florianópolis. *Documentos... Florianópolis: MAPA*, 2002. p. 336-339.
- ¹² EBERHARDT, D. D. Consumo de água em lavoura de arroz irrigado sob diversos métodos de preparo do solo. *Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v. 7, n. 1, p. 51-53, 1994.
- ¹³ G B U R E K, W. J. & SHARPLEY, A. N. Hydrologic controls on phosphorus loss from upland agricultural watersheds. *Journal Environmental Quality*, New York, v. 27, p. 267-277, 1997.

dispersão. Segundo relatórios da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA), a atividade agrícola é a principal fonte de contaminação que ameaça a qualidade da água de rios e lagos no país. As fontes não pontuais de contaminação podem aumentar as concentrações de nutrientes, sedimentos e defensivos agrícolas, causando degradação dos corpos de água, impossibilitando o desenvolvimento da vida aquática e ameaçando o ecossistema, principalmente quando ocorrem fortes chuvas. Para as condições brasileiras, não se tem quantificada a contribuição desses itens com relação à degradação dos recursos hídricos. Nos Estados Unidos, no entanto, admite-se que 50 a 60% da carga que contamina os lagos e rios sejam provenientes da agricultura.¹³

Na sua maioria, as lavouras de arroz estão localizadas em baixadas às margens de córregos e outros mananciais hídricos com grande possibilidade de serem contaminados pelos herbicidas aplicados na cultura. O cultivo de arroz irrigado demanda o uso intensivo de herbicidas que, associados ao método de aplicação e às práticas de manejo da água de irrigação, podem representar riscos ao ambiente, especialmente para a qualidade da água e para os organismos aquáticos. No sistema pré-germinado há uma modalidade de aplicação que se faz por derramamento direto do produto na lâmina de água, processo conhecido como “benzedura” e que, apesar da grande contribuição para a produção de arroz, tem sido pouco pesquisado, no sentido de se monitorar a persistência de herbicidas na água.

A questão é que os herbicidas dissolvidos na água podem ser adsorvidos ao sedimento, diluídos na massa líquida ou transportados por arrastamento superficial quando estiverem associados aos sedimentos em suspensão. O fato da concentração dos herbicidas em água ser baixa, não exclui a possibilidade de que concentrações elevadas possam ocorrer após chuvas de grande intensidade, especialmente em áreas próximas a pequenos mananciais hídricos que recentemente foram tratadas com herbicidas. Esta é uma área de estudo que deve avançar muito no Brasil nos próximos anos, incluindo a análise de metabólitos e não apenas do ingrediente ativo dos defensivos agrícolas. Tais informações serão importantes e subsidiarão, baseadas em conhecimentos científicos gerados em condições locais, a futura legislação sobre o manejo da água e da lavoura arrozeira, com o objetivo de reduzir o impacto ambiental no ecossistema várzea.

Estudos realizados em várias regiões do mundo têm mostrado que a quantidade de herbicidas que atingem os mananciais hídricos é geralmente pequena, devido em parte à

¹⁴ HIGASHI, K. Encontro Nacional de Analistas de Resíduos de Pesticidas, 15., São Paulo, 1991. *Relatório...*, São Paulo: CETESB, 1991, 68p.

¹⁵ HUBNER, A.; BACH, M. & FREDE, H. G. Pollution of surface waters with pesticides in Germany: modeling non-point source inputs. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 20, p. 191-204, 2000.

DESCHAMPS, F. C.; NOLDIN, J. A.; EBERHARDT, D. S. *et al.* Resíduos de agroquímicos em água nas áreas de arroz irrigado em Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25., 2003, Balneário Camboriú. *Anais...* Itajaí: EPAGRI, 2003, p. 683-685.

MARCHEZAN, E.; CAMARGO, E. R.; ZANELLA, R. *et al.* Dispersão dos herbicidas clomazone, quinclorac e propanil nas águas da bacia hidrográfica dos rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim, no período de cultivo do arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25., 2003, Balneário Camboriú. *Anais...* Itajaí: EPAGRI, 2003, p. 689-691.

NOHARA, S. & IWAKUMA, T. Pesticide residues in water and an aquatic plant (*Nelumbo nucifera*) in a river mouth lake Kasumiguara, Japan. *Chemosphere*, v. 33, n. 7, p. 1409-1416, 1996.

baixa solubilidade dos produtos em água e também devido ao efeito da diluição.¹⁴ Entretanto, herbicidas persistentes e com grande mobilidade no ambiente têm sido detectados em águas de superfície¹⁵, representando riscos ambientais, especialmente para a qualidade da água. Os resultados obtidos por diferentes pesquisadores (tabela 2) mostram que a permanência da água na lavoura por cerca de 30 dias após a aplicação de herbicidas poderia ser adotada como medida inicial de segurança, até que estudos mais detalhados e em diferentes condições ambientais sejam realizados. Por outro lado, pesquisas adicionais deverão ser desenvolvidas no sentido de correlacionar os níveis de resíduos com os possíveis efeitos no ambiente, pois apenas ilações podem ser feitas a respeito dos valores encontrados, considerando que a legislação brasileira em vigência não contempla limites máximos para a maioria dos herbicidas registrados para o arroz irrigado. Além disso, os resultados apresentam aplicação ampla, podendo servir de subsídio para programas de monitoramento de bacias hidrográficas que recebem o aporte de águas drenadas de lavouras de arroz irrigado.

Perdas de nutrientes via água de irrigação

O manejo da irrigação adotado no sistema de semeadura com sementes pré-germinadas envolve a retirada da água cerca de três dias após a semeadura. Ao drenar a água dos quadros, partículas de solo, fertilizantes e moléculas de defensivos agrícolas não degradados são arrastadas para fora da lavoura, podendo contaminar córregos, riachos e rios. As pesquisas mostram a ocorrência de perdas de nutrientes junto com a água drenada da lavoura (tabela 3). Por essa razão, é necessário o manejo adequado da água de drenagem após o preparo do solo e semeadura, de modo a reduzir as perdas de solo e nutrientes, evitando-se o assoreamento e a contaminação de mananciais hídricos. Dentre as medidas mitigadoras destacam-se: a) não drenar a água da lavoura; b) cercar os quadros com taipas reforçadas para evitar arrombamentos pelas enxurradas; c) iniciar o preparo do solo nos quadros mais altos para reaproveitar a água nos quadros mais baixos; d) caso seja necessário, retirar a água da lavoura quando a mesma se encontrar com menor quantidade de sólidos em suspensão; e) reutilizar a água drenada dentro de sistemas de produção.

No sistema pré-germinado, a manutenção de lâmina contínua de água evita a perda de nutrientes que saem da lavoura com a drenagem inicial, que será maior quando o preparo final da área for realizado o mais próximo da semeadura. O trabalho final de preparo do solo, executado em época que permita a sedimentação dos sólidos em

¹⁶ STUMPF, M.; HABERER, K.; RODRIGUES, S. V. *et al.* Organic residues in lake and drinking water from the Lagoa de Juturnaíba (Região dos Lagos – Rio de Janeiro, Brazil). *Journal Brazilian Chemistry Society*, v. 8, n. 5, p. 509-514, 1997.

¹⁷ NOLDIN, J. A.; HERMES, L. C.; ROSSI, M. A. *et al.* Persistência do herbicida clomazone em arroz irrigado em sistema pré-germinado. *In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO*, 22, 1997, Balneário Camboriú, SC. *Anais... Itajaí: EPA-GRI*, 1997. p. 363-364.

¹⁸ HERMES, L. C.; NOLDIN, J. A.; FAY, E. F. *et al.* Dissipação do herbicida clomazone em arroz irrigado em sistema pré-germinado. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO*, 1.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 23., 1999, Pelotas. *Anais... Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado*, 1999. p. 685-688.

¹⁹ MACHADO, S. L. de O.; ZANELLA, R.; MARCHEZAN, E. *et al.* Persistência de alguns herbicidas em lâmina de água de lavoura de arroz irrigado. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO*, 2., REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 24., 2001, Porto Alegre. *Anais... Porto Alegre: IRGA*, 2001. p. 775-777.

²⁰ ZANELLA, R.; PRIMEL, E. G.; MACHADO, S. L. O. *et al.* Monitoring of the herbicide clomazone in environmental water samples by solid-phase extraction and high-performance liquid chromatography with ultraviolet detection. *Chromatographia*, Wiesbaden, v. 55, n. 9/10, 2002.

²¹ MARCHEZAN, E.; ZANELLA, R.; MACHADO, S. L. O. *et al.* Dispersão de herbicidas nas águas da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí e Vacacaí-Mirim, no período

suspensão na água, minimiza as perdas no caso da necessidade de drenagem inicial da água na lavoura. Cabe ainda destacar que água limpa também é importante para o bom estabelecimento das plântulas de arroz.

Tabela 2: Persistência de herbicidas e de metabólitos na água de irrigação em lavouras de arroz irrigado

Herbicidas	Coleta	Método	Concentração (mg L ⁻¹)	Tempo (dias)	Fonte
Bentazon	AL ^c	CG/EM ⁱ	0,03	---	Stumpf <i>et al.</i> , 1997 ¹⁶
Bentazon	ALA ^c	CLAE-UV [§]	1,1 a 18	21	Machado <i>et al.</i> , 2002 ¹¹
Clomazone	ALA	CG ^h	0,6	32	Noldin <i>et al.</i> , 1997 ¹⁷
Clomazone	ALA	CG	1,29 a 3,80	24	Hermes <i>et al.</i> , 1999 ¹⁸
Clomazone	ALA	CLAE-UV	1,3 a 2,0	28	Machado <i>et al.</i> , 2001 ¹⁹
Clomazone	ALA	CLAE-UV	2,2	28	Zanella <i>et al.</i> , 2002 ²⁰
Clomazone	AR ^d	CLAE-UV	0,65 a 7,72	---	Marchezan <i>et al.</i> , 2002 ²¹
Imazethapyr	ALA	CLAE-UV	1,16 a 2,69	30	Marcolin <i>et al.</i> , 2003 ²²
Metsulfuron-methyl	ALA	CLAE-UV	1,35	7	Machado <i>et al.</i> , 2001 ¹⁹
Molinate	AR	CLAE-UV CG/EM	90 a 1160	---	Lavy <i>et al.</i> , 1998 ²³
Molinate	AR e CD ^f	CG/EM	0,025 a 1,0	---	Crepeau & Kuivila, 2000 ²⁴
Molinate	AL	CG/EM	0,55 a 1,11	---	Sudo <i>et al.</i> , 2002 ²⁵
Pendimethalin	AR	CG/EM	nd a 0,0167	---	Barra <i>et al.</i> , 1999 ²⁶
Oxadiazon	AL	CG/EM	0,07 a 0,09	---	Sudo <i>et al.</i> , 2002 ²⁵
3,4-DCA ^a	AR	CG	2,10 a 0,29	---	Wegman & De Korte, 1981 ²⁷
Propanil	AR	CLAE-UV	0,80 a 7,34	---	Marchezan <i>et al.</i> , 2002 ²¹
Propanil	ALA	CLAE-UV	0,95	7	Machado, 2003 ²⁸
Quinclorac	AR	CLAE-UV CG/EM	43 a 818	---	Lavy <i>et al.</i> , 1998 ²³
Quinclorac	AR ^d	CLAE-UV	0,41 a 6,60	---	Marchezan <i>et al.</i> , 2002 ²¹
Quinclorac	ALA	CLAE-UV	2,8 a 3,0	21	Machado, 2003 ²⁸
2,4-D	AR	CLAE-UV CG/EM	91 a 360	---	Lavy <i>et al.</i> , 1998 ²³
2,4-D	AL	CG/EM	0,05	---	Stumpf <i>et al.</i> , 1997 ¹⁶
2,4-D	ALA	CLAE-UV	20	10	Machado, 2003 ²⁸
Glyphosate	ALA	CLAE-UV	nd ^j a 144	---	Mattos <i>et al.</i> , 2002 ²⁹
Glyphosate	CD	CLAE-UV	nd	---	Mattos <i>et al.</i> , 2002 ²⁹
Thiobencarb	AR	CLAE-UV CG/EM	50 a 96	---	Lavy <i>et al.</i> , 1997 ²³
Thiobencarb	AL	CG/EM	0,03 a 0,06	---	Sudo <i>et al.</i> , 2002 ²⁵
AMPA ^b	ALA	CLAE-UV	nd a 113,6	---	Mattos <i>et al.</i> , 2002 ²⁹
AMPA	CD	CLAE-UV	6,1 ± 0,8	---	Mattos <i>et al.</i> , 2002 ²⁹

^a Ácido dicloropropiônico (metabólito de propanil). ^b Ácido aminometilfosfônico (metabólito do glyphosate). ^c Água da lavoura. ^d Água de rios. ^e Água de lagoas. ^f Canal de drenagem. [§] Cromatografia líquida de alta eficiência com absorção no ultravioleta. ^h Cromatografia gasosa. ⁱ Cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa. ^j Não detectado.

de cultivo do arroz irrigado. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DO ARROZ, 7., 2002, Florianópolis. *Documentos...* Florianópolis: MAPA, 2002. p. 670-673.

²² MARCOLIN, E.; MACEDO, V. R. M. & GENRO JR. S. A. Persistência do herbicida imazethapyr na lâmina de água em três sistemas de cultivo do arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3., REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25., 2003, Balneário Camboriú. *Anais...* Itajaí: EPAGRI, 2003, p. 686-688.

²³ LAVY, T. L.; MATTICE, J. D. & NORMAN, R. J. *Environmental implications of pesticides in rice production*. Fayetteville, Arkansas: Arkansas Agricultural Experimental Station. Research Serie 460, p. 63-71, 1998.

²⁴ CREPEAU, K. & KUIVILA, K. M. Rice pesticide concentrations in the Colusa basin drain and the Sacramento River, California, 1990-1993. *Journal Environmental Quality*, Madison, v. 29, p. 926-935, 2000.

²⁵ SUDO, M.; KUNIMATSU, T. & OKUBO, T. Concentration and loading of pesticide residues in Lake Biwa basin (Japan). *Water Research*, Elmsford, v. 35, p. 315-329, 2002.

²⁶ BARRA, R.; MAFFIOLI, G.; NOTARIANI, V. *et al.* Patrones de contaminación por herbicidas en aguas superficiales en una cuenca agrícola. *Ecotoxicology and Environmental Restoration*, v. 2, n. 2, p. 7583, 1999.

²⁷ WEGMAN, R. C. C. & DE KORTE, G. A. L. Aromatic amines in surface waters of the Netherlands. *Water Research*, Elmsford, v. 15, p. 391-394, 1981.

Tabela 3: Perdas de nutrientes via água de drenagem inicial em diferentes sistemas de implantação em lavoura de arroz irrigado

Sistemas de implantação	Nutrientes (mg L ⁻¹)					Fonte
	N	P	K	Ca	Mg	
Pré-germinado ^a	1,10	0,13	1,40	1,50	1,20	Macedo <i>et al.</i> , 2001 ³⁰
Pré-germinado ^b	1,80	0,15	2,00	2,00	1,50	Macedo <i>et al.</i> , 2001 ³⁰
Pré-germinado ^c	7,00	0,90	5,00	1,00	3,60	Macedo <i>et al.</i> , 2001 ³⁰
Pré-germinado ^d	8,40	0,24	3,80	4,20	2,70	Macedo <i>et al.</i> , 2001 ³⁰
Pré-germinado	5,1	1,64 ^e	2,35	---	---	Furtado <i>et al.</i> , 2001 ³¹
Pré-germinado	---	< 0,1	5,7	---	---	Marchezan <i>et al.</i> , 2001 ³²
Pré-germinado	3,78	0,10	4,83	6,01	3,81	Marchezan <i>et al.</i> , 2002 ³³
Pré-germinado	4,24	0,09	2,65	2,16	2,38	Marchezan <i>et al.</i> , 2002 ³⁴
Pré-germinado	3,78	0,10	4,83	6,01	3,81	Machado, 2003 ²⁸
Mix de pré-germinado	4,75	0,11	7,70	6,83	3,79	Marchezan <i>et al.</i> , 2002 ³³
Mix de pré-germinado	---	---	0,50	---	---	Gubiani <i>et al.</i> , 2002 ³⁵
Mix de pré-germinado	4,75	0,11	7,70	6,83	3,79	Machado, 2003 ²⁸
Transplante de mudas	3,73	0,10	4,26	5,72	3,89	Marchezan <i>et al.</i> , 2002 ³³
Transplante de mudas	3,73	0,10	4,26	5,72	3,89	Machado, 2003 ²⁸
Média do PRÉ, MIX e TM ^f	5,02	2,02	10,33	6,38	3,51	Weber, 2000 ⁹

^a Solo argiloso (51% de argila). ^b Solo francoargiloarenoso (22% de argila).

^c Solo franco (19% de argila). ^d Solo franco arenoso (18% de argila). ^e Fosfato ortofosfato (PO₄). ^f Transplante de mudas.

Manejo da lavoura visando a sustentabilidade do ecossistema várzea

Apesar da evolução do cultivo de arroz mostrar aumento de produtividade, melhoria de qualidade do grão e relativo equilíbrio entre o processo produtivo e o uso dos recursos naturais, os produtores deparam-se ainda com vários problemas. Os cultivos sucessivos nas mesmas áreas estimulam a ocorrência do arroz-vermelho, principal dificuldade da cultura. Por outro lado, a realidade fundiária do Rio Grande do Sul se caracteriza pelo fato de que mais da metade dos produtores de arroz são arrendatários, tendo entre seus custos o valor da água. Sendo assim, além de continuar elevando a produtividade e a qualidade do produto, como exige o mercado, é necessário reduzir custos. Adiciona-se a isso a preocupação com os recursos naturais, que se amplia na medida em que melhor se conhecem as relações e os efeitos entre todos os elos da cadeia produtiva e o ambiente.

Os sistemas de implantação da lavoura de arroz irrigado diferem basicamente nos procedimentos de preparo do solo, semeadura e início da irrigação, mas também se

- ²⁸ MACHADO, S. L. de O. *Sistemas de implantação da lavoura de arroz irrigado, consumo de água, persistência de herbicidas na água e efeitos no jundiá*. 2003. 178p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.
- ²⁹ MATTOS, M. L. T.; PERALBA, M. C. R.; DIAS, S. L. P. *et al.* Monitoramento ambiental do glifosato e do seu metabólito (ácido aminofosfônico) na água de lavoura de arroz irrigado. *Pesticidas – Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, Curitiba, v. 2, p. 145-154, 2002.
- ³⁰ MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, E. & BOHNEN, H. Perdas de solo e nutrientes na água de drenagem durante o preparo do solo para o sistema de cultivo de arroz pré-germinado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2., REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 24., 2001, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: IRGA, 2001, p. 247-249.
- ³¹ FURTADO, R. D. & JUCA, S. J. Dinâmica ambiental de nutrientes na água durante o período de irrigação em três técnicas de cultivo do arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 24., 2001, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: IRGA, 2001, p. 772-774.
- ³² MARCHEZAN, E.; SEGBINAZZI, T.; MARZARI, V. *et al.* Manejo da adubação do arroz irrigado em sistema pré-germinado na produtividade e perda de nutrientes através da água de drenagem inicial. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 31, n. 5, p. 877-879, 2001.
- ³³ MARCHEZAN, E.; MACHADO, S. L. O.; RIGHES, A. A. *et al.* Perda de nutrientes na água de drenagem inicial na cultura do arroz irrigado. In: CONGRESSO DA CADEIA

refletem em algumas práticas de manejo, como a adubação e o controle de plantas daninhas. Cada sistema apresenta suas exigências e particularidades, e estas podem ser utilizadas como forma de produção sustentável. A alternância de sistemas de estabelecimento é um procedimento de gerenciamento da lavoura arrozeira que proporciona redução de custo e sustentabilidade do processo produtivo, na medida em que a mudança cria um ambiente desfavorável aos organismos nocivos, reduzindo sua população, minimizando e racionalizando o uso do controle químico.

A forma de manejo que consiste em retirar a lâmina de água nos sistemas pré-germinado, mix de pré-germinado e transplante, precisa ser revista. A qualidade da água que é drenada das lavouras de arroz também se encontra em debate. Questiona-se o impacto causado pela lavoura arrozeira, embora poucos dados a respeito da contaminação das águas por insumos agrícolas estejam disponíveis. A fase atual da irrigação indica claramente que a prioridade é a eficiência do uso da água, evitando-se desperdícios.

No sistema pré-germinado de implantação da lavoura, quando o preparo do solo é realizado sob lâmina de água, há desestruturação dos agregados do solo. Inúmeros produtores, após o acabamento final do preparo, drenam a área para a semeadura do arroz ou após a semeadura. Tal procedimento faz com que a semeadura do arroz ou após a semeadura as partículas de solo mais finas em suspensão na água sejam transportadas carregando junto os nutrientes, o que pode causar empobrecimento do solo, assoreamento e contaminação dos mananciais hídricos. Sugere-se, ao contrário, a manutenção da água na lavoura por mais tempo, visando a manutenção do seu potencial produtivo. A restrição a esta prática de manejo da água é a ampliação do acamamento de plantas. Por isso, o desafio reside em identificar genótipos e práticas de manejo que reduzam esse acamamento.

Outro aspecto que está relacionado à água diz respeito a sua qualidade. No Rio Grande do Sul, embora se disponha de poucas informações a respeito do monitoramento de defensivos agrícolas em cursos de água, a lavoura arrozeira enquadra-se no centro das discussões pela possível contaminação provocada. Estudos de monitoramento de rios que recebem o aporte de água de lavouras de arroz mostram que há presença de herbicidas/inseticidas em níveis que variam em função do produto utilizado e da quantidade de chuvas verificadas no ano. Dentre os herbicidas aplicados hoje, clomazone é um dos mais persistentes no ambiente. Nesse sentido, embora não haja, na legislação vigente, infor-

- PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DO ARROZ, 7., 2002, Florianópolis. *Documentos...* Florianópolis: MAPA, 2002. p. 680-683.
- ³⁴ MARCHEZAN, E.; MARZARI, V.; ÁVILA, L. A. de. *et al.* Manejo da irrigação do arroz por inundação usando sementes pré-germinadas. *Revista de Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 22, n. 3, p. 339-346, 2002.
- ³⁵ GUBIANI, E., RHODEN, A. C., RIGHES, A. A. *et al.* Manejo da água de drenagem e da resteva de azevém na concentração de nutrientes na cultura do arroz irrigado no sistema mix de pré-germinado. *In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DO ARROZ, 7., 2002, Florianópolis. Documentos...* Florianópolis: MAPA, 2002. p. 674-677.
- ³⁶ GOSS, D. W. Screening procedure for soils and pesticides for potential water quality impacts. *Weed Science*, Lawrence, v. 6, p. 701-708, 1992.

Sérgio Luiz de Oliveira Machado é engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia e professor do Departamento de Defesa Fitossanitária da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

smachado@ccr.ufsm.br

Enio Marchezan é engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia, professor do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, e pesquisador do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

emarch@ccr.ufsm.br

Silvio Carlos Cazarotto Villa e Edinalvo Rabaioli Camargo são acadêmicos do Curso de Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, e bolsistas do CNPq.

mações que contemplem este herbicida, os resultados de pesquisas disponíveis indicam que a manutenção de água na lavoura por cerca de 30 dias após a aplicação é uma medida inicial de segurança a ser adotada. De acordo com os critérios de Goss³⁶, utilizados para determinar o grau de contaminação da água por herbicidas, clomazone e propanil apresentam alto potencial de contaminação de águas superficiais, porque podem ser transportados dissolvidos em água, enquanto quinclorac, 2,4-D e bentazon apresentam médio potencial.

Inserem-se, neste contexto, a avaliação de risco e o monitoramento ambiental, que servem de subsídio para a análise do efeito potencial adverso no ambiente ou do impacto ambiental negativo já constatado. Existe ainda a necessidade de se avaliar a dose aguda desses herbicidas e de outros defensivos agrícolas para os diversos organismos aquáticos, além dos peixes, para um diagnóstico mais realístico dos riscos do impacto causado no ambiente pela cultura do arroz irrigado, arrolada como atividade poluidora por determinados setores da sociedade.

Considerações finais

O sistema de produção de arroz irrigado relaciona-se com os recursos hídricos por dois aspectos principais: quantidade da água utilizada e qualidade da água retirada do sistema. A dimensão do impacto causado ao ambiente depende dos insumos empregados e das práticas de manejo adotadas. O desafio consiste em quantificar o possível grau de contaminação e os efeitos provocados no ecossistema, como forma de identificar procedimentos que conduzam à realização de uma lavoura mais sustentável. O aumento dos níveis de produtividade só será possível com maior investimento em pesquisas que proporcionem tecnologias de baixo custo para o produtor, que sejam acessíveis e adaptáveis a cada situação ou região, e baseadas na resposta da cultura à aplicação de insumos agrícolas sem, contudo, comprometer a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos.

No agronegócio de arroz irrigado, cada componente da cadeia produtiva deve responsabilizar-se pela proteção dos recursos naturais, assumindo e demandando inovações. Deve haver interação entre todos os segmentos em favor de uma participação cooperativa, de ações que sejam simultaneamente favoráveis à manutenção ou conservação do ambiente e à sustentabilidade competitiva daqueles envolvidos na atividade.

AGROECOLOGÍA Y AGROECOSISTEMAS

Stephen R. Gliessman

La base de la Agroecología es el concepto del ecosistema, el cual se define como un sistema funcional de relaciones complementarios entre organismos vivos y su ambiente, delimitado por bordos escogidos arbitrariamente, que en el espacio y el tiempo parece mantener un equilibrio estable pero dinámico. La Agroecología permite un análisis de las entradas y salidas de un agroecosistema, en una forma parecida a una piscina en un río. El productor tiene que pensar en más que su parcela, para entender lo que entra desde afuera dentro su finca (procedente del “río arriba”), además, los impactos “río abajo” del manejo de la parcela. La Agroecología propone cuatro componentes importantes para el estudio de la sostenibilidad de los agroecosistemas: flujo de energía; ciclos de nutrientes; mecanismos de regulación de poblaciones; y el equilibrio dinámico del sistema. La sostenibilidad, como concepto emergente y integrante de la Agroecología, está basada en los conocimientos de los ecosistemas naturales y los agroecosistemas tradicionales, locales e indígenas. Por medio de un análisis comparativo de sistemas y desde un enfoque interdisciplinario, se puede vislumbrar las perspectivas para el futuro, donde el fundamento ecológico se combina con los componentes sociales, económicos, y políticos para lograr la sostenibilidad.

Introducción

La agricultura es más que una actividad económica diseñada para producir un cultivo o para hacer la ganancia más grande posible. Un agricultor no puede ocuparse solamente con los objetivos y metas de su propia parcela y esperar obtener la sostenibilidad a largo plazo. Discusiones sobre la agricultura sostenible deben ir mucho más allá de lo que pasa dentro de la cerca de una parcela. Actualmente, la agricultura se considera como un sistema mucho más grande con muchas partes que interactúan, incluyendo componentes ambientales, económicos y sociales.¹ Son las interacciones complejas y el balance entre todas estas partes que nos ha traído juntos para discutir la sostenibilidad, para determinar como nos vamos hacia esta meta más amplia, y como una perspectiva agroecológica enfocada en agroecosistemas sostenibles nos lleva a alcanzar estos objetivos de largo plazo.

Mucha de la agricultura moderna ha perdido el balance necesario para la sostenibilidad a largo plazo.² Con su dependencia excesiva en los combustibles del petróleo e insumos externos, la mayoría de los agroecosistemas están sobreutilizando y degradando los recursos del suelo, agua, genética y los recursos culturales, sobre los cuales la agricultura siempre ha dependido. Problemas con sostener la base de recursos naturales agrícolas solo se pueden ser ocultados por un tiempo limitado con las prácticas modernas y las tecnologías de altos insumos. En algún sentido, mientras le prestamos a las generaciones futuras una cantidad que siga aumentando de agua y combustibles del petróleo, los impactos negativos a las parcelas y comunidades agrícolas se volverán más evidentes. La conversión a agroecosistemas sostenibles tiene que ser nuestra meta.³

Para clarificar mi propia visión de los agroecosistemas, pienso en la agricultura como un río, y las parcelas son distintos puntos en este río. Cuando pensamos en una parcela como una “piscina” en una estela o calmada tranquila en una curva en el flujo del río, podemos imaginar cuantas cosas entran a una parcela, y también esperamos que muchas cosas salen con el flujo del río. Como un agricultor, trabajo duro para mantener mi piscina en el río (mi parcela) limpia y productiva. Trato de ser lo más cuidadoso que puedo en mi forma de cuidar el suelo, escoger cultivos para sembrar, controlar pestes y plagas, y mercadear mi cosecha. En los tiempos cuando no había tantas fincas, menos personas para alimentar, y exigencias menores sobre los

¹ GLIESSMAN, S. R. ed., *Agroecosystem sustainability: toward practical strategies*. Book Series Adv. in Agroecology, Boca Raton, FL: CRC Press, 2001.

FLORA, C., ed. *Interactions between agroecosystems and rural communities*. Book Series Adv. in Agroecology, Boca Raton, FL.: CRC Press, 2001.

² KIMBRELL, A., ed. *Fatal harvest: the tragedy of industrial agriculture*. Washington, D. C.: Island Press, 2002.

³ GLIESSMAN, S. R. ed., *Agroecosystem sustainability: toward practical strategies*. *Op. cit.*

agricultores y la tierra agrícola, yo podía mantener mi parcela en buena forma. Podía mantener mi “piscina” en el río bastante limpio, y no tenía que preocuparme mucho por lo que pasaba “río abajo” de mi parcela.

Sin embargo, esta estrategia se ha vuelto mucho más difícil hoy día. Encuentro que mi control sobre lo que entra a mi “piscina” se está disminuyendo. Enfrento una variedad de impactos que vienen de “río arriba” que pueden amenazar la sostenibilidad de mi parcela. Esto incluye los insumos que compro para mi parcela o los que llegan del entorno. Incluyen la disponibilidad y costo de la mano de obra, el acceso al mercado para mis productos, la política legislada que dicta la cantidad de agua que uso, las pesticidas que aplico, o como cuido mis animales, sin tomar en cuenta los caprichos del tiempo! Mi piscina se puede enlodar rápidamente.

También debo considerar más y más que la forma que cuido a mi “piscina” puede tener impactos en las “piscinas” de “río abajo”. La erosión del suelo y el vaciamiento (depletion) de la agua subterránea puede afectar de una forma negativa a las parcelas fuera de la mía. El uso inapropiado o ineficiente de las pesticidas y fertilizantes puede contaminar el agua y aire, y además dejar residuos potencialmente peligrosos en la comida que mi familia y otros consumirán. La forma que manejo a mi parcela se refleja en la viabilidad de las economías rurales agrícolas, nuestra comunidad local, y las culturas más amplias. Indicadores claves son la pérdida de tierra agrícola a otras actividades y la pérdida de la agricultura familiar en general. Ambos los factores de “río arriba” y de “río abajo” son ligados en formas complejas, a menudo más allá de mi control, y se imponen en la sostenibilidad de mi parcela.

La perspectiva agroecológica

1 *El agroecosistema*

Cualquiera definición de la agricultura sostenible debe incluir como examinamos el sistema de producción como un agroecosistema. Tenemos que observar el sistema entero, o el “río” entero usando la analogía presentada anteriormente. Esta definición debe ir más allá de la visión estrecha enfocada principalmente en el desarrollo de prácticas y tecnologías para aumentar el rendimiento y mejorar el margen de las ganancias. Se deben evaluar estas prácticas y tecnologías en cuanto a su contribución a la sostenibilidad del sistema agrícola entera. Las nuevas tecnologías ofrecen

poca esperanza de contribuir a la sostenibilidad si no incluyen los impactos a largo plazo y más complejos del sistema agrícola entera en la evaluación. El sistema agrícola es un componente importante del sistema alimenticio.⁴

Una base principal de la Agroecología es el concepto del ecosistema, el cual se define como un sistema funcional de relaciones complementarios entre organismos vivos y su ambiente, delimitado por bordos escogidos arbitrariamente, que en el espacio y el tiempo parece mantener un equilibrio estable pero dinámico.⁵ Este equilibrio se puede considerar sostenible en un sentido definitivo. Un ecosistema bien desarrollado, maduro y natural es relativamente estable, se auto-sostiene, se recupera de la perturbación, se adapta al cambio, y mantenga la productividad con solamente las entradas energéticas de la radiación solar. Cuando extendemos el concepto del ecosistema a la agricultura, y consideramos los sistemas agrícolas como agroecosistemas, tenemos una base para pensar más allá de un enfoque principal sobre salidas tradicionales y fácilmente medidas (rendimiento o ganancia económica). Más bien podemos examinar el conjunto de interacciones biológicas, físicas, químicas, ecológicas, y culturales complejas que determinan los procesos que nos permitan alcanzar y sostener los rendimientos.

Muchas veces los agroecosistemas son más difíciles de estudiar que sistemas naturales porque el manejo humano complique la estructura y función normal del ecosistema. No se puede disputar el hecho de que se debe considerar una serie amplia de factores y procesos ecológicos, económicos, y sociales que interactúan para alcanzar un agroecosistema completamente sostenible. Siempre, la sostenibilidad ecológica es el cimiento sobre la cual dependen otros elementos de la sostenibilidad.

Un agroecosistema se crea cuando la manipulación humana y la alteración de un ecosistema se llevan a cabo con el propósito de establecer producción agrícola. Esto introduce varios cambios en la estructura y función del ecosistema natural (figura 1), y como resultado, cambia varias propiedades claves a nivel de sistema. Estas propiedades son frecuentemente llamadas propiedades emergentes – propiedades que se manifiestan cuando todo los componentes del sistema son organizados. Estos mismos propiedades también pueden servir como indicadores de la sostenibilidad del agroecosistema.⁶ Algunas de las propiedades emergentes claves de los ecosistemas, y como son alterados cuando se convierten a agroecosistemas, son los siguientes:

⁴ FRANCIS, C.; LIEBLEIN, G.; GLIESSMAN, S.; BRELAND, T. A.; CREAMER, N.; HARWOOD, R.; SALOMONSSON, L.; HELENIUS, J.; RICKERL, D.; SALVADOR, R.; WIENDEHOEFT, M.; SIMMONS, S.; ALLEN, P.; ALTIERI, M.; PORTER, J.; FLORA, C. & POINCELOT, R. Agroecology: the ecology of food systems. *J. Sustain. Agric.*, 22:99-118, 2003.

⁵ ODUM, E. P. *Ecology: bridging science and society*. Sunderland, MA.: Sinauer Associates Inc., 1996. GLIESSMAN, S. R. *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 2002.

⁶ GLIESSMAN, S. R. ed., *Agroecosystem sustainability: toward practical strategies*. *Op. cit.*

1.1 Flujo de energía

La energía fluye por un sistema natural como resultado de un conjunto complejo de interacciones tróficas, con la pérdida de una cantidad particular en cada etapa/fase de la cadena alimenticia, y con la mayor cantidad de energía moviéndose por la vía del detrito.⁷ La producción anual del sistema se puede calcular en términos de la productividad o biomasa primaria neta, cada componente con un contenido de energía particular. La intervención humana altera de una forma amplia al flujo de energía.⁸ Aunque la radiación solar es el mayor fuente de energía, muchos insumos se derivan de fuentes manufacturados por los humanos y muchos no se auto-sostienen. Muy a menudo los agroecosistemas se vuelvan sistemas de flujo de pasada, con un nivel alto de insumos de combustible del petróleo y una pérdida alta de energía del sistema cada cosecha. No se permite que la biomasa acumula dentro del sistema o que contribuye a conducir importantes procesos internos del ecosistema (ejemplo, materia orgánica muerta devuelta al suelo sirve como una fuente de energía para los microorganismos que son esenciales para el eficaz reciclaje de nutrientes). Para alcanzar la sostenibilidad, se debe maximizar las fuentes de energía renovable, y se debe suplir energía para las interacciones internas tróficas esenciales para mantener otras funciones ecosistémicas.

⁷ ODUM, E. P. *Fundamentals of ecology*. Philadelphia, PA.: W. B. Saunders, 1971.

⁸ RAPPAPORT, R. A. The flow of energy in an agricultural society. *Scientific Amer.*, 224:117-132, 1971. PIMENTEL, D. & PIMENTEL, M. eds. *Food, energy and society*. 2nd ed., Niwot, CO.: University Press of Colorado, 1997.

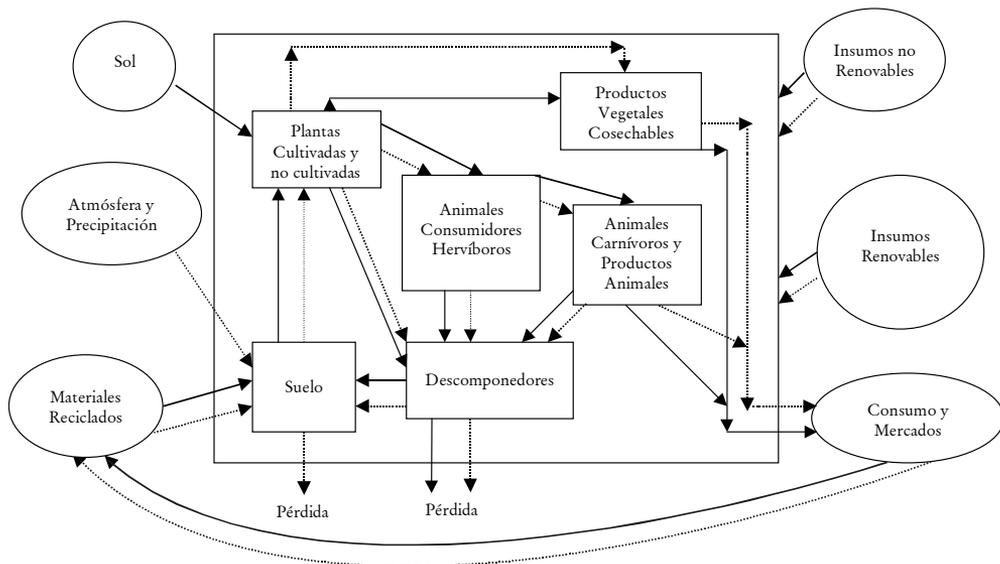


Figura 1: Componentes funcionales y estructurales de un ecosistema convertido a un agroecosistema sostenible. Las líneas continuas son flujo de energía y las líneas discontinuas son ciclos de nutrientes. Este modelo asume que los nutrientes y la energía remanente se regresan al agroecosistema como materiales reusables y que el uso de insumos humanos no renovables es mínimo

1.2 Reciclaje de nutrientes

Cantidades pequeñas de nutrientes entran al ecosistema continuamente por varios procesos hidrogeoquímicos. Luego estos nutrientes circulan dentro del ecosistema por series de ciclos interconectados complejos, donde generalmente son atados en materia orgánica.⁹ La influencia de los componentes biológicos de cada sistema se vuelven muy importantes para el movimiento eficaz de nutrientes, asegurando que la cantidad perdida del sistema es mínima. En un ecosistema maduro, estas pérdidas mínimas se reemplazan con entradas locales, lo cual mantiene el balance de nutrientes. La productividad de biomasa en los ecosistemas naturales es estrechamente ligada a las tasas anuales de reciclaje de nutrientes. En un agroecosistema, el reciclaje de nutrientes puede ser mínima, y cantidades importantes se pierden del sistema con la cosecha o como resultado de la lixiviación o erosión debido a la gran reducción en los niveles permanentes de biomasa dentro del sistema.¹⁰ La exposición frecuente del suelo sin cobertura en medio de los cultivos durante la época de siembra, o de terrenos sin cobertura entre épocas de cultivos, crea una “fuga” de nutrientes del sistema. La agricultura moderna depende de un alto nivel de insumos de nutrientes sintéticos derivados del petróleo para reemplazar estas pérdidas. La sostenibilidad requiere que estas “fugas” se reduzcan a un mínimo y que los mecanismos de reciclaje se reintroduzcan y se fortalezcan. Esencialmente, las sociedades humanas necesitan encontrar formas para devolver los nutrientes consumidos en los productos agrícolas hacia las parcelas — los agroecosistemas en donde fueron consumidos y producidos para empezar.

1.3 Mecanismos de regulación de poblaciones

La combinación compleja de las interacciones bióticas con los límites creados por la disponibilidad de recursos físicos controla el tamaño de las poblaciones de varios organismos y por ende se liga a y determina la productividad del ecosistema. La selección a través del tiempo tiende hacia el establecimiento de la estructura más compleja posible biológicamente dentro de los límites creados por el medio ambiente, lo cual permite el establecimiento de interacciones tróficas diversas y la diversificación de nichos. Debido a la selección genética dirigida y la domesticación, además que la simplificación de agroecosistemas (la pérdida de diversidad de nichos y la reducción en interacciones tróficas), las poblaciones de cultivos o animales raramente son auto-

⁹ BORMAN, F. H. & LIKENS, G. E. Nutrient cycles. *Science*, 155:424-429, 1967.

¹⁰ TIVY, J. *Agricultural ecology*. London: Longman Scientific and Technical, 1990.

reproductivas o auto-reguladas. Los insumos humanos en la forma de semillas o agentes de control, los cuales casi siempre dependen de subsidios grandes de energía, determinan los tamaños de las poblaciones. La diversidad biológica se reduzca, los sistemas naturales de control de plagas se interrumpen, y muchos de los nichos y microhábitats quedan desocupados. El peligro de una epidemia catastrófica de plagas es alta, a pesar de la disponibilidad de la intervención humana y de insumos intensivos. Un enfoque en la sostenibilidad requiere la reintroducción de estructuras diversas y relaciones entre especie que permiten el funcionamiento de mecanismos naturales de control y regulación. Debemos aprender a trabajar con y aprovechar de la diversidad, en vez de enfocarnos hacia la simplificación de agroecosistemas.

1.4 El equilibrio dinámico

La riqueza o diversidad de especies en ecosistemas maduros permite un grado de resistencia a todas las perturbaciones menos las más dañinas. En muchos casos, las perturbaciones periódicas aseguran ambas la diversidad y la productividad más alta.¹¹ La estabilidad de sistemas no es un estado fijo o permanente, mas bien es un estado dinámico y altamente fluctuante que permite la recuperación del ecosistema siguiendo una perturbación. Esto promueve el establecimiento de un equilibrio ecológico que funciona sobre el uso sostenido de recursos, lo cual el ecosistema puede mantener indefinidamente o puede ajustar si cambia el medio ambiente. A la vez, no es frecuente ver a una epidemia de plaga de escala grande en un ecosistema saludable y balanceado. Sin embargo, debido a la reducción de la diversidad estructural y funcional natural, mucho de la resiliencia del sistema se pierde, y se tiene que mantener el uso de insumos externos derivados de los humanos en forma constante. Un sobre-énfasis en la maximización de rendimientos interrumpe el equilibrio anterior, y solo se puede mantener con la continuación de intervenciones externas. Para reintegrar la sostenibilidad, las propiedades emergentes de resistencia y resiliencia del sistema deben jugar un papel central en el diseño y manejo de agroecosistemas.

Debemos analizar ambos los impactos inmediatos y futuros del diseño y manejo de agroecosistemas para poder identificar los puntos claves de cada sistema sobre los cuales se debe enfocar la búsqueda de alternativas y la resolución de problemas. Debemos aprender a ser más competen-

¹¹ CONNELL, J. H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199:1302-1310, 1978.

tes en nuestros análisis agroecológicos para evitar problemas o cambios negativos antes de que ocurran, en vez de luchar para corregirlos. El enfoque agroecológico proporciona una alternativa.¹²

2 Aplicando la Agroecología

El proceso de entender la sostenibilidad de agroecosistemas tiene su base en dos tipos de ecosistemas: ecosistemas naturales y agroecosistemas tradicionales. Ambos demuestran evidencia amplia de una habilidad productiva de largo plazo, pero cada uno ofrece fundamentos de conocimiento distintos para entender esta habilidad. Los ecosistemas naturales son sistemas de referencia para entender la base ecológica para la sostenibilidad en un lugar particular. Los agroecosistemas tradicionales proporcionan muchos ejemplos de cómo una cultura y su entorno local han co-evolucionado con el tiempo por procesos que balancean las necesidades de la gente, expresadas como ecológicas, tecnológicas, y socio-económicas. La Agroecología, definida como la aplicación de conceptos y principios ecológicos al diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles,¹³ aprovecha de ambos para crear un enfoque de investigación que se puede aplicar para convertir agroecosistemas convencionales y no sostenibles a agroecosistemas sostenibles.

Los ecosistemas naturales reflejan un periodo largo de evolución en el uso de recursos locales y la adaptación a condiciones ecológicas locales. Cada uno se ha vuelto un conjunto complejo de plantas y animales que co-habitan en un medio ambiente dado, y como resultado, proporcionan información extremadamente útil para el diseño de agroecosistemas adaptados localmente. Como he sugerido,¹⁴ “la mayor similitud estructural y funcional entre un agroecosistema y un ecosistema natural en su región biogeográfica, la mayor probabilidad que el agroecosistema será sostenible.” Si esta sugerencia se verifica, las estructuras y funciones de sistemas naturales se pueden utilizar como datos umbrales para sistemas más sostenibles. Los científicos han empezado explorar como un entendimiento de ecosistemas naturales se puede usar para guiar nuestra búsqueda para agroecosistemas sostenibles que respetan y protejan el medio ambiente y los recursos naturales.¹⁵

Los agroecosistemas tradicionales e indígenas son distintos que los sistemas convencionales porque fueron desarrollados en momentos y lugares en donde los insumos, fuera de la mano de obra y los recursos locales, no eran disponibles o deseados por la gente local. La forma de

¹² ALTIERI, M. A. *Agroecology: the scientific basis of alternative agriculture*, 2nd ed. Boulder, CO., Westview Press, 1995.
GLIESSMAN, S. R. *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. *Op. cit.*

¹³ GLIESSMAN, S. R. *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. *Op. cit.*

¹⁴ GLIESSMAN, S. R. *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. *Op. cit.*

¹⁵ SOULE, J. D. & PIPER, J. K. *Farming in nature's image*. Washington, D. C.: Island Press, 1992.
JACKSON, D. L. & JACKSON, L. L. *The farm as natural habitat*. Washington, D. C.: Island Press, 2002.

- ¹⁶ WILKEN, G. C. *Good farmers: traditional agricultural resource management in Mexico and Central America*. Berkeley, CA.: Univ. California Press, 1988.
- ALTIERI, M. A. Why study traditional agriculture? *En: CARROLL, C. R.; VANDERMEER, J. H. & ROSSET, P. M., eds., Agroecology*. New York: McGraw-Hill, 1990. p. 551-564.
- ¹⁷ ALTIERI, M. A. Why study traditional agriculture? *Op. cit.*
- ¹⁸ A M A D O R, M. F. & GLIESSMAN, S. R. An ecological approach to reducing external inputs through the use of intercropping. *En: GLIESSMAN, S. R., ed., Agroecology: researching the ecological basis for sustainable agriculture*. New York: Springer-Verlag, 1990.
- ¹⁹ LETOURNEAU, D. K. Associational resistance in squash monoculture and polycultures in tropical Mexico. *Environ. Entomol.*, 15:285-292, 1986.
- ²⁰ BETHLENFALVAY, G. J.; REYES-SOLIS, M. G.; CAMEL, S. B. & FERRERACERRATO, R. Nutrient transfer between the root zones of soybean and maize plants connected by a common mycorrhizal inoculum. *Physiologia Plantarum*, 82: 423-432. 1991.
- ²¹ NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Alternative agriculture*. Washington, D. C.: National Acad. Press, 1989. USDA. U. S. Organic Agriculture. Washington, DC.: Econ. Res. Serv. Issues Center, 2000 www.econ.ag.gov/whatsnew/issues/organic/
- ²² SWEZEY, S. L. & BROOME, J. Growth predicted in biologically integrated and organic farming. *California Agric.*, 54:26-35, 2000.

producción demuestra una consideración por la sostenibilidad a largo plazo, en vez de un enfoque total en la maximización de rendimiento y ganancia. Los sistemas tradicionales continúan siendo importantes como la producción primaria de alimento para un gran parte de la población de los países en desarrollo, mientras que al mismo tiempo mantienen sus bases en conocimiento ecológico.¹⁶ Esta realidad demuestra su importancia para el desarrollo de agroecosistemas sostenibles, especialmente hoy día cuando muchos de los agroecosistemas modernos convencionales han degradado sus bases ecológicas severamente a la medida que la fuerza mayor dentro de los sistemas alimentarios se ha vuelto los factores socio-económicos.¹⁷ Muchos agroecosistemas tradicionales son ejemplos sofisticados de la aplicación de conocimiento ecológico, y pueden servir como el punto de partida para la conversión a agroecosistemas más sostenibles en el futuro. El policultivo Mesoamericano tradicional de maíz-fríjol-calabaza es bien conocido como un sistema de cultivo en donde rendimientos más altos se logran por el complejo de interacciones entre componentes del agroecosistema.¹⁸ Ejemplos de tales interacciones se extienden desde el aumento de insectos benéficos debido a los microclimas atractivos y mayor abundancia de fuentes de polen y néctar,¹⁹ hasta la disponibilidad al maíz de nitrógeno fijado biológicamente por las conexiones de los hongos micorrizales con las raíces del fríjol.²⁰

¿Cómo puede la Agroecología conectar nuestro entendimiento de la estructura y función de ecosistemas naturales con el conocimiento inherente a las agroecosistemas tradicionales? Por un lado, el conocimiento del entorno que se deriva de entender la ecología local es una base esencial. Por otro lado, es la experiencia local de cultivar usando prácticas que tienen raíces en el multitud de generaciones de vivir y trabajar dentro de los límites de ese entorno. Juntamos ambos enfoques cuando trabajamos con agricultores en el proceso de convertirse a prácticas de manejo más ambientales, y por ende alcanzamos su potencial por contribuir a la sostenibilidad de largo plazo. Esta transición ya se está llevando a cabo. Muchos agricultores, a pesar de las presiones económicas intensas, se encuentran en el proceso de convertir sus granjas hacia un diseño y manejo más sostenible.²¹ En California, el incremento dramático en áreas orgánicas de varios cultivos se ha basado, en gran parte, en la innovación de agricultores.²² Es absolutamente necesario que los agroecólogos juegan un papel importante contribuyendo a este proceso de conversión.

La conversión de un agroecosistema a un diseño más sostenible es un proceso complejo. No es solamente la adopción de una práctica o tecnología nueva. No hay respuestas mágicas. Más bien, esta conversión usa el enfoque agroecológico descrita en el principio de este artículo. La parcela se percibe como parte de un sistema más grande de componentes interactuando – un agroecosistema. Debemos enfocarnos en el rediseño de ese sistema para promover el funcionamiento del rango completo de procesos ecológicos distintos.²³ En una investigación sobre la conversión de fresas convencionales al manejo orgánico, se observó varios cambios.²⁴ A medida que se redujo o eliminó el uso de insumos químicos sintéticos, y se enfatizó el reciclaje, la estructura y función del agroecosistema cambió. Varios procesos y relaciones empezaron a transformarse, empezando con el mejoramiento en la estructura básica del suelo, un aumento en el contenido de materia orgánica, y mayor diversidad y actividad de la biota benéfica del suelo. Cambios mayores empezaron a ocurrir en la actividad y las relaciones entre las poblaciones de arvenses, insectos y patógenos, y en el funcionamiento de mecanismos de control natural. Por ejemplo, ácaros depredadores gradualmente reemplazaron el uso de acaricidas sintéticas para el control de la araña roja, la peste más común de las fresas en California.

Al final, se ve afectada la dinámica y reciclaje de nutrientes, la eficiencia del uso de energía, y la productividad total del agroecosistema. Posiblemente requiere cambios en el manejo a diario de la parcela, planeamiento, mercadeo, y aún filosofía. Las necesidades específicas de cada agroecosistema variará, pero los principios enlistados en la tabla 1 pueden servir como una guía general para el proceso de conversión. El papel del agroecólogo es asistir al agricultor en la medición y monitoreo de estos cambios durante el periodo de conversión para guiar, ajustar y evaluar el proceso de conversión. Tal enfoque proporciona el marco esencial para determinar los requisitos para y los indicadores del diseño y manejo sostenible de agroecosistemas.

3 Comparando ecosistemas y agroecosistemas

El clave para desarrollar la sostenibilidad es construir una base ecológica fuerte debajo del agroecosistema, usando el conocimiento de la Agroecología descrito en este artículo. Entonces, esta base sirve como el marco para producir las cosechas sostenibles que necesitan los humanos.

²³ GLIESSMAN, S. R. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Boca Raton, Fl.: Lewis/CRC Press, 1998.

²⁴ GLIESSMAN, S. R.; WERNER, M. R.; SWEZEY, S.; CASWELL, E.; COCHRAN, J. & ROSADO-MAY, F. Conversion to organic strawberry management changes ecological processes. *California Agric.*, 50:24-31, 1996.

Sin embargo, para mantener cosechas sostenibles, el manejo humano es un requisito. Los agroecosistemas no son auto-suficientes, mas bien dependen de procesos naturales para mantener su productividad. Una semejanza a los ecosistemas naturales permite que el sistema se sostiene, a pesar de la remoción a largo plazo de biomasa, sin subsidios grandes de energía no-renovable y sin impactos negativos en el entorno ambiental.

Tabla 1: Principios para guiar el proceso de conversión al diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles (modificado de Gliessman²⁵)

²⁵ GLIESSMAN, S. R. *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. Op. cit.

Cambiar de un manejo de flujo de nutrientes, a uno de reciclaje de nutrientes, con mayor dependencia de procesos naturales como la fijación biológica de nitrógeno y las relaciones micorrízicas
Usar energía de fuentes renovables en reemplazos de fuentes no renovables
Eliminar el uso de insumos humanos externos no renovables, que tienen el potencial de dañar el ambiente y la salud de productores, trabajadores del campo o consumidores
Cuando se deba agregar materiales al sistema, usar materiales naturales en lugar de usar insumos sintéticos, manufacturados
Manejar las plagas, enfermedades y arceses en lugar de “controlarlas”
Reestablecer las relaciones biológicas que pueden darse naturalmente en la granja en lugar de reducirlas y simplificarlas
Hacer combinaciones más apropiadas entre el patrón de cultivos, y el potencial productivo y las limitaciones físicas del paisaje agrícola
Usar una estrategia de adaptación del potencial genético y biológico de las plantas cultivables y especies animales, a las condiciones ecológicas de la parcela, y no modificarla para satisfacer las necesidades de cultivos y animales
Valorar más el estado general de salud del agroecosistema, que el producto de un sistema de cultivo o el de una temporada del año
Enfatizar la conservación del suelo, agua, energía y recursos biológicos
Incorporar la idea de la sostenibilidad a largo plazo en el diseño y manejo del agroecosistema en conjunto

La tabla 2 compara los ecosistemas naturales con tres clases de agroecosistemas en términos de varios criterios ecológicos. Los agroecosistemas tradicionales son los más

parecidos a los ecosistemas naturales, como generalmente se enfocan en el uso de recursos localmente disponibles y renovables, el uso local de productos agrícolas, y el regreso de biomasa a la parcela. Los agroecosistemas sostenibles son muy similares en muchas propiedades, pero debido al enfoque más común de exportar la cosecha a mercados distantes, a la necesidad de comprar una cantidad importante de sus nutrientes, y al impacto más fuerte del mercado en la diversidad y manejo del agroecosistema, no son tan parecidos en otras. Comparados a sistemas convencionales, los agroecosistemas sostenibles son sujetos a rendimientos un poco más bajos y variables debido a la variación del tiempo que ocurre de un año a otro. Esta reducción en rendimientos puede ser más que compensada, desde la perspectiva de la sostenibilidad, por la ventaja que se gana de depender menos de los insumos externos, depender más de los controles naturales de plagas, y en reducir los impactos negativos fuera de la parcela.

Tabla 2: Las propiedades emergentes de ecosistemas naturales, agroecosistemas tradicionales, agroecosistemas convencionales, y agroecosistemas sostenibles. Las propiedades de los agroecosistemas son más aplicables a la escala de la parcela y a corto y mediano plazo

Propiedad Ecológica Emergente	Ecosistema Natural	Clase de Agroecosistema		
		Tradicional	Convencional	Sostenible
Productividad (proceso)	Media	Media	Baja/media	Media/alta
Diversidad de Especies	Alta	Media/alta	Baja	Media
Diversidad Estructural	Alta	Media/alta	Baja	Media
Diversidad Funcional	Alta	Media/alta	Baja	Media/alta
Estabilidad de egreso(cosecha)	Media	Alta	Baja/media	Alta
Acumulación de biomasa	Alta	Alta	Baja	Media/alta
Reciclaje de nutrientes	Alta	Alta	Baja	Alta
Relaciones tróficas	Alta	Alta	Baja	Media/Alta
Regulación natural de poblaciones	Alta	Alta	Baja	Media/Alta
Resistencia	Alta	Alta	Baja	Media
Resiliencia	Alta	Alta	Baja	Media
Dependencia de insumos humanos externos	Baja	Baja	Alta	Media
Autonomía	Alta	Alta	Baja	Alta
Desplazo humano de procesos ecológicos	Baja	Baja	Alta	Baja/media
Sostenibilidad	Alta	Media/alta	Baja	Alta

Modificada de Odum, Conway, Altieri, y Gliessman.²⁶

²⁶ ODUM, E. P. Properties of agroecosystems. *En: LOWRANCE, R.; STINNER, B. R. & HOUSE, G. J., eds. Agricultural ecosystems: unifying concepts.* New York: John Wiley & Sons, 1984. pp. 5-12.
 CONWAY, G. R. Agroecosystem analysis. *Agric. Admin.*, 20:31-55, 1985.
 ALTIERI, M. A. *Agroecology: the scientific basis of alternative agriculture.* *Op. cit.*
 GLIESSMAN, S. R. *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible.* *Op. cit.*

Perspectivas futuras

Los problemas que sufre la agricultura crea la presión para hacer los cambios que nos llevarían a la agricultura sostenible. Sin embargo, expresar una necesidad de la sostenibilidad no es lo mismo que cuantificarla y hacer los cambios que se necesitan. El diseño y manejo de los agroecosistemas sostenibles, como un enfoque, está en sus etapas formativas. Se contruye inicialmente sobre los campos de la Ecología y las Ciencias Agrícolas, y emerge como la ciencia de la Agroecología. Esta combinación puede jugar un papel importante en desarrollar el conocimiento necesario para la transición a una agricultura sostenible.

Sin embargo, la agricultura sostenible es más. Incorpora una perspectiva cultural a la medida que el concepto se expande para incluir los humanos y sus impactos sobre los ambientes agrícolas. Los sistemas agrícolas son el resultado de la co-evolución que ocurre entre la cultura y el medio ambiente, y una agricultura sostenible que valora los componentes humanos tanto como los ecológicos. Nuestra "piscina" pequeña dentro del "río" se vuelve el punto clave para cambiar nuestra forma de practicar la agricultura, pero el cambio debe ocurrir dentro del contexto de las sociedades humanas en donde se practica la agricultura, el río entero en esta analogía.

Todos los sistemas agrícolas no pueden ser concebidos jamás estrictamente como actividades productivas impulsadas principalmente por las presiones económicas. Tenemos que reestablecer una conciencia de las bases ecológicas fuertes sobre las cuales la agricultura se desarrolló originalmente y de las cuales depende finalmente. Se ha dado muy poca importancia a los impactos de "río abajo" que se manifiestan fuera de la parcela, sea por los ecosistemas naturales alrededores de las comunidades humanas. Se necesita una base interdisciplinaria para evaluar estos impactos.

En el contexto más amplio de la sostenibilidad, debemos estudiar el medio ambiental del agroecosistema, tanto como el complejo de procesos involucrado en el mantenimiento de la productividad a largo plazo. Primero, deberíamos establecer la base ecológica de la sostenibilidad en términos del uso y conservación de los recursos, incluyendo el suelo, el agua, los recursos genéticos y la calidad del aire. Después debemos examinar las interacciones entre los varios organismos del agroecosistema, empezando con las interacciones al nivel de especie individual, terminando al nivel de ecosistema mientras que se manifiesta nuestro conocimiento de las dinámicas del sistema entero.

Stephen R. Gliessman es botánico, PhD en Ecología de Plantas y profesor de Agroecología en el Departamento de Estudios Ambientales de la Universidad de California, Santa Cruz, Estados Unidos.

gliess@ucsc.edu

Traducción inicial del texto en inglés de Roseann Cohen, alumna en el programa de doctorado en el Departamento de Estudios Ambientales de la Universidad de California. Carlos Guadarrama Zugasti, del Centro Regional de la Universidad Autónoma de Chapinigo en Huatusco, Veracruz, México, tradujo la figura 1.

Entonces, nuestra comprensión de los procesos al nivel de ecosistema debe integrar los aspectos múltiples de los sistemas sociales, económicos y políticos dentro de los cuales funcionan los agroecosistemas, haciéndolos aún más complejos. Tal integración del conocimiento ecológico y social de los procesos agrícolas no nos llevará solamente a la reducción de insumos sintéticos usados para mantener la productividad. Además nos permitirá la evaluación de tales propiedades de los agroecosistemas como los efectos a largo plazo de distintas estrategias de insumo/egreso, la importancia de los servicios ambientales proporcionados por el paisaje agrícola, y las relaciones entre los componentes económicos y ecológicos del manejo sostenible del agroecosistema. La selección y comprensión apropiada de los insumos agrícolas de “río arriba” nos aseguran que los impactos “río abajo” promoverán un futuro sostenible.

PLURALISMO EPISTEMOLÓGICO E METODOLÓGICO COMO BASE PARA O PARADIGMA ECOLÓGICO

João Carlos Costa Gomes

O conceito de paradigma tem sido utilizado de forma indistinta para os campos científico, social e ambiental. A mudança de paradigma, nunca pacífica, é provocada pelo surgimento de anomalias, ou seja, pela violação de expectativas por ele geradas. A transição na sociedade, menos visível, envolve a democracia, a política, a ética, a visão de mundo, o jogo do poder, a inclusão ou a exclusão, o local ou o global. A construção do “paradigma ecológico”, ou agroecológico para o caso da agricultura, está em processo, ou seja, o velho já não serve e o novo ainda não está perfeitamente delineado. Uma coisa é certa: será impossível consolidar um novo paradigma partindo da mesma base teórica que fundou o atual. Uma das tarefas urgentes neste processo é a desconstrução desta base teórica, para depois elaborar uma outra base, que permita uma ciência que seja sábia, mas que possa ser apropriada democraticamente.

O conceito “paradigma” tem sido largamente usado, muitas vezes indistintamente nos campos científico, social e ambiental. O sentido original de “paradigma”, como formulado por Thomas Kuhn em *Estrutura das revoluções científicas*, publicado em 1962, é aplicado ao estudo da evolução da ciência e é constituído de três elementos: os problemas considerados como resolúveis, o tipo de respostas válidas e os métodos admitidos como efetivos. Este quadro de elementos constituía o referencial maior para a própria ciência, indicando as entidades e categorias aceitas como “reais”. Ou seja, quando apreende um paradigma, um pesquisador adquire ao mesmo tempo teoria, métodos e normas, quase sempre em uma mescla inseparável. Por outro lado, um cientista maduro já não precisa preocupar-se muito em justificar o uso dos conceitos, isso é uma coisa que já não suscita dúvidas no marco de referência do próprio paradigma.

A mudança de paradigma, nunca pacífica, é provocada pelo surgimento de anomalias, ou seja, pela violação de expectativas geradas no âmbito do paradigma e que não são explicadas pelos instrumentos que ele (paradigma) oferece. O processo de mudança afeta a estrutura da comunidade científica, implicando o desaparecimento gradual de um dos grupos em confronto, devido à “conversão” de alguns de seus membros ao novo paradigma.

Um dos pontos mais importantes na formulação original de Kuhn foi o conceito de incomensurabilidade entre paradigmas, o que quer dizer que dois paradigmas diferentes não são comparáveis entre si, o que por sua vez torna impossível que pesquisadores que atuam em paradigmas distintos cheguem a um acordo sobre problemas a resolver, ou sobre normas e definições científicas. Os pesquisadores de paradigmas diferentes vêem coisas diferentes quando olham na mesma direção, a partir de um mesmo ponto de referência. Daí que a comunicação somente seria possível pela reconversão de um dos grupos. Os ataques ao conceito de incomensurabilidade fizeram com que Kuhn reformulasse tanto o conceito, que ele acabou desfigurado ao ponto de não mais representar ameaça para a comparação de paradigmas. Este relaxamento conceitual levou a que alguns pesquisadores vissem na “evolução” kuhniana “uma das típicas trajetórias individuais de nosso tempo: o revolucionário radical dos anos 60 transformado num bem comportado burguês dos 90”.¹

A propósito da ambigüidade que o conceito de paradigma sempre carregou, Margareth Masterman, pesquisadora identificada com as teses kuhnianas, flagrou 21 significados

¹ GUTIERRE, J. H. B. O que há de polêmico na idéia Kuhniana de incomensurabilidade? *Principia, Revista Internacional de Epistemologia*, v. 2, n. 1, 1998. p. 21-35.

diferentes para o conceito paradigma no próprio livro de Kuhn. Outro tipo de crítica a Thomas Kuhn foi que sua proposta sobre o estudo da evolução da ciência, tomando por base os conceitos de paradigma, anomalias e revoluções científicas, ficou restrito ao campo interno da própria ciência. Ou seja, ainda que sua contribuição tenha sido valiosa ao submeter a concepção positivista da ciência a uma crítica radical, ao reduzir o estatuto da invenção, da validação e da refutação de teorias científicas ao âmbito interno da própria comunidade científica, não problematizou a existência de conflitos na sociedade, nem o papel dos cientistas nesses conflitos ou a mediação possível entre ciência e sociedade, oferecendo margem muito pequena para uma crítica social da ciência e para a sua conexão a processos sócio-políticos mais amplos. Ainda que faça referências dispersas sobre a complexidade da relação entre comunidade científica e sociedade, não indica pistas para sua elucidação sistemática, além de conferir pouca importância ao tema. Boaventura de Sousa Santos, por exemplo, considera que seria possível superar esta falta através da articulação do pensamento de Kuhn com o de Marx.²

² SOUSA SANTOS, B. *Introdução a uma ciência pós-moderna*. Porto: Afrontamento, 1995. 199 p.

Mais tarde, o físico Fritjof Capra tomou de Kuhn a definição sobre paradigmas e a ampliou da ciência para o âmbito da sociedade. Um paradigma social é um conjunto de conceitos, valores, percepções e práticas, compartilhados por uma comunidade, que forma uma visão particular da realidade, o que por sua vez determina a própria forma de organização da comunidade. É importante destacar a dimensão comunitária: uma pessoa pode ter uma perspectiva global, mas o paradigma há de ser compartilhado no interior da comunidade. Hoje em dia se pode dizer que as ameaças representadas pela devastação do meio ambiente e a persistência da pobreza, problemas impossíveis de resolver pelo antigo paradigma, não são mais que a indicação de que o paradigma social alcançou seus limites.³

³ CAPRA, F. *O ponto de mutação*. São Paulo: Cultrix, 1992. 447 p.

Outro acréscimo na teorização sobre os paradigmas, no sentido da compreensão do que ocorre na sociedade, é do epistemólogo português Boaventura de Sousa Santos, para quem os paradigmas socioculturais nascem, desenvolvem-se e morrem. Mas,

ao contrário do que se passa com a morte dos indivíduos, a morte de um paradigma traz dentro de si o paradigma que lhe há de suceder, ainda que esta passagem da morte para a vida não disponha de um referencial seguro ou firme o suficiente para ser percorrida com segurança. O que nasce é incomensurável com o que morre, não havendo,

*pois, nem ressurreições nem reencarnações. O problema é que não há passagem senão entre pensamentos comensuráveis. Por outro lado, também ao contrário do que sucede com os indivíduos, só muitos anos, senão mesmo séculos depois da morte de um paradigma sociocultural, é possível afirmar com segurança que morreu e determinar a data, sempre aproximada de sua morte. A passagem entre paradigmas – a transição paradigmática – é, assim, semicega e semi-invisível.*⁴

⁴ SOUSA SANTOS, B. *A crítica da razão indolente: contra o desperdício da experiência*. São Paulo: Cortez, 2000. 415 p.

Sousa Santos distingue na transição paradigmática duas dimensões principais: a epistemológica e a societal. A transição epistemológica ocorre entre o paradigma dominante da ciência moderna e o paradigma emergente. A transição societal, menos visível, envolve campos como o da democracia, da política, da ética, da visão de mundo, o jogo do poder, a inclusão ou a exclusão, o local ou o global, entre outras coisas. A definição da transição paradigmática implica a definição de lutas paradigmáticas para aprofundar a crise do paradigma, acelerando a transição. Ocorre que a transição paradigmática é objetivo de muito longo prazo; as lutas sociais, políticas e culturais, até por uma questão de credibilidade, têm de ocorrer no curto prazo, “no prazo de cada uma das gerações com capacidade e vontade para as travar”⁵.

⁵ SOUSA SANTOS, B. *Op. cit.*, 2000.

A discussão sobre as mudanças paradigmáticas, como formuladas por cientistas como Capra e Sousa Santos, tem fundamentado boa parte da busca de novos modelos, tanto para a ciência como para a organização da sociedade. Neste contexto é que surge o conceito de “paradigma ecológico”. O paradigma *ecológico* vai muito além da ciência; em seu sentido mais amplo, o conhecimento ecológico está ligado com a consciência e com a experiência, compreende a interconexão e a interdependência de todos os fenômenos em suas dimensões sociais, culturais, ambientais e econômicas. Esta visão está além das atuais fronteiras disciplinares e das próprias estruturas institucionais. Neste sentido, ainda que a transição paradigmática esteja em curso, hoje não se vislumbra alguma estrutura específica que abrigue o novo paradigma, o que acontece é encontrar indivíduos, comunidades e organizações que desenvolvem novas formas de pensamento e de ação compatíveis com o novo paradigma. Uma coisa é certa: a humanização da ciência não significará um retorno ao passado, ao contrário, exigirá novas formas de tecnologia e de organização social.

⁶ CAPRA, F. *Op. cit.*

Capra também considera a ética como uma questão urgente a ser incluída na pauta científica.⁶ Hoje uma boa

parte do que fazem os cientistas não resulta na promoção ou na preservação da vida, tendo mais o sentido da sua própria destruição. Como exemplo cita os físicos, que projetaram sistemas de armamentos capazes de destruir o planeta várias vezes; os químicos, que desenvolvem produtos de alto potencial contaminante, responsáveis pela contaminação em escala global; os biólogos, que criam novos e desconhecidos microorganismos, sem saber as conseqüências de sua criação; outros cientistas que torturam animais em nome do progresso da ciência; afora tudo o que se faz na engenharia genética, onde parece que o homem quer “brincar de Deus”.

Considero que estamos num período de transição paradigmática, e que ainda que o “velho” já não sirva, o “novo” não está completamente conformado. Portanto, o paradigma ecológico, ou agroecológico para o caso da agricultura, não pode pretender ser o único, deve ser essencialmente *pluralista*. Ao abdicar de qualquer tipo de exclusivismo e de hegemonia, o paradigma ecológico deve ter como pauta uma relação plural e de coexistência com outros paradigmas. Esta pequena digressão teórica e contextualização histórica objetivam colocar em discussão o que considero uma contribuição para as “bases do paradigma ecológico”.

A partir da reconstrução crítica de algumas concepções teóricas sobre o conhecimento científico técnico, se tenta resgatar alguns elementos que permitam fundamentar a proposta do pluralismo epistemológico e metodológico como base para o paradigma ecológico. A referência ao método pelo uso do adjetivo “metodológico” tem um sentido amplo, não só relativo às técnicas de pesquisa, ainda que também a elas nos referimos. O “epistemológico” indica a necessidade de que a busca do “novo” seja processada a partir de uma reflexão teórica possível, desde uma teoria do conhecimento que vá além do campo científico (portanto que incorpore os “saberes cotidianos” como fonte de conhecimento válido). Com a expressão pluralismo nos estamos referindo aos seguintes aspectos: pluralidade de contextos e soluções para a produção e circulação do conhecimento; abertura aos conhecimentos e técnicas tradicionais como fonte de conhecimentos válidos; implicação do contexto social e suas demandas na produção e circulação do conhecimento numa perspectiva interdisciplinar.

Para a construção de um *marco geral para o pluralismo*, destacam-se alguns elementos e concepções teórico-epistemológicas. Algumas delas estão diretamente relacionadas com as questões sociais, ambientais, econômicas, técnicas

ou metodológicas que envolvem a produção e circulação do conhecimento ecológico ou a convivência e relação entre o ser humano e a natureza. Outras são de conteúdo mais teórico. Sem dúvida, para aqueles que exercem suas atividades no campo da Ciência e da Tecnologia, não será difícil estabelecer conexão com suas próprias práticas, ainda que, pela influência do próprio paradigma dominante, muitos sejam pouco habituados à reflexão teórica.

O filósofo austríaco Karl Popper⁷ foi um dos que questionou alguns dos principais argumentos do chamado paradigma newtoniano-cartesiano, que durante boa parte do século foi o sustentáculo da ciência ocidental, como a busca da verdade e os critérios de demarcação entre ciência e não-ciência, por exemplo. Desde um ponto de vista metodológico, Popper introduz o método dedutivo em lugar do indutivo e o falseamento em lugar da verificação de hipóteses na produção do conhecimento científico. Gaston Bachelard⁸ também já indicava a necessidade de “arrombar” o pensamento cartesiano, visto que o vetor epistemológico vai do racional para o real: a ciência é quem ilumina a razão. Ou como dizia: a dúvida está pela frente, nunca atrás. A crítica destes autores ao empirismo e ao racionalismo, ainda que date do início dos anos 30, ainda é pertinente, pois há que recordar que hoje em dia, em muitas instituições de pesquisa e de ensino, a corrente metodológica dominante é a que prega a “verificação” de hipóteses de acordo com as regras do próprio empirismo lógico.

Entretanto, se existem em Popper contribuições sem dúvida de alta importância para o desenvolvimento da ciência, alguns reparos devem ser feitos sobre as conseqüências de alguns de seus aportes para o desenvolvimento da sociedade, como conseqüência do que propõe em algumas de suas obras. Um dos pressupostos deste texto é a crise do paradigma da ciência e da sociedade modernas e a constatação do alto grau de vinculação entre saber e poder verificados na atualidade. É impossível ignorar a influência de Popper na ciência e, portanto, sobre a própria sociedade. Se para Popper o modelo de sociedade é a liberal e se a sociedade liberal está em crise, então o modelo de ciência de Popper não pode ficar fora do contexto da crise. Portanto, devem ser assinalados alguns problemas que surgem do traslado do pensamento popperiano da epistemologia e da metodologia científica para o campo sócio-político, já que em sua opção ético-política está embutida a idéia de manutenção do modelo social, isto é, de manutenção do *status quo*.⁹ Ou seja, ainda que de Popper deva ser considerada sua

⁷ POPPER, K. *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Tecnos, 1997. 451 p.

⁸ BACHELARD, G. *O novo espírito científico*. Lisboa: Edições 70, 1996. 125p.

⁹ Veja-se Jiménez Perona: “não há que esquecer que o racionalismo crítico não se concebe como opção política, senão como *corpus* teórico-normativo com a meta de incidir na práxis, contribuindo para a ilustração dos membros da sociedade”. Todavia, o modelo de sociedade concebido por Popper não é outro que a sociedade ocidental com sua escala de valores. Aquilo que se insinuava na “etificação do pensamento de Popper, se concretiza em sua opção por uma das possíveis alternativas de modelo social: a democrático-liberal, em cujo interior cabem políticas concretas e pontuais de corte mais ou menos social-democrata ou mais ou menos liberal”, daí derivando os diversos aproveitamentos políticos da filosofia popperiana. O interesse de Popper é o de “proponer mudanças intra-sistemáticas graduais com o fim de não provocar comoções que possam pôr em perigo o *status quo*”. Isto está muito próximo do que dizia o conde de Lampedusa: é preciso que algo mude para que tudo siga igual. JIMÉNEZ PERONA, A. Algunas dificultades del criticismo epistemológico popperiano: los límites del falibilismo. *Anales del Seminario de Metafísica*, 25: 9-23, 1991.

contribuição para a epistemologia e a metodologia científica, não se pode esquecer a utilização política de seu ideário e seus desdobramentos para o “campo da vida”, no sentido que lhe confere Jürgen Habermas.

Outra questão cara para o empirismo lógico era a dos contextos da pesquisa científica, com sua opção pela consideração quase exclusiva da importância do contexto da justificação epistemológica para a atividade científica. A Nova Filosofia da Ciência, com T. Kuhn a frente, já havia expressado sua reação contra esta exclusividade (e também contra outras teses fundamentais para o positivismo lógico, como a base empírica teoricamente neutra e o caráter acumulativo do conhecimento científico). A denúncia da falsa neutralidade na ciência já havia sido realizada por Heisenberg e Bachelard, ao apontar a ação específica que o observador exerce sobre o objeto de sua observação.

Na ciência contemporânea esta questão ganha corpo: Habermas¹⁰ propõe sair da pretendida asséptica relação de tipo sujeito-objeto para uma relação intersubjetiva, de sujeito-sujeito, trazendo a ciência para este mundo em que as coisas acontecem, o mundo da vida dos homens, onde a relação entre iguais deveria ser fundamentada pela ação comunicativa entre os sujeitos. Como não existe o conhecimento desinteressado, é necessário situar o observador dentro e em relação com a sociedade, explicitando que papel ele desempenha como ator social. Outros autores também enfatizam a atividade dos cientistas e o papel que desempenham como atores relevantes para as mudanças sociais ou para a manutenção das coisas como estão. Hoje em dia, é impossível passar por alto que saber é poder e que a ciência tanto pode estar a serviço da construção de sujeitos sociais como de sua exclusão.

No paradigma em construção, é necessário esquecer a objetividade e a neutralidade do modo como pretenderam os positivistas em suas diferentes matizes. Sob a influência do positivismo, os sociólogos e os teóricos da ciência têm debatido a questão da objetividade do conhecimento a partir do modelo das ciências naturais, que exige observação quantitativa dos fenômenos e privilegia a indução na construção das teorias. Nessa perspectiva, o momento da investigação não é problematizado em sua dimensão social, é considerado como simples registro dos dados e garantia de neutralidade.¹¹ A neutralidade metodológica aponta diversas distorções ideológicas inerentes às técnicas ou métodos de pesquisa tal como são utilizados, quando desprovidos de uma reflexão sobre o seu significado e papel social.

¹⁰ HABERMAS, J. *Ciencia y técnica como “ideología”*. Madrid: Tecnos, 1994. 181 p.

¹¹ A neutralidade axiológica, desenvolvida por Max Weber, como requisito científico consiste na capacidade do cientista de neutralizar suas próprias avaliações ou seus valores para reconhecer e apresentar os fatos objetivos (THIOLLENT, M. *Crítica metodológica, investigação social e enquete operária*. São Paulo: Polis, 1982. 270 p.). A falsa neutralidade no âmbito das técnicas ou procedimentos de pesquisa, foi denunciada por BOURDIEU, P.; CHAMBOREDON, J. C. & PASSERON, J. C. *El oficio del sociólogo*. Buenos Aires: Siglo Veintiuno, 1975. 328 p.

Contra a ilusão da neutralidade, é necessário destacar que os métodos e técnicas de investigação, junto com os conceitos e teorias, são os instrumentos de produção do conhecimento concreto. Os modos de obtenção e de processamento da informação têm influência sobre os resultados a alcançar, independente dos valores ou da intenção dos pesquisadores. Mesmo quando o tema central de programas ou projetos está relacionado com interesses de alguma classe particular, a opção pela aplicação de determinados métodos já predetermina o tipo de resultado que pode ser alcançado e o tipo de uso que dele pode ser feito, independente das preferências político-ideológicas dos participantes desses programas e projetos.

Paul Feyerabend¹² criticou a especialização das “formas humanas”, que assumem a sacralização a-crítica da ciência e do método científico, afirmando que é necessário compatibilizar o conhecimento científico que não tem o monopólio da verdade, com outras formas de conhecimento. Na mesma linha, Sousa Santos, com a dupla ruptura epistemológica, pretende uma ciência prudente e um sentido comum esclarecido, dando lugar a outra forma de conhecimento e a uma nova configuração para o saber, que sendo prático não deixe de ser esclarecido e que sendo sábio não deixe de ser democraticamente distribuído. Richard Norgaard e Victor Toledo¹³, por sua vez, oferecem subsídios para estudar as relações entre diversos tipos de conhecimento, considerando a coevolução entre sistemas sociais e ambientais sem depreciar a sabedoria, o “corpus” e a “práxis” dos agricultores (a epistemologia natural) no manejo de conhecimentos milenares, que serviram de suporte para o desenvolvimento da sociedade moderna, hoje considerados importantes elementos na consolidação do “paradigma emergente”.

Quanto à idéia de democratização na ciência, os aportes não são menos incisivos.¹⁴ Habermas já considerava que está cada vez mais difícil o acesso aos resultados de pesquisa com mais conseqüências práticas, dado o interesse econômico que está por trás das demandas, por um lado, e a vigência de uma ordem político-institucional que redundou no encapsulamento burocrático das instituições, por outro. Propõe uma mudança de paradigma que se abra para a democracia participativa como forma de superar a assimetria social entre incluídos e excluídos. Funtowicz & Ravetz¹⁵ vêm no resgate da participação cidadã a oportunidade para a reconstrução de sujeitos, em um contexto onde tensões e conflitos coexistam com a participação e com a diversidade, construindo um novo tipo de aliança, tanto na sociedade como na ciência.

¹² FEYERABEND, P. *Tratado contra el método*. Madrid: Tecnos, 1992. 319 p.

¹³ NORGAARD, R. *Development Betrayed: the end of progress and a coevolutionary revisioning of future*. London: Routledge, 1994.
TOLEDO, V. M. T. What's ethnoecology? *Etnoecológica*, v. 1, n. 1, p. 5-21, 1992.

¹⁴ Valdez assinala dois elementos para “a epistemologia da criação”: somos uma sociedade em transição e buscamos viver melhor e mais abundantemente. Ainda que o novo conhecimento seja fundamental, dificilmente podemos pensar em ter um conhecimento de validade universal. Necessitamos de conhecimento essencialmente aproximativo, tentativo, referencial. Por outro lado, se falamos de busca de justiça, dignidade, autonomia, etc., falamos de finalidades humanas presentes nos processos de conhecimento. Ou seja, estamos tratando de conhecimentos interessados, não neutros nem assépticos.
VALDEZ, J. C. Hacia una epistemología de la creación. *Anthropos (Los Teques)*, 10:18, 1989. p. 143-152.

¹⁵ FUNTOWICZ, S. & RAVETZ, J. *Epistemología política: ciencia con la gente*. Buenos Aires: Centro Editor de América Latina, 1993. 94 p.

¹⁶ ESPINOSA, L. de; GONZÁLES GARCIA, J. M. & TORRES ALBERO, C. *La sociología del conocimiento y de la ciencia*. Madrid: Alianza, 1994.

¹⁷ A apelação à soberania do sujeito frente à falácia de um “social” sempre mítico não é um recurso de sobrevivência frente à dominação, mas a recuperação de uma nova subjetividade vivida e pensada como crítica radical desta civilização. LANZ, R. Repensar el método. *Anthropos (Los Teques)*, (10), n. 18, 1989. p. 113-120.

Mas isso não é tudo nem suficiente. Como aponta Bachelard, se não há pergunta não há conhecimento, ou como expressam Lamo de Espinosa e outros¹⁶: as perguntas não feitas podem permanecer para sempre sem resposta. Portanto, se uns têm a prerrogativa de perguntar e outros não, as respostas produzidas no processo de geração de conhecimento para eles estarão dirigidas. Portanto, a consideração do social e do humano na ciência e na produção do conhecimento não pode ficar como mera abstração¹⁷. Significa falar de pessoas que vivem e sofrem todas as consequências dos processos que têm sido motivo de crítica, todavia não significa só falar de relações sociais e ambientais excludentes; é necessário que a ciência seja produzida no “mundo da vida”, com e para os cidadãos, como propõem Funtowicz & Ravetz através da “epistemologia política”. Significa introduzir a questão da ética nas pautas das instituições para que seu comportamento não permaneça como o das criticadas “torres de marfim” comandadas pelas “comunidades restringidas de pares”.

Como se observa, um dos grandes debates epistemológicos das últimas décadas tem sido o relativo a mudança de paradigma científico. Este debate ainda prossegue em múltiplas ramificações; uma delas se refere ao papel da interdisciplinaridade, o que supõe duas premissas de partida: o reconhecimento de que a separação disciplinar é um obstáculo para abordar problemas complexos e que, por outro lado, é necessária uma certa autonomia disciplinar e investigadora na produção e circulação do conhecimento. O enfoque interdisciplinar significa a possibilidade de reintroduzir a interdependência entre os fenômenos e a globalidade analítica na ciência, ocupando ainda um lugar privilegiado no debate sobre o próprio futuro das ciências. Não obstante, a distância existente entre os métodos de pesquisa nas diferentes disciplinas e domínios da ciência, a partir dos quais se organiza e se valida o saber, levam a considerar a perspectiva interdisciplinar como um objetivo difícil de ser alcançado.

A aproximação disciplinar não pode ser obtida a partir de posições extremas: nem da reducionista, que apaga a especificidade dos fenômenos que pertencem ao domínio de cada disciplina, nem da que ergue barreiras intransponíveis entre elas. Somente uma nova ótica epistemológica pode superar esta contradição e mostrar a possibilidade de integrar os estudos disciplinares numa prática concreta, respeitando a especificidade do domínio de cada disciplina, o que depende de uma concepção unificada, não reducionista e compatível com a *pluralidade das ciências*.¹⁸

¹⁸ GARCÍA, R. Interdisciplinariedad y sistemas complejos. In: LEFF, E. (com.) *Ciencias sociales y formación ambiental*. Barcelona: Gedisa, 1994. p. 85-124.

A interdisciplinaridade deve servir para superar a compartimentalização do conhecimento, característica da prática científica moderna, mas também deve contribuir para democratizar a apropriação do conhecimento e sua circulação em dois sentidos, do técnico ao social e vice-versa. O que significa que, além de participar da formulação de programas ou projetos de interesse social, a sociedade também tem o direito de expressar o que pensa e contribuir com suas diferentes formas de conhecimento e de saber, ou assinalando suas prioridades sociais. A interdisciplinaridade, então, vai além do circuito técnico-acadêmico para assumir ambição democratizadora.

Estas considerações permitem ir delineando (ou construindo) o pluralismo na ciência, na metodologia e na epistemologia, também contribuindo para o delineamento de um “novo paradigma” que atenda às necessidades de uma crise ampla da sociedade moderna e que abre espaço para uma nova visão sobre a “questão ecológica”. Para isso, Prigogine & Stengers propõem uma ciência pluralista em lugar do cientificismo triunfante, baseado em um novo diálogo com a natureza, um novo diálogo experimental que não reduza a natureza a uma entidade muda, sempre forçada a confirmar uma linguagem teórica impregnada não só de valores científicos, mas também histórico-culturais.¹⁹ A pluralidade de perspectivas epistemológicas e metodológicas não pretende a supremacia de umas categorias sociais ou formas de conhecimento sobre as outras, não pretende abolir os especialistas nem a ciência rigorosa, nem tão pouco idealiza o “popular” como fonte de toda a bondade e sabedoria. Dialeticamente, pretende articular conhecimentos, já que necessitamos de tecnologia e ciência de boa qualidade a serviço da integração social.

O pluralismo que defendo não é nem anarquismo nem ecletismo epistemológico e metodológico, sua intenção é a de introduzir objetivos sociais na reflexão epistemológica e metodológica e objetivos teóricos nas reflexões sociais e políticas. Além disso, o pluralismo proposto não nega outros canais de comunicação além do científico entre o homem e seu mundo. Também abriga uma perspectiva mais humanista, ao contemplar a ética como um dos seus componentes.

O pluralismo como base epistemológica e metodológica tanto para a Agroecologia como para a Ecologia, considerada em seu aspecto mais abrangente, ou seja, como uma cosmovisão constituída e orientadora de determinados princípios que se contrapõem ao que é considerado dominante, deve contribuir para superar:

¹⁹ PRIGOGINE, I. & STENGERS, I. *La nueva alianza: metamorfosis de la ciencia*. Madrid: Alianza, 1994. 359 p.

- o preconceito de supremacia das ciências naturais sobre as ciências sociais proposto no fisicalismo;
- o postulado da especialização como única forma capaz de promover o desenvolvimento na ciência, adotando ações de tipo interdisciplinar ou transdisciplinares;
- o princípio de que a aplicação rigorosa “do método”, por si só, garante o êxito da atividade científica. Não existe este tal conjunto de regras infalíveis;
- a prática da “ciência normal”, na qual energia e tempo são gastos na pesquisa do que “já sabemos”; é necessário pesquisar o desconhecido, ainda que isso implique mudanças paradigmáticas no sentido de Kuhn;
- a tendência à captação viciada e seletiva da realidade por verdades que trazemos com nossas tradições (sociais, culturais, institucionais, técnico-científicas, ideológicas);
- o conceito da asséptica, mas inexistente neutralidade dos pesquisadores e a falsa concepção de objetividade na ciência;
- a idéia de um conhecimento que permita o domínio da natureza, introduzindo em seu lugar a de cooperação entre cientistas, cidadãos e a natureza na consolidação da sustentabilidade econômica, social e ambiental;
- as concepções dominantes na ciência tradicional, adotando e consolidando as novas posturas teórico-conceituais relacionadas com as mudanças (paradigmáticas ou não) na ciência e na sociedade;
- a noção de ciência como fonte única de todo conhecimento válido; é necessário articular os conhecimentos científicos com outros da “epistemologia natural”, em benefício da recuperação e manutenção dos recursos naturais.

É necessário, portanto, admitir que todo conhecimento é interessado e que a ciência não tem o monopólio dos conhecimentos válidos. Em lugar de consenso científico excludente, é preciso abrir-se e conviver com o conflito e com a diversidade, como fatores que contribuem para a consolidação de processos participativos e democráticos. É preciso ainda evitar tanto o otimismo como o catastrofismo tecnológico e propor alternativas que contemplem a equidade

e a justiça social, além da sustentabilidade. Finalmente, deve-se considerar a produção do conhecimento mais como domínio de reflexão que de prática, superando o reducionismo ainda dominante.

Em resumo, o pluralismo como base para o paradigma ecológico não é simples rechaço nem ingênua adoração da ciência: é rechaço do cientificismo e instrumento para promover uma ciência comprometida com “a gente” e com suas necessidades. Pluralismo não significa abolir o procedimento rigoroso, sistemático e crítico, nem muito menos a produção de conhecimento de segunda categoria; as mudanças na ciência como as aqui propostas, são dependentes de especialistas e de instrumentos de pesquisa sofisticados. Isso, entretanto, não supõe a liberdade absoluta do pesquisador, nem que o novo paradigma deva ser um produto exclusivo da atividade científica. A ciência, como outras atividades, deve ser submetida a algum tipo de controle pela sociedade.

João Carlos Costa Gomes é engenheiro agrônomo, doutor em Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável e pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Clima Temperado, Pelotas, Rio Grande do Sul.
costa@cpact.embrapa.br

A PESQUISA E OS DESAFIOS DA TRANSIÇÃO AGROECOLÓGICA

João Carlos Canuto

Há três décadas, quando ficou claramente pautada na agenda intelectual a questão ambiental e suas implicações no conceito de desenvolvimento, a partir da “descoberta” dos chamados limites naturais, desencadeou-se toda a discussão sobre o desenvolvimento sustentável. Nesse período houve uma ecologização geral dos discursos, que permeou os mais diferentes setores sociais. Em consequência, o conceito de desenvolvimento sustentável guarda grande ambigüidade e é pouco operacional. Além disso, padece de um processo de banalização crescente. A rigor, não existe um, mas diversos conceitos de desenvolvimento sustentável, os quais estão em disputa na arena política, buscando legitimação.

Na constelação de atores, os movimentos sociais percebem a existência de uma relação íntima entre os impactos sociais e os ambientais do modelo de crescimento econômico “ilimitado”. Isto se consubstancia em práticas de ecologismo popular, que unem as demandas clássicas da questão social às da questão ecológica emergente. A agricultura familiar com enfoque agroecológico é hoje, sem dúvida, uma das formas de expressão daquele ecologismo popular. Para firmar-se, transitando da generalidade para a operacionalidade, depende de um aporte científico que proporcione bases técnicas concretas e permita viabilizar os sistemas produtivos, tanto para a reprodução social das famílias, como para a preservação dos recursos naturais.

Algumas questões relacionadas ao avanço da agricultura sustentável

Há hoje melhor compreensão sobre o tema da sustentabilidade. A sustentabilidade entendida como mitigação de impactos ambientais negativos, pela aplicação de sempre novas tecnologias, ignora o processo de entropia inerente à atividade econômica. Somente o respeito a um grau de exploração dos recursos naturais compatível com sua regeneração e permanência, pode proporcionar o desenvolvimento de uma atividade sustentável. Mais que isso, a sustentabilidade não pode ser medida apenas por sua porção estritamente ecológica, mas tem que levar em conta as dimensões econômica e social.

Os rumos que tomaram os diversos estilos da agricultura ecológica denotam interessantes situações. Presencia-se nos últimos anos um certo movimento de convencionalização dessas agriculturas, que se traduz por diversas evidências. Do ponto de vista especificamente ecológico, muitos estilos de agricultura, marcadamente as de orientação estritamente mercantil, têm mostrado extrema simplificação, mantendo apenas uma ecológização seletiva, suficiente para a obtenção, em escala comercial, de produtos sem resíduos de agrotóxicos. A biodiversidade tem caráter meramente funcional e a integração e sinergia são muito pontuais, não ligando os diversos elementos do sistema.

Com relação à tecnologia, as agriculturas ecológicas de mercado cumprem uma normatização técnica que orienta as práticas de campo e garante, uma vez mais, o chamado produto limpo. Também tem destaque o fato de que os agrotóxicos, cada vez mais, dão lugar aos insumos biológicos, que reduzem impactos ambientais, porém não rompem com a lógica da dependência externa do agricultor.

Vendo-se pelo prisma socioeconômico, a agricultura ecológica de mercado, por estar condicionada ao cumprimento de normas técnicas, a ritos de certificação e outros mecanismos associados, tende a provocar um processo de exclusão dos agricultores mais pobres. A base genética agrícola é igualmente estreita nesses estilos de agricultura, o que não facilita o alcance de um estado de segurança alimentar. Os consumidores das camadas populares seguem o mesmo caminho dos agricultores, visto que os preços diferenciados os afastam do consumo de produtos ecológicos. Desse modo, esses estilos de agricultura não proporcionam a inversão das condições de geração de emprego e renda, a inclusão social e o gozo mais pleno da cidadania.

Algumas questões devem avançar para que tenhamos a agricultura agroecológica como verdadeira expressão socioambiental, que proporcione a convergência entre objetivos sociais e qualidade ambiental. Uma delas é, sem dúvida, a mobilização social. Somente a agricultura ecológica familiar poderá construir essa alternativa, com a qual se promove a passagem de uma agricultura ecológica a uma agricultura ecologista e da perspectiva do produto limpo à da qualidade ambiental mais global. Tal mobilização deverá envolver distintos grupos: os jovens, para quem os sistemas agroecológicos possam ser base para trabalhos de educação ambiental; os consumidores, no sentido de lhes aumentar a compreensão e valorização da agricultura sustentável e fortalecer laços de cooperação entre eles e os agricultores; a mídia, para que estabeleça um processo de mudança de valores relacionados à agricultura sustentável, através da compreensão e difusão de suas vantagens, expressas como externalidades positivas para a sociedade como um todo.

Os desafios para o avanço da consciência e da prática da agricultura sustentável passam pela compreensão ampliada das dimensões social e ambiental. Este esforço busca alcançar a plenitude da perspectiva socioambiental embutida no conceito de desenvolvimento sustentável. A pesquisa pode e deve contribuir para superar alguns dos impasses, procurando não reforçar o reducionismo em que estão aprisionadas hoje as agriculturas ecológicas de mercado.

Insuficiências atuais da pesquisa para o enfoque agroecológico

O desencadeamento de um movimento favorável à expansão da Agroecologia pede um roteiro concreto. Dentro dele, a pesquisa tem papel estratégico, o qual poderá ser cumprido quando as condições de compreensão e de aplicação da proposta agroecológica evoluírem na sociedade e, em especial, no ambiente institucional de pesquisa. Algumas de nossas insuficiências são comentadas aqui.

Uma primeira insuficiência é a falta de clareza conceitual sobre a Agroecologia entre os atores envolvidos, especificamente entre os pesquisadores. A Agroecologia é freqüentemente assumida como uma técnica isolada, sem relação com sistemas sociais mais amplos. À semelhança do que acontece com o desenvolvimento sustentável, a ecologização dos discursos banalizou igualmente o conceito de Agroecologia, por aceitar praticamente qualquer apelo com nuances ecológicas.

A falta de uma compreensão mais ampla, por parte dos pesquisadores, sobre o potencial técnico e social da Agroecologia, também precisa ser superada. A Agroecologia acumula conhecimentos de tantas origens, que constitui um verdadeiro estoque de alternativas para responder às mais diferentes realidades e aos mais diversos problemas técnicos e sociais.

O pequeno número, a dispersão e a falta de comunicação entre os pesquisadores ainda hoje não permitem um avanço da proposta. A articulação mais orgânica entre eles, não obrigatoriamente institucionalizada, deve ser estimulada. Isso dará mais velocidade e racionalidade ao avanço do enfoque agroecológico, evitando a dispersão de esforços.

Outra deficiência clara é a baixa interação entre especialistas de distintas áreas do conhecimento, como a agrônômica, a socioeconômica e a ecológica. Como exemplo podemos citar a ainda reduzida incorporação dos preceitos ecológicos pelos agrônomos e dos conhecimentos agrônômicos pelos biólogos e ecólogos. De modo geral, a aproximação mais difícil tem sido a dos pesquisadores das ciências sociais com os das ciências agrárias.

As agências de fomento à pesquisa podem cumprir papel fundamental no sentido de incentivar métodos inovadores de pesquisa e de pautar sua dimensão social. Até o presente, ainda são tímidas a incorporação da perspectiva agroecológica e a sua tradução em recursos, assim como a mudança na composição e nos critérios das câmaras de avaliação técnica de projetos.

Além das insuficiências apresentadas, um vazio dos mais comprometedores é, sem dúvida, o que se percebe na distância entre as agendas de pesquisa das instituições oficiais e as necessidades reais dos agricultores. A fraca interação entre estes grupos, a falta de mecanismos de levantamento sistemático de demandas sociais e o enfoque predominantemente cientificista dos pesquisadores, produzem uma desconexão entre os interesses dos agricultores e os dos pesquisadores. A aproximação negociada entre esses interesses é uma condição essencial, podendo proporcionar a construção de respostas úteis, sem comprometimento do rigor científico da pesquisa.

Fontes de conhecimento como referência para a pesquisa agroecológica

O estabelecimento de um novo padrão tecnológico não se dá sem uma construção articulada. O papel do conhecimento para o estabelecimento de um modo mais sustentável

de agricultura é crucial. A pesquisa agropecuária com enfoque agroecológico nasce de diversas fontes, mas só se consolida a partir da filiação destas distintas formas de conhecimento à arquitetura inovadora exigida pelos agroecossistemas sustentáveis.

A agricultura denominada moderna se estabeleceu ao longo de um século, a partir do desenvolvimento da química agrícola e de outros avanços, como a mecanização, os pesticidas e um conjunto de práticas associadas. Hoje, quando surge a perspectiva de aplicação da Agroecologia à concepção dos novos agroecossistemas¹, se estabelece a necessidade fundamental de que o trabalho de pesquisa dê suporte à transição. Essa passagem de um estado a outro de sustentabilidade não se alcançará sem uma reestruturação do modo de fazer agricultura, que deverá dar-se de maneira gradual, em um processo de construção social.

O papel do conhecimento para alavancar a transição é central. Nesse sentido, é de suma importância que se estude melhor a dimensão propriamente ecológica dos sistemas agrícolas. A formação em ciências agrárias mostra grande deficiência nesse particular. Na falta de oportunidades de capacitação, a superação deste impasse pode passar pela revalorização do importante estoque de conhecimento agroecológico existente (indígena, tradicional, convencional ou orgânico). Tal conhecimento, entretanto, pode não fazer sentido sem a submissão a novos princípios de organização do pensamento. Da mesma forma que o conhecimento prático, não é menos importante o desenvolvimento do conhecimento científico básico, visto que ainda existe uma grande margem de desconhecimento sobre problemas tecnológicos específicos, cuja solução é crucial para a plenitude do funcionamento dos sistemas agroecológicos.

A perspectiva transdisciplinar da pesquisa leva, ademais, a que o trabalho do pesquisador não possa restringir-se apenas ao conhecimento de corte estritamente agrônomo. Ela deve tocar em aspectos ecológicos, econômicos e socioculturais. Tal reorganização do saber, para provocar respostas positivas e duradouras, deve dar rumo a uma mudança mais global na cultura das instituições de pesquisa.

Pelas razões expostas, a pesquisa com enfoque agroecológico é estratégica para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis e para alcançar os objetivos maiores inscritos no conceito de desenvolvimento rural sustentável.

As fontes para o desenho de sistemas sustentáveis são diversas. A constituição real dos sistemas agroecológicos depende do conhecimento organizado a partir dessas fontes,

¹ A Agroecologia é entendida aqui como campo de conhecimento transdisciplinar, que dá base à aplicação dos princípios ecológicos ao desenho e manejo dos agroecossistemas sustentáveis, conforme se depreende do conjunto das obras de Stephen Gliessman e de Miguel Altieri.

mas precisa sempre ser plasmado nas condições locais. O fator local é que “acomoda” a proposta agroecológica a um determinado clima, disponibilidade de capital, de terra, de água e de outros recursos naturais e, sobretudo, à lógica social do sistema agrário.

Tradicionalmente, a agricultura indígena tem aportado uma infinidade de formas de gestão de recursos e desenvolvimentos técnicos ao longo da História. Esse conhecimento foi gestado dentro de um processo de coevolução entre homem e natureza, evidenciando seu potencial para a sustentabilidade. A agricultura moderna rompeu, com seu avanço, certas tradições milenares que seguem plenamente vigentes hoje no contexto da aplicação da Agroecologia. Temos que considerar que, para o caso do Brasil, ao contrário dos países que têm preservado melhor a agricultura indígena, há a necessidade premente de se estudar e aplicar o conhecimento original que subsiste.

Em nosso país também se reveste de grande importância a memória ainda existente da agricultura familiar tradicional. Uma parcela desta, por não ter logrado acompanhar a velocidade da modernização agrícola, conservou uma série de técnicas, instrumentos e formas de organização social do trabalho que, intrinsecamente, guardam uma estrutura claramente ecológica. As formas de gestão dos recursos naturais permitiram sua permanência por tão longo período, em razão de adaptabilidade às condições ecológicas e econômicas locais. O resgate de material genético, a recuperação de conhecimento de gestão, além dos insumos e equipamentos desenvolvidos para condições de escassez, muitas vezes representam elementos preciosos para a proposição de novos sistemas.

Outra fonte de conhecimento, muito importante para a transição agroecológica, é o que vem sendo gerado para a agricultura convencional. Uma perspectiva ecológica falsa ou preconceituosa pode negar este manancial de desenvolvimentos científicos. Há um conjunto grande de elementos da pesquisa convencional que é basal para qualquer forma de agricultura. Conhecimentos sobre solos, clima, biologia, fisiologia vegetal, fitotecnia, engenharia, apenas para citar alguns, sem ordem de importância, certamente contribuem para dar base à agricultura sustentável.

Além destas fontes, existe um acúmulo importante de conhecimento, representado pelas experiências de agricultura ecológica redesenhada, desde sua eclosão como agricultura alternativa, até os nossos dias. Todos esses estilos tiveram inspiração nos grandes estudiosos da agricultura

natural, biológica, permacultural, regenerativa, biodinâmica ou orgânica (Fukuoda, Chaboussou, Mollison, Steiner entre tantos outros) e significam um acervo muito interessante. A estreiteza com que muitos desses estilos aplicam os conhecimentos dos autores clássicos, por força da adequação aos mercados especiais e à normatização tecnológica, não invalida a utilização de muitíssimos dos elementos por eles desenvolvidos desde o início do século XX.

Pesquisa para a transição agroecológica

Uma das orientações mais eficazes para impulsionar a transição agroecológica é a de aprender a partir de sistemas sustentáveis existentes, inspirados em quaisquer das tendências e tradições de agricultura ecológica. Na medida em que eles estão inseridos em um processo de coevolução entre homem e natureza, tendo sido testados e adequados ao longo do tempo e em diferentes condições, se tornam referências de manejo sustentável dos recursos, de economia de energia e materiais, de aproveitamento da biodiversidade agrícola, de redução dos impactos ambientais internos e externos à unidade de produção e de aquisição ou manutenção da segurança alimentar.

Para trabalhar no sentido de incorporar o enfoque agroecológico nas instituições de pesquisa, há a necessidade de considerar e superar o estado atual com relação a diversas dimensões, desde a mudança na consciência individual, até a aquisição de novas visões de mundo que possam substituir princípios consagrados. O trabalho transdisciplinar é favorecido quando novos valores são compartilhados entre pesquisadores.

A comunhão entre ciências naturais e ciências sociais é um desafio, mas sem ela não será possível a incorporação de uma perspectiva socioambiental, básica para a mudança. A Ecologia, que tanto conhecimento tem gerado sobre os sistemas naturais, tem aplicação fundamental no desenho e manejo de sistemas agrícolas sustentáveis. Por seu turno, na pesquisa agroecológica, a perspectiva social está sempre associada à ecológica, pois o manejo dos recursos nunca estará apartado da dimensão humana.

Assim, o redesenho institucional, mais que um rearranjo de velhas estruturas, significa o estabelecimento de outra forma de pensar e pede movimentos simultâneos de desconstrução e de reconstrução, onde se conservam elementos seculares, ao tempo em que se invocam novos argumentos. Deve ultrapassar os formalismos e a burocracia excessiva e assumir objetivos estratégicos de médio e longo prazos.

A renovação e a qualificação técnica e metodológica dos pesquisadores é igualmente fator da maior importância. A partir da experiência recente, pode-se apontar para a necessidade de uma qualificação metodológica para o desenvolvimento da pesquisa participativa, centrada no trabalho com agricultores experimentadores. As instituições de pesquisa precisam também estabelecer relações com as organizações ligadas ao desenvolvimento rural, além de buscar maior integração às políticas e programas de desenvolvimento rural. Complementarmente, as agências de fomento poderão contribuir sobremaneira com o avanço do enfoque agroecológico, ao encorajar e destinar recursos para as demandas que hoje são estrangulamentos ou vazios de conhecimento científico e tecnológico.

Aproximações

Agricultores e pesquisadores têm chegado, por diferentes caminhos, ao conhecimento novo, mas a descoberta da conexão sinérgica entre eles ainda está por ser traçada. Achados científicos da pesquisa institucional, cercados de um bom grau de certeza, muitas vezes têm mostrado alcance extremamente limitado para a mudança dos sistemas agrícolas locais. Enquanto isso, organizações da sociedade e agricultores, mesmo fracamente municiados de rigor científico, acumularam nos últimos anos conhecimentos que permitiram aplicações úteis na transformação social e ecológica da sua realidade.

Se aceitarmos que os esforços das organizações governamentais de pesquisa ainda estão muito aquém das necessidades de um modelo que responda às necessidades socioambientais dos agricultores e da agricultura como um todo, e que os agricultores têm sido, junto com suas organizações, protagonistas na geração de conhecimentos agroecológicos adequados às condições reais, então as estratégias de aproximação são peças-chave para a transição à Agroecologia.

Que formas de aproximação podemos vislumbrar? Percebe-se, nesse momento, um certo êxtase paralisante, que precisa ser superado, na relação entre pesquisador e agricultor. De parte do pesquisador ainda é recalcitrante a tentação de corrigir, à base de desenhos experimentais intrincados, mas “cientificamente corretos”, a rica prática de descoberta dos agricultores. De outra, a ausência de noções da cultura experimental clássica, deixa o agricultor à margem da compreensão de certos requisitos essenciais para a superação do nível do ensaio, que freqüentemente gera respostas dúbias e risco econômico. Estamos em um tempo de aprendizado.

João Carlos Canuto é engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia e pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa.
joocanuto@terra.com.br

AGROECOLOGIA

RESGATANDO A AGRICULTURA ORGÂNICA A PARTIR DE UM MODELO INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO

Miguel A. Altieri

Clara I. Nicholls

A produção orgânica está presente em todo o mundo e cresce rapidamente. Na Europa, existem 3,5 milhões de hectares em produção orgânica certificada. Na Alemanha, são 8.000 produtores orgânicos que ocupam cerca de 2% da área total cultivada. Na Itália, há 18.000 e na Áustria outros 20.000, que representam quase 10% do total produzido pela agricultura. Na América do Norte, aproximadamente 1,1 milhões de hectares estão em produção orgânica certificada, com 12.500 produtores somente nos Estados Unidos, o que permitiu, de 1992 a 1997, dobrar a área dessa produção. Em 1999 a venda dos produtos orgânicos gerou US\$ 6 bilhões em lucro. Na Califórnia, esses produtos constituem um dos segmentos da economia agrícola que mais cresce, com incremento anual nas vendas de 20 a 25%, nos últimos seis anos. No entanto, os novos produtores e a indústria associada seguem os preceitos e a filosofia dos pioneiros? Ou a produção orgânica estaria sendo incorporada nos sistemas de alta produção, financeiro, de manejo e distribuição, típicos da agricultura convencional? Enfim, a agricultura orgânica estaria assumindo as mesmas características do modelo de agricultura convencional, à qual tradicionalmente se opunha?

Realidades contra a agricultura orgânica

A agricultura orgânica refere-se a um sistema de produção cujo objetivo é manter a produtividade agrícola, evitando ou reduzindo significativamente o uso de fertilizantes sintéticos e pesticidas. A filosofia original que guiou este tipo de agricultura enfatizava o uso de recursos disponíveis ou próximos da propriedade agrícola. Esses recursos internos incluem energia solar e eólica, controle biológico de pragas, fixação biológica de nitrogênio e outros nutrientes liberados pela decomposição da matéria orgânica ou oriundos da reserva mineral do solo. A idéia era que os agricultores baseassem a produção, principalmente, no uso de rotação de culturas, resíduos culturais e orgânicos, adubação verde, dejetos orgânicos de fora da propriedade e aspectos de controle biológico de pragas, plantas daninhas e doenças.

Originalmente aderiram ao movimento orgânico os pequenos agricultores ou as propriedades de agricultura dita familiar, em diferentes tipos de cultivos, atendendo o mercado local, com a visão de que a produção agrícola é parte da comunidade estreitamente ligada ao ritmo de transformações da natureza.

Não há dúvidas de que a demanda por produtos orgânicos está crescendo, mas parece confinada aos ricos e especialmente à população do mundo industrializado. À medida que o Terceiro Mundo entra no mercado, a produção se destina principalmente à exportação, com pequena contribuição para a segurança alimentar destes países mais pobres. Os produtos orgânicos estão sendo comercializados internacionalmente como mercadoria (*commodities*), e sua distribuição está sendo feita pelas mesmas corporações multinacionais que dominam o mercado convencional. Lojas e mercados de produtos naturais ou orgânicos se consolidam e se tornam redes nacionais e internacionais.

É possível que alguns dos problemas acima citados pudessem ter sido minimizados se o movimento orgânico não tivesse desconsiderado três fatores importantes: tamanho da propriedade a ser certificada, padrões de certificação solidária e flexível e padrões sociais.

Tamanho da propriedade a ser certificada

Não tendo sido limitado o tamanho de propriedade que um produtor ou companhia pudesse certificar como produtor orgânico, grandes produtores ou corporações estão substituindo pequenos produtores orgânicos. No

Estado da Califórnia, metade do valor de produção dos produtos orgânicos foi produzido por somente 2% dos produtores, com valor acima de US\$ 500.000,00 cada. Produtores com valor bruto de produção menor do que US\$ 10.000,00 totalizaram cerca de 75%, o que representa apenas 5% do total bruto produzido. A consolidação de várias propriedades, indústrias de empacotamento e centro regional de uma corporação requer a adoção de práticas de grandes negócios. Este sistema é excelente para consolidar riqueza e poder no topo da pirâmide, mas é o oposto das metas das comunidades e do controle local que eram parte da inspiração original do movimento orgânico. Como já se observa, uma vez que o grande domina a indústria orgânica, os valores locais da comunidade são inevitavelmente deixados para trás.

Padrões de certificação solidária e flexível

O movimento foi rápido em desenvolver regras destinadas a padronizar práticas que inevitavelmente variam com a propriedade ou região. A alta variabilidade dos processos ecológicos e suas interações com fatores heterogêneos do ponto de vista social, cultural, político e econômico geram sistemas locais de produção orgânica que em essência são únicos. Quando a heterogeneidade destes sistemas é considerada, torna-se óbvio que as receitas padronizadas de tecnologia são inapropriadas. Muitas recomendações provaram que não funcionam para determinados produtores por razões técnicas. Alguns produtores ficam ofendidos ao serem recomendadas alterações em seus métodos já experimentados e aprovados, especialmente quando os custos aumentam. Tal processo de padronização se mostrou inapropriado cultural e economicamente para os pequenos produtores dos países em desenvolvimento, onde a produção baseia-se na biodiversidade e no conhecimento tradicional. Os povos do sul perceberam que os padrões de produtos orgânicos serviram como uma imposição ou como forma de proteção da comunidade do norte. Atualmente, os padrões orgânicos correm risco e à medida que os mesmos erodem, os vendedores substituirão os produtos orgânicos por similares, com percepção de produtos orgânicos criados pela propaganda e com o controle político de agências regulatórias, como já ocorreu nos Estados Unidos. Como consequência deste processo, muitos produtores estão abandonando a certificação generalizada e criando procedimentos de certificação solidária, juntamente com consumidores, com foco em mercados locais.

Padrões sociais

Muitos protocolos de certificação não incluem considerações sociais para distinguir produtos orgânicos. Por essa razão, hoje, na Califórnia, é possível comprar produtos orgânicos que podem ser produzidos de acordo com os padrões, porém, os produtores não são os indivíduos que ganham mais no processo, aliás, são os explorados. Não há maiores diferenças na condição de vida, mão-de-obra ou remuneração entre um produtor orgânico e um produtor em sistema convencional. Será esta a razão para, na Califórnia, por exemplo, a união dos agricultores não ter assumido a produção orgânica? Não há dúvida de que a produção orgânica tem que ser ecológica e socialmente sustentável. Para que isto aconteça, as técnicas orgânicas devem ser integradas numa organização social mais avançada que o da sustentabilidade ecológica. Ignorar os complexos aspectos sociais envolvidos na agricultura orgânica comercial e de exportação, corroem a visão agrária original da agricultura orgânica.

Substituição de insumos

Estrutural e funcionalmente falando, a agricultura orgânica em larga escala não muda abruptamente em relação à convencional (quadro 1). A maior diferença entre ambas refere-se ao fato de que a orgânica evita o uso de fertilizantes químicos e pesticidas em seus sistemas, ao passo que a agricultura convencional usa tais insumos extensivamente. Entretanto, um grande número de produtores orgânicos utiliza máquinas modernas, variedades comerciais recomendadas e adota monoculturas. Devido ao baixo nível de funcionalidade da biodiversidade, estes sistemas simples não têm mecanismos de regulação natural e, portanto, são altamente dependentes de insumos externos (orgânicos e biológicos) para subsidiar funções de controle de pragas e na fertilidade dos solos. A adoção destas práticas tem pouco significado na transformação do sistema para um redesenho de sistema agrícola mais produtivo. Agricultores que seguem este regime ficam atrelados a um processo de substituição de insumos que os mantém dependentes dos fornecedores (muitos de natureza corporativa) de insumos orgânicos, alguns dos quais de eficiência questionável e não ecológicos. Claramente, como está hoje, a substituição de insumos perdeu seu potencial pró-sustentável. O uso intenso dos insumos externos é exatamente o que tem sido o alvo dos detratores (indústria da biotecnologia) da produção orgânica, que a acusam de

promover a resistência de insetos devido ao uso continuado de pulverização com Bt, de contaminar o solo e a água com sulfato de cobre e de eliminar os insetos benéficos com rotenona e outros inseticidas biológicos não seletivos.

Quadro 1: Características da agricultura convencional e orgânica

Característica	Convencional	Orgânica
Dependência do petróleo	Alta	Média - alta
Necessidade de mão-de-obra	Baixa, contratada	Média - alta, usualmente contratada
Intensidade de manejo	Alta	Média - alta
Intensidade de preparo do solo	Alta	Média - alta
Diversidade de plantas	Baixa	Baixa - média
Variedade - culturas	Híbridos	Híbridos ou polinização aberta
Origem das sementes	Todas são compradas	Compradas, algumas são próprias
Integração lavoura-pecuária	Nenhuma	Pouca (uso de resíduos orgânicos)
Dependência de insumo externo	Alta	Média - alta
Manejo de insetos	Manejo integrado de pragas (MIP)- químico	MIP, biopesticidas e alguns biocontroles
Manejo de ervas daninhas	Químico - preparo do solo	Controle cultural, preparo do solo
Manejo de doenças	Químico, resistência vertical	Antagonismos, resistência horizontal, cultivares múltiplas
Nutrição de plantas	Químicos, fertilizantes aplicados em pulsos	Biofertilizante microbiológico, fertilizante orgânico. Sistemas semi-abertos
Manejo de água	Alta escala	Aspersor e gotejamento

É importante enfatizar que somente uma minoria de produtores orgânicos que controlam áreas grandes e com capital financeiro disponível seguem o modelo de substituição de insumos. A maioria dos pequenos e médios produtores permanecem fazendo rotação de culturas com leguminosas, aplicando composto orgânico e diversificação de culturas, incluindo adubação verde, culturas em faixas e misturas usadas em alimentação animal. Pesquisas mostram que este sistema conserva energia e protege o solo, ao mesmo tempo que imprime o mínimo impacto ecológico. Recente estudo realizado no Estado de Washington (EUA)

apresentou produção de maçã semelhante para o sistema orgânico e os sistemas convencional e integrado de produção. Todavia, o sistema orgânico foi o mais sustentável do ponto de vista econômico e ambiental, à medida que exibiu maior lucro, maior eficiência de energia e menos impacto ambiental. Apesar destes benefícios, este sistema de agricultura pode trazer outras vantagens, se guiado pelos princípios agroecológicos.

Conversão agroecológica

A agricultura orgânica com monocultura pode ser modificada pela adoção de esquemas de diversificação com sistema de produção que inclua produção vegetal e animal, no qual se incrementam sinergismos de maneira que a Agroecologia seguraria a fertilidade do solo, a regulação natural das pragas e a produtividade das culturas. A redefinição do sistema envolve a transformação da estrutura e funcionalidade dos agroecossistemas promovendo o manejo dirigido para otimizar os processos do tipo ciclagem de nutrientes, acúmulo de matéria orgânica, controle biológico das pragas e produção equilibrada.

A promoção da biodiversidade dentro dos sistemas agrícolas é o pilar fundamental de seu redesenho. A pesquisa tem demonstrado que:

- diversidade alta (genética, taxonômica, estrutural, recursos) dentro do sistema de culturas conduz a alta diversidade da biota associada;
- aumento da biodiversidade conduz a uma polinização e controle de pragas mais efetivos;
- aumento da biodiversidade conduz a ciclagem de nutrientes mais adequada; e
- aumento da biodiversidade minimiza riscos e estabiliza a produtividade.

Os princípios da Agroecologia podem ser aplicados para implementar a eficiência dos sistemas agrícolas através do uso de várias técnicas e estratégias. Cada uma destas terá diferentes efeitos na produtividade, estabilidade e resiliência dentro dos sistemas de produção, dependendo das condições locais, limitações de recursos e, em muitos casos, do mercado. O objetivo principal dos sistemas agroecológicos consiste em integrar componentes de maneira que a eficiência biológica global seja incrementada, a biodiversidade preservada, e a produtividade do agroecossistema e sua alta capacidade de se sustentar sejam mantidas.

O principal desafio dos produtores orgânicos para o século 21 é transformar os princípios ecológicos em um sistema alternativo que seja prático e satisfaça necessidades específicas de comunidades agrícolas em diferentes regiões ecológicas do mundo. Exemplos já existem; de acordo com pesquisadores da Universidade de Essex (Reino Unido), que examinaram 208 projetos agroecológicos implementados nos países em desenvolvimento, cerca de 9 milhões de propriedades, cobrindo aproximadamente 29 milhões de hectares, já adotaram o sistema de agricultura sustentável. A estratégia principal utilizada pelos produtores no modelo considerado como o mais sustentável foi a de restaurar a biodiversidade no tempo e no espaço, seguindo as principais recomendações da Agroecologia. Alguns exemplos mundiais incluem as seguintes alternativas:

a) Aumento da diversidade de espécies no tempo e no espaço pelo uso de culturas intercalares

Na África, cientistas especializados em culturas intercalares usam dois tipos de culturas, juntamente com o milho: uma planta que repele as brocas (repulsão) e outra que as atraem (atração). O processo de repulsão-atração tem sido testado em mais de 450 propriedades em dois distritos do Kenia e está sendo recomendado atualmente para todo o sistema de extensão rural do Leste da África. Agricultores de Trans Nzoia, participantes do projeto, relatam aumento de 15 a 25% na produção de milho. No distrito de Suba, no semi-árido, com alta incidência de broca do caule e de outras pragas, foi observado aumento substancial de produção leiteira nos últimos quatro anos, possibilitando o suporte de vacas de maior qualidade genética baseada na produção de forragem. Quando os produtores consorciaram milho, capim napier e desmodium, obtiveram retorno de US\$ 2,30 para cada dólar investido, ao contrário de somente US\$ 1,40 de retorno para cada dólar investido quando foi usado milho em monocultura. Duas das melhores culturas atraentes de inimigos naturais das brocas são o capim napier (*Pennisetum purpureum*) e o capim Sudão (*Sorghum vulgare sudanense*), importantes forragens para alimentação animal, que são cultivados nas bordaduras das áreas plantadas com milho. Outras duas plantas consideradas excelentes repelentes de brocas, semeadas entre as filas do milho como culturas intercalares, são uma gramínea (*Melinis minutifolia*), que também repele ácaros, e uma leguminosa – folha de prata (*Desmodium*). Esta planta também suprime a erva parasítica *Striga*, num fator de 40 comparada ao milho em

monocultura, e sua capacidade de fixação de Nitrogênio incrementa a fertilidade do solo, além de ser excelente forragem. Ainda mais, a semente de *Desmodium* está se tornando uma ótima oportunidade para as mulheres aumentarem renda nas áreas do projeto.

b) Estímulo à presença de flores e outras vegetações na cultura anual melhorando o habitat para os inimigos naturais

Muitos pesquisadores têm introduzido flores em faixas dentro das áreas cultivadas, como uma maneira de aumentar a disponibilidade de pólen e néctar, necessários para a reprodução, fecundação e longevidade de muitos inimigos naturais das pragas. Faixas de *Phacelia tanacetifolia* são usadas junto com a cultura do trigo, beterraba açucareira e repolho, objetivando aumentar a presença do inimigo natural de pulgões, especialmente algumas moscas, reduzindo a população dos mesmos. Na Inglaterra, os pesquisadores criaram “bancos de cascudos”, com a formação de habitat favorável para os predadores de pulgões que perdurassem o inverno, pela semeadura de gramas perenes como *Dactylis glomerata* e *Holcus lanatus*. Quando os bancos são formados paralelos às linhas das culturas, um grande aumento de predadores (até 1.500 cascudos por m²) pode ser criado em apenas dois anos.

c) Diversificação de sistemas perenes com agroflorestas incluindo o uso de culturas de cobertura em pomares

Nestes sistemas, a presença de plantas mais baixas, com flores, aumenta o controle biológico de uma série de insetos-praga. O efeito benéfico – a atração de insetos de *Phacelia flowers* incrementando o parasitismo de pragas-chave em pomares de maçã –, foi demonstrado por pesquisadores russos e canadenses há mais de 30 anos atrás. Na Califórnia, pomares de videira em sistemas orgânicos com a incorporação de culturas de cobertura de verão (trigo mourisco e girassol) conduzem ao aumento da população de inimigos naturais que, por sua vez, reduzem o número de pulgões e trips.

d) Incremento da diversidade genética por meio de mistura varietal e uso de germoplasma local e variedades que exibem resistência horizontal

Pesquisadores trabalhando com agricultores em dez municípios em Yunnan, China, numa área de 5.350 hectares, recomendaram a troca do sistema do arroz de monocul-

tura para um sistema com o uso de variedades locais misturadas com híbridas. O aumento da diversidade genética reduziu a incidência de doenças em 94% e aumentou a produção em 89%. No final de dois anos, concluiu-se que não era mais preciso o uso de fungicidas.

e) *Intensificação do uso de adubação verde para construção da fertilidade e conservação do solo*

Na América Central, cerca de 45.000 agricultores usam feijão veludo, triplicando a produção de milho em sucessão, ao mesmo tempo que conservam e regeneram o solo de alta declividade. No Sul do Brasil, nada menos do que 50.000 agricultores utilizam uma mistura de culturas de cobertura que cria uma espessa cobertura morta do solo, permitindo a produção de grãos em sistema de semeadura direta, sem a dependência de herbicidas.

f) *Aumento da diversidade da paisagem com corredores biológicos, bordas das áreas com vegetação diversa ou com mosaicos de agroecossistemas e manutenção de áreas de vegetação natural ou secundária como parte da matriz do agroecossistema*

Muitos entomologistas afirmam que a abundância e a diversidade dos predadores e parasitas dentro de uma área estão estreitamente relacionadas com o tipo de vegetação na margem da mesma. Existe ampla aceitação da importância da vegetação das margens de uma área servindo como reservatório de inimigos naturais de pragas das culturas. Muitos estudos demonstraram aumento de abundância de inimigos naturais e controle biológico mais efetivo, quando culturas possuem bordaduras com vegetação selvagem colonizadas pelos inimigos naturais. O parasitismo da largata militar, *Pseudaletia unipunctata*, mostrou-se superior em cultura de milho, inserida numa paisagem complexa quando comparada a uma paisagem com habitat simples a sua volta. Em um estudo de dois anos, pesquisadores encontraram maior parasitismo de larvas de *Ostrinia nubilalis* pelo parasita *Eriborus terebrans* nas margens da cultura de milho adjacente à floresta, do que no interior da área. Similarmente, na Alemanha, o parasitismo do cascudo do pólen da videira foi 50% maior nas bordaduras do pomar, enquanto que no centro o parasitismo baixou para 20%. Uma maneira de introduzir o efeito benéfico da biodiversidade de paisagens complexas em monoculturas em larga escala é através da implantação de corredores vegetados diversos, que permitem a distribuição da biodiversidade de artrópodes úteis no

centro das monoculturas. Pesquisadores da Califórnia estabeleceram corredor vegetado que conecta uma floresta ripária a um pomar de videiras em monocultura, passando pelo meio do mesmo, permitindo a entrada de inimigos naturais a partir da floresta para toda a área da monocultura de videira. O corredor supre os predadores naturais de comida alternativa quando não há alimento à disposição no pomar, reduzindo a dependência e o atraso na colonização dos predadores no pomar. Este complexo de predadores circulando continuamente nos interstícios do pomar de videira estabelece uma interação trófica que conduz a um enriquecimento de inimigos naturais e, em consequência, a um menor número de pulgões e trips localizados até 30 a 40 metros dos corredores.

Avançando para além do orgânico

A principal estratégia agroecológica para mover os agricultores para além da agricultura orgânica reside em explorar a complementariedade e os sinergismos que resultam do uso de várias combinações de culturas, florestas e animais em agroecossistemas com arranjo espacial e temporal tipo policulturas, sistemas agroflorestais e integração lavoura/pecuária. Em situações reais, a exploração destas interações envolve o uso de sistemas de manejo agrícola e requer o entendimento de inúmeros relacionamentos entre solos, microorganismos, plantas, insetos e inimigos naturais. Mesmo assim, tais modificações não são suficientes para se atingir a sustentabilidade, pois se sabe que o bem-estar de uma comunidade e a segurança alimentar são muito mais complexos e determinados por fatores econômicos, sociais e políticos. Como um produtor orgânico pode produzir alimento suficiente de maneira sustentável em termos ecológicos, ambientais e sociais sem adotar um modelo industrial de produção e distribuição? Como os defensores da agricultura orgânica podem promover um modelo que é local, de pequena escala e familiar, biológica e culturalmente diverso, humano e socialmente justo? É possível substituir a agricultura industrial por uma agricultura com nova visão baseada fortemente nos preceitos da agricultura orgânica?

Intenções tecnológicas ou ambientais não são suficientes para disseminar uma agricultura com base agroecológica. Existem muitos fatores que restringem a implementação de iniciativas de implementação de uma agricultura sustentável. Muitas mudanças em políticas, instituições, mercados e agendas de pesquisa e desenvolvimento devem ser feitas para que alternativas agroecológicas sejam adotadas,

de modo eqüitativo e largamente acessíveis, e multiplicadas de maneira que seu benefício para a segurança alimentar sustentável seja realizado. Entretanto, deve-se reconhecer que as maiores limitações à difusão da maneira de fazer agricultura verdadeiramente sustentável referem-se aos poderosos interesses econômico e institucional, que tentam controlar a indústria orgânica e sua regulação.

Evidências mostram que mundialmente existem muitos sistemas de agricultura orgânica que são viáveis do ponto de vista econômico, ambiental e social e que contribuem positivamente para a subsistência local; mas, sem política apropriada e suporte de consumidores, estes sistemas permanecem localizados. No entanto, um grande desafio para o futuro está em promover mudanças institucionais e de políticas para realizar o pleno potencial da verdadeira agricultura orgânica. As mudanças necessárias requerem:

- Aumento do investimento em métodos de pesquisa em Agroecologia com participação ativa dos produtores, substituindo a transferência de tecnologia de cima para baixo, e constituindo uma maneira participativa de desenvolvimento de tecnologia, centrada no produtor e extensão, com ênfase em princípios, aos invés de receitas ou pacotes tecnológicos.
- Mudanças de ordem política não subsidiando a tecnologia convencional e oferecendo suporte e incentivo para estratégias agroecológicas.
- Mercado apropriado e viável, incluindo feiras livre e expansão de feiras dos produtores.
- Criação de políticas que intervenham no mercado, abrindo oportunidades para os produtores orgânicos locais (por exemplo, todos os alimentos servidos em escolas e restaurantes de universidades devem ser de produção orgânica).
- Democratização e flexibilização do processo de certificação encorajando o surgimento de certificação solidária e adaptada ao local.
- Inclusão do tamanho da propriedade e considerações sobre mão-de-obra nos padrões orgânicos, bem como limites à certificação para operações que abandonem o modelo de larga escala.

Em resumo, grandes mudanças devem ser feitas em políticas, instituições, mercados e pesquisa para permitir avanços da agricultura orgânica. Os subsídios existentes e as políticas de incentivo para estratégias que envolvem produtos químicos convencionais devem ser desmantelados; o

Miguel A. Altieri é engenheiro agrônomo, PhD em Entomologia e professor de Agroecologia do Departamento de Ciência, Política e Manejo Ambiental da Universidade da Califórnia, Berkeley, Estados Unidos.

agroeco3@nature.berkeley.edu

Clara I. Nicholls é engenheira agrônoma, PhD em Controle Biológico de Pragas e pesquisadora do Departamento de Ciência, Política e Manejo Ambiental da Universidade da Califórnia, Berkeley, Estados Unidos.

agroeco3@nature.berkeley.edu

Texto traduzido por Dalvan J. Reinert.

controle corporativo do sistema de alimentos incluindo os orgânicos devem ser desafiados; o fortalecimento da capacidade institucional local e o aumento do acesso dos produtores aos serviços que facilitem o uso de tecnologias acessíveis são pontos críticos; as organizações públicas governamentais e internacionais têm que encorajar e facilitar parcerias entre ONGs, Universidades e organizações de produtores, de maneira a promover o sucesso dos produtores orgânicos. Há também necessidade de aumentar a renda rural, através da criação de mercados locais, enfatizando negócio justo e outros mecanismos que conectem os produtores aos consumidores mais diretamente. O grande desafio é ajustar formas de agricultura orgânica que sejam socialmente iguais, economicamente viáveis e de cunho ambiental. Para que isto aconteça, o movimento orgânico terá que estabelecer alianças estratégicas com os produtores, consumidores e grupos de trabalhadores de todo o mundo, assim como com grupos antiglobalização e políticos com representação local, regional e nacional nos municípios, estados e país. Somente desse modo se poderá expandir a agricultura orgânica sustentável e preservar seus verdadeiros objetivos.

SEGURANÇA ALIMENTAR E AGRICULTURA SUSTENTÁVEL UMA PERSPECTIVA AGROECOLÓGICA

Francisco Roberto Caporal
José Antônio Costabeber

O modelo agrícola convencional, centrado no uso abusivo de recursos naturais e de agroquímicos de síntese, permitiu aumentar a produção e a produtividade de alguns cultivos em certas regiões, causando porém forte agressão ao ambiente e comprometendo a sua sustentabilidade a longo prazo. Ademais, prioriza a produção de *commodities* e responde mais ao mercado do que às reais necessidades alimentares da população. Esta situação só poderá ser revertida no momento em que o projeto de desenvolvimento nacional definir o atendimento das demandas alimentares e nutricionais como a principal meta da produção agropecuária, já que existem hoje 44 milhões de brasileiros que não têm atendida sequer sua dieta quantitativa. A segurança alimentar e nutricional requer, no entanto, a implementação de estilos de agricultura sustentável baseados nos princípios científicos da Agroecologia. A verdadeira *modernização da agricultura* exige que o manejo dos recursos naturais e a seleção de tecnologias usadas no processo produtivo sejam o resultado de uma nova forma de aproximação e integração entre Ecologia e Agronomia. Os estilos de agricultura deverão ser compatíveis com a heterogeneidade dos agroecossistemas, levando-se em conta os conhecimentos locais, os avanços científicos e a socialização de saberes, além do uso de tecnologias menos agressivas ao ambiente e à saúde das pessoas.

Segurança alimentar e nutricional sustentável

A expressão segurança alimentar, como conceito orientador para políticas públicas, apareceu em 1974, durante a Conferência Mundial da Alimentação promovida pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO). Em 1996, a mesma FAO estabelecia um conceito mais ambicioso, ao afirmar que se trata de *assegurar o acesso aos alimentos para todos e a todo o momento, em quantidade e qualidade suficientes para garantir uma vida saudável e ativa*. A partir deste conceito, ficou patente a importância de uma agricultura que produza alimentos básicos (e não apenas *commodities*), com adequada qualidade biológica. Ademais, alerta para a necessidade de que a agricultura seja mais respeitosa com o meio ambiente, de modo a assegurar a conservação da base de recursos naturais indispensável para a produção ao longo do tempo. Esta preocupação se justifica quando o organismo das Nações Unidas encarregado de zelar pela agricultura e pela alimentação dos povos, diagnostica que, ao longo das décadas de Revolução Verde, houve um crescimento significativo da fome no mundo. No mesmo período cresceu o êxodo rural e aumentou a pobreza tanto rural como urbana. Hoje existem no mundo mais de 800 milhões de pessoas passando fome. No Brasil, apesar de não haver consenso sobre os números apresentados nas estatísticas, há pelo menos 44 milhões de habitantes sem as condições alimentares adequadas.

Se por um lado estamos diante de um problema de acesso aos alimentos, por outro, estamos diante de uma carência na produção de comida para atender às necessidades de todos os brasileiros, quer em quantidade, quer em qualidade.

No que tange à qualidade dos alimentos que estão sendo ofertados à população, cabe registrar que pesquisa realizada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) mostrou, por exemplo, que 81,2% das amostras de alimentos analisadas continham resíduos de agrotóxicos, sendo que 22,17% apresentavam contaminação acima dos limites máximos permitidos pela legislação.¹ Além disso, a Agência identificou a presença de resíduos de agrotóxicos não autorizados para determinadas culturas.²

Sobre a questão da quantidade, o padrão agrícola dominante no país tem deixado a desejar quando o assunto é a produção de alimentos básicos. As estimativas da super safra de 2002/2003 ilustram bem o aumento da produção de alguns grãos, especialmente soja e milho, mas não mostram a debilidade na produção e na oferta de alimentos básicos para a dieta

¹ Assiste-se, atualmente, a um camuflado desconforto e evidente constrangimento por parte daqueles que, nos últimos anos, rezaram acriticamente pela bíblia dos agroquímicos e que, agora, estão podendo observar o início de um verdadeiro bombardeio de notícias e resultados de pesquisa que divulgam o descobrimento de impactos nada desprezíveis de insumos e tecnologias agrícolas convencionais sobre o meio ambiente e a saúde da sociedade. Ainda que muitos não queiram admitir, as denúncias formuladas, no início dos anos 1960, por Rachel Carson (*Silent Spring*. Boston: Houghton Mifflin, 1962), mantêm grande atualidade e deveriam servir como referência para tomadas de decisão sobre o uso de determinados insumos ou tecnologias.

² ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Anvisa investiga alimentos contaminados por agrotóxicos. *Boletim Informativo da Anvisa*, Brasília, n. 25, p. 4-5 novembro de 2002.

³ COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Quadro de suprimentos. Brasil: oferta e demanda brasileira 2003* (<http://www.conab.gov.br/download/indicadores/0301-Oferta-e-demanda-brasileira.pdf>).

⁴ Nesse sentido, a experiência da campanha intitulada “Soja Solidária”, implantada na Argentina no recente período de crise e crescimento da pobreza e da fome, enfrentou muitas resistências e não resolveu o problema alimentar. Ao contrário, serviu para que o Ministério da Saúde daquele país divulgasse cartilhas orientando sobre os riscos à saúde que a alimentação à base de soja pode trazer, tanto para crianças de pequena idade como para idosos.

⁵ A produção de arroz caiu de 10,626 milhões de toneladas, colhidas na safra 2001/2002, para 10,441 milhões de toneladas, na safra 2002/2003 (CONAB, *Op. cit.*).

⁶ Em 2002, o Brasil importou 780,20 mil toneladas de arroz em casca e 450,00 mil toneladas de milho em grão (CONAB, *Op. cit.*).

⁷ Necessidade mínima de alimento/mês. O Decreto Lei 399/38 ainda inclui o pão francês (6 kg), banana (90 unidades), açúcar (3 kg) e manteiga (90 g);

⁸ Para 44,04 milhões de pessoas. De acordo com o Projeto Fome Zero, os 44 milhões de pessoas correspondem a 9.324 mil famílias com renda familiar per capita de até US\$ 1,08 por dia. Conforme o Dieese, uma família é constituída de 2 adultos e duas crianças, considerando para fins de quantidade que o consumo de uma família corresponde a de 3 adultos.

⁹ Fontes: carnes, feijão e arroz (CONAB), óleo (ABIOVE), batata e tomate – produção (IBGE), leite – milhões de litros (CNA).

¹⁰ PERNAMBUCO, G. Fome Zero aumentará o consumo da cesta básica. *Revista Gleba* (Informativo Técnico da CNA), Brasília, ano 47, n. 189, p. 1-2, nov./dez. 2002.

dos 44 milhões de brasileiros que ainda não têm acesso aos alimentos em quantidade suficiente. Observe-se que, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento³, das 120,2 milhões de toneladas de grãos produzidas no ano agrícola 2002/2003, 52,209 milhões de toneladas correspondem à produção de soja, sendo que cerca de 37,2 milhões de toneladas de produtos do complexo soja destinam-se à exportação.

Em relação ao volume total de produção, o consumo nacional de soja em grão na alimentação humana é pouco expressivo, até porque a ingestão desta leguminosa não faz parte dos hábitos alimentares da maioria da população. Sabe-se também que as campanhas que visavam aumentar o consumo de soja na alimentação humana no Brasil não alcançaram os resultados esperados.⁴ Por outro lado, na mesma safra assiste-se a uma redução no volume de arroz produzido⁵, este sim um produto plenamente incorporado na dieta nacional. No que se refere ao trigo, apesar da variação positiva esperada, cabe salientar que o país produz apenas 4,514 milhões de toneladas, das 10,691 milhões de toneladas que consome. A resultante dessa situação é óbvia: o país precisará importar alimentos básicos, como arroz, trigo, feijão, batata e leite⁶, pois as quantidades atualmente produzidas são insuficientes para atender a demanda dos 170 milhões de habitantes; e poderão ser ainda mais insuficientes caso o Programa Fome Zero obtiver sucesso.

A tabela 1 ilustra a deficiência na produção de alimentos básicos quando o objetivo é a inclusão dos 44 milhões de brasileiros que hoje passam fome.

Tabela 1: Programa Fome Zero: projeção da necessidade quantitativa de alimentos

Alimentos	Provisão mínima ⁷ Decreto Lei 399/38		Necessidade quantitativa anual ⁸ mil t/1	Consumo brasileiro em 2002 mil t ⁹	Acréscimo no consumo
	Unidade	Quantidade			
1. Carnes	kg	6,0	2.014,0		
1.1. Bovina	kg	3,0	1.007,0	6.459,8	16%
1.2. Frango	kg	3,0	1.007,0	5.862,8	17%
2. Leite	l	15,0	5.035,0	22.100,0	23%
3. Feijão	kg	4,5	1.510,5	2.712,7	56%
4. Arroz (benef.)	kg	3,0	1.007,0	8.076,8	12%
5. Batata	kg	6,0	2.014,0	2.864,0	70%
6. Tomate	kg	9,0	3.021,0	3.076,0	98%
7. Café em pó	kg	0,6	201,4	780,0	26%
8. Óleo de soja	kg	1,5	503,5	2.935,0	17%

Fonte: Pernambuco, G.¹⁰ Elaboração: Confederação de Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA)

Conforme os dados aqui apresentados, para que o Brasil possa alcançar o objetivo de segurança alimentar e nutricional sustentável, para toda a sua população, são necessárias políticas públicas que: a) disponibilizem mais recursos para estimular e bem remunerar a produção de alimentos básicos compatíveis com os hábitos alimentares predominantes em cada região do país; e b) destinem recursos para um amplo processo de reconversão da agricultura, ou seja, um processo de transição do sistema convencional, baseado na agroquímica, para uma agricultura sustentável, que se fundamenta nos princípios da Agroecologia. A implementação destas políticas, essenciais para a segurança alimentar e nutricional dos brasileiros, ainda carece de decisão política dos governos federal, estaduais e municipais, razão pela qual, no marco deste artigo, optou-se apenas por registrar esta questão em forma de alerta.

Nessa perspectiva, cabe salientar ainda a importância da reforma agrária e da agricultura familiar na construção de estratégias de desenvolvimento rural sustentável e de aumento e consolidação da produção nacional de alimentos básicos. Conforme tem sido defendido ao longo de décadas, o desenvolvimento rural brasileiro carece de uma vigorosa reforma da estrutura fundiária e de políticas consistentes de fortalecimento da agricultura familiar. Existem no Brasil 4.139.369 estabelecimentos rurais familiares que, embora ocupando apenas 30,5% da área total e dispondendo de 25,3% do financiamento, respondem por 37,9% do Valor Bruto da Produção (VBP) e por 76,85% da mão-de-obra ocupada na agricultura. Os agricultores familiares produzem 24% do VBP total da pecuária de corte, 52% da pecuária de leite, 58% dos suínos e 40% das aves e ovos. Além disso, respondem pela produção de 33% do algodão, 31% do arroz, 72% da cebola, 67% do feijão, 97% do fumo, 84% da mandioca, 49% do milho, 32% da soja, 46% do trigo, 58% da banana, 27% da laranja, 47% da uva, 25% do café e 10% da cana-de-açúcar, o que demonstra a grande importância estratégica deste setor.¹¹

Logo, uma vez estabelecidas como metas a busca de segurança alimentar e nutricional sustentável e a incorporação de um contingente enorme de brasileiros como consumidores de alimentos, seria pouco inteligente desconsiderar a relevância do segmento familiar rural. Vale ressaltar, ademais, que a agricultura de base familiar é mais apropriada para o estabelecimento de estilos de agricultura sustentável, tanto pelas características de maior ocupação de mão-de-obra e de diversificação de culturas, que são próprias

¹¹ MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. *Novo retrato da agricultura familiar: o Brasil redescoberto*. Brasília: MDA, 2000.

¹² TOLEDO, V. M. Agroecología, sustentabilidad y reforma agraria: la superioridad de la pequeña producción familiar. *Agroecología e Desenvolvimento Rural Sustentável*, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 27-36, abr./jun. 2002.

¹³ CAPORAL, F. R. & COSTABEBER, J. A. Agroecologia: enfoque científico e estratégico. *Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 13-16, abr./jun. 2002.

¹⁴ CAPORAL, F. R. & COSTABEBER, J. A. Análise multidimensional da sustentabilidade: uma proposta metodológica a partir da Agroecologia. *Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 70-85, jul./set. 2002.

¹⁵ Os agroecossistemas são considerados como a unidade fundamental de estudo, nos quais os ciclos minerais, as transformações energéticas, os processos biológicos e as relações socioeconômicas são vistas e analisadas em seu conjunto (ALTIERI, M. A. El "estado del arte" de la Agroecología y su contribución al desarrollo rural em América Latina. In: CADENAS MARÍN, A. (ed.). *Agricultura y desarrollo sostenible*. Madrid: MAPA, 1995. p. 151-203). Tem-se um agroecossistema sustentável "quando os componentes tanto da base social como da base ecológica combinam-se em um sistema cuja estrutura e função reflete a interação do conhecimento e das preferências humanas com os componentes ecológicos do agroecossistema" (GLIESSMAN, S. R. *Agroecología: procesos ecológicos em agricultura sustentável*. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2000).

¹⁶ ALTIERI, M. A. *Agroecología: as bases científicas da agricultura alternativa*. Rio de Janeiro: PTA/FASE, 1989. ALTIERI, M. A. El "estado del arte" de la Agroecología... *Op. cit.*

desta forma de organização da produção, quanto pela sua maior capacidade de proceder ao redesenho de agroecossistemas de maneira mais acorde aos ideais de sustentabilidade.¹²

Agroecologia como base científica de uma agricultura sustentável

Não raramente se tem confundido a Agroecologia com modelo de agricultura, com processo de produção, com produto ecológico, com prática ou tecnologia agrícola, com política pública, com modo de vida e até com movimento social. Apesar da boa intenção do seu emprego, essas imprecisões podem mascarar a potencialidade que possui o enfoque agroecológico para apoiar o desenvolvimento agrícola e rural.¹³ Ainda que haja diversas interpretações conceituais, a Agroecologia corresponde fundamentalmente a um campo de conhecimentos de natureza multidisciplinar, que pretende contribuir na construção de estilos de agricultura de base ecológica e na elaboração de estratégias de desenvolvimento rural, tendo-se como referência os ideais da sustentabilidade numa perspectiva multidimensional de longo prazo.¹⁴ Como ciência, a Agroecologia apresenta uma série de princípios, conceitos e metodologias que permitem o estudo, a análise, o desenho, o manejo e a avaliação de agroecossistemas.¹⁵ Suas bases epistemológicas mostram que, historicamente, a evolução da cultura humana pode ser explicada com referência ao meio ambiente, ao mesmo tempo em que a evolução do meio ambiente pode ser explicada com referência à cultura humana¹⁶, o que tem especial significado quando se pretende alcançar melhores patamares de sustentabilidade.

Sob o ponto de vista agroecológico, existe relativo consenso de que a agricultura sustentável é aquela que, a partir de uma compreensão holística dos agroecossistemas, seja capaz de atender, de maneira integrada, aos seguintes critérios: a) baixa dependência de *inputs* comerciais; b) uso de recursos renováveis localmente acessíveis; c) utilização dos impactos benéficos ou benignos do meio ambiente local; d) aceitação e/ou tolerância das condições locais, antes da dependência da intensa alteração ou tentativa de controle sobre o meio ambiente; e) manutenção a longo prazo da capacidade produtiva; f) preservação da diversidade biológica e cultural; g) utilização do conhecimento e da cultura da população local; e h) produção de mercadorias para o consumo interno e para a exportação.¹⁷ Para Altieri, a expressão

ALTIERI, M. A. *Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável*. 3. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2001. (Síntese Universitária, 54).

TOLEDO, V. M. La racionalidad ecológica de la producción campesina. In: SEVILLA GUZMÁN, E. & GONZÁLEZ DE MOLINA, M. (eds.). *Ecología, campesinado e historia*. Madrid: La Piqueta, 1993. p. 197-218.

NORGAARD, R. B. A base epistemológica da Agroecologia. In: ALTIERI, M. A. (ed.). *Agroecologia: as bases científicas da agricultura alternativa*. Rio de Janeiro: PTA/FASE, 1989. p.42-48.

NORGAARD, R. B. A co-evolutionary environmental sociology. In: REDCLIFT, M. & WOODGATE, G. (eds.). *The International Handbook of Environmental Sociology*. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 1997. p. 158-168.

CONWAY, G. *The doubly green revolution: food for all in the twenty-first century*. London: Penguin Books, 1997.

SEVILLA GUZMÁN, E. & GONZÁLEZ DE MOLINA, M. (eds.). *Ecología, campesinado y historia*. Madrid: La Piqueta, 1993.

GONZÁLEZ DE MOLINA, M. Agroecología: bases teóricas para una historia agraria alternativa. *Agroecología y Desarrollo*, n. 4, p. 22-31, dic. 1992.

¹⁷ GLIESSMAN, S. R. Quantifying the agroecological component of sustainable agriculture: a goal. In: GLIESSMAN, S. R. (ed.). *Agroecology: researching the ecological basis for sustainable agriculture*. New York: Springer-Verlag, 1990. p. 366-399.

¹⁸ ALTIERI, M. A. *Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável*. Guaíba: Editora Agropecuária, 2002. 592 p.

¹⁹ GLIESSMAN, S. R. *Op. cit.*, 2000.

agricultura sustentável se refere à “busca de rendimentos duráveis, a longo prazo, através do uso de tecnologias de manejo ecologicamente adequadas”, o que requer a “otimização do sistema como um todo e não apenas o rendimento máximo de qualquer produto específico”.¹⁸ Por sua parte, o Centro de Agroecologia da Universidade da Califórnia, Campus de Santa Cruz (EUA), definiu agricultura sustentável como “aquela que reconhece a natureza sistêmica da produção de alimentos, forragens e fibras, equilibrando, com equidade, preocupações relacionadas à saúde ambiental, justiça social e viabilidade econômica, entre diferentes setores da população, incluindo distintos povos e diferentes gerações”.¹⁹

Tomando-se como referência as proposições de Stephen Gliessman, o enfoque agroecológico corresponde à *aplicação de conceitos e princípios da ecologia no manejo e desenho de agroecossistemas sustentáveis*²⁰, uma orientação teórico-metodológica que adquire enorme complexidade, dependendo especialmente do nível de sustentabilidade que se deseja alcançar. Segundo o mesmo autor, existem três níveis fundamentais no processo de conversão para agroecossistemas sustentáveis. O primeiro diz respeito ao incremento da eficiência das práticas convencionais para reduzir o uso de insumos externos caros, escassos e daninhos ao meio ambiente. Esta tem sido a principal ênfase da pesquisa agrícola convencional, resultando em muitas práticas e tecnologias que ajudam a reduzir os impactos negativos da agricultura, mas sem eliminá-los. O segundo nível da transição se refere à substituição de insumos convencionais por insumos alternativos. A meta seria a substituição de insumos e práticas intensivas em capital e agressivas ao ambiente, por outras mais benignas sob o ponto de vista ecológico. Neste nível, a estrutura básica do agroecossistema ainda seria pouco alterada, podendo ocorrer, então, desequilíbrios similares aos que se verificam nos sistemas convencionais. O terceiro e mais complexo nível da transição é representado pelo redesenho dos agroecossistemas, para que passem a funcionar com base em um novo conjunto de processos ecológicos. Somente alcançando esse terceiro nível seria possível a minimização das causas que geram os problemas na agricultura convencional. Em termos de pesquisa e de produção tecnológica, já foram feitos importantes trabalhos em relação ao processo de transição do primeiro ao segundo nível. Porém, os trabalhos para a transição ao terceiro nível estão recém começando.²¹

²⁰ GLIESSMAN, S. R. *Op. cit.*, 2000.

²¹ GLIESSMAN, S. R. *Op. cit.*, 2000. p. 573-5.

²² Como consequência da modernização, “a agricultura atual reduziu a diversidade ao máximo. Das cerca de 80.000 plantas comestíveis que se considera que existem, somente são utilizadas umas 200 e, destas, apenas 12 são alimentos básicos importantes para a humanidade”. Ao mesmo tempo, ocorreu uma enorme perda da variabilidade genética, com aumento do risco de danos por ataques de insetos e doenças. (SARANDÓN, S. J. La agricultura como actividad transformadora del ambiente. El impacto de la agricultura intensiva de la Revolución Verde. p. 32-33. In: SARANDÓN, S. J. (ed.). *Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*. Buenos Aires: Ediciones Científicas Americanas, 2002. p. 23-47). Observe-se que este quadro dramático poderá piorar se houver a adoção de sementes geneticamente modificadas em larga escala.

²³ ALTIERI, M. A. *Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables*. p. 50-51. In: SARANDÓN, Santiago J. (ed.). *Op. cit.*, p. 49-56.

²⁴ EMATER/RS. *Marco Referencial para uma Nova Extensão Rural: Avanços Institucionais da EMATER/RS-ASCAR – Gestão 1999-2002*. Porto Alegre: EMATER/RS, 2002.

²⁵ EMATER/RS. *Relatório de Gestão: 1999-2002*. EMATER/RS-ASCAR. Porto Alegre: EMATER/RS, 2002.

²⁶ GLIESSMAN, S. R. *Op. cit.*, 2000.

A necessidade de alcançar o terceiro nível da transição torna-se óbvia, na medida em que hoje se reconhece que a agricultura convencional, num pequeno tempo histórico, mostrou-se não somente portadora de um processo entrópico ambientalmente destrutivo, mas também responsável pela crescente diminuição da biodiversidade dos agroecossistemas, especialmente em razão da adoção de grandes monoculturas.²² Não obstante, estudos mostram que a biodiversidade é responsável por maior estabilidade ecológica nos agroecossistemas e que, quanto maior for a simplificação, menor será a estabilidade ecológica proporcionada pelas inter-relações das comunidades de plantas e animais com o seu meio ambiente físico e químico.²³

Transição agroecológica: a experiência no Rio Grande do Sul

Com base no conjunto de conceitos antes referidos, a experiência que vem sendo realizada no Rio Grande do Sul demonstra que o processo de transição agroecológica é possível, desde que existam políticas favoráveis, incluindo serviços públicos e gratuitos de assistência técnica e extensão rural voltados para esse objetivo.²⁴ Os resultados alcançados no período de 1999-2002 mostram que um número significativo de unidades familiares de produção está participando desse processo, e que está havendo a adoção maciça, por parte de agricultores gaúchos, de diversas práticas ambientalmente recomendáveis. Como exemplo, pode-se citar que, em 2002, 110.070 agricultores assistidos pela Emater/RS-Ascar utilizaram cobertura vegetal de inverno em 857.917 hectares. No mesmo ano, quase 13.000 agricultores realizaram plantio direto de soja, milho e trigo sem o uso de herbicidas, em mais de 57.000 hectares. Além disso, 13.950 agricultores passaram a usar o sistema de pastoreio rotativo na pecuária leiteira, enquanto 6.612 destes adotaram o uso de medicamentos fitoterápicos e/ou homeopáticos no tratamento de seus animais.

Outros dados confirmam a tendência positiva da transição agroecológica que está em curso. Segundo relatório da Emater/RS-Ascar, são significativos os resultados em termos de número de agricultores que vêm participando desse processo.²⁵ A empresa realizou o levantamento dos dados segundo três estágios de transição para estilos de agricultura de base ecológica, adaptados dos níveis sugeridos por Gliessman²⁶, conforme os seguintes conceitos:

- *Convencional-Racionalização*: agricultores assistidos que vêm, simplesmente, reduzindo o uso de insumos químicos, por razões econômicas ou outras, sem maior preocupação com a adoção de insumos ou práticas alternativas.
- *Transição-Substituição*: agricultores assistidos que vêm realizando processos de substituição de insumos químicos (fertilizantes químicos e agrotóxicos) por insumos alternativos de base ecológica.
- *Transição-Redesenho*: agricultores assistidos que, além do processo de substituição de insumos, vêm realizando o redesenho de suas propriedades, a partir de um enfoque ecológico e sistêmico (estão aplicando, simultaneamente e de forma integrada, diversas técnicas e práticas agrícolas de base ecológica, tais como: manejo ecológico do solo, rotação e diversificação de culturas, integração de sistemas agrícolas e de criação animal, florestamento e reflorestamento conservacionista, manejo de sistemas agroflorestais etc.).

A partir dessa categorização de níveis de transição, e tomando-se como referência as principais culturas agrícolas, cabe destacar, a título de exemplo, os seguintes avanços na transição agroecológica no Estado:

- Relativo às culturas de alho, batata, cebola e tomate, 7.983 agricultores assistidos pela Emater/RS-Ascar estavam no estágio *Convencional-Racionalização* (9.261 hectares), 2.769 no estágio *Transição-Substituição* (857 hectares) e 649 no estágio *Transição-Redesenho* (160 hectares).
- Na fruticultura, tomando-se por base apenas os dados de produtores de abacaxi, banana, bergamota, figo, laranja, limão, melancia, morango, pêssego e uva, 13.365 agricultores estavam no estágio *Convencional-Racionalização* (26.385 hectares), 9.050 no estágio *Transição-Substituição* (12.936 hectares) e 1.645 no estágio *Transição-Redesenho* (2.045 hectares).
- Com referência à produção de grãos, aqui exemplificada pelas culturas de arroz, feijão, milho, soja e trigo, os dados constantes na tabela 2 mostram possibilidades concretas no processo de transição também em cultivos que estão entre os que experimentaram os maiores impactos da Revolução Verde.

Além desses resultados, cabe destacar que agricultores assistidos pela Emater/RS-Ascar e apoiados por suas cooperativas, participantes dos Programas de Ecologização da Cadeia Produtiva do Feijão, nas microrregiões Centro-Serra e Quarta Colônia²⁷ obtiveram, na safra 2002/2003,

²⁷ Estas duas microrregiões estão situadas em área de abrangência do Escritório Regional da EMATER/RS de Santa Maria.

²⁸ POERSCHKE, P. R. Feijão Ecológico: Resultados da Safra 2002/2003. *Informativo Técnico Regional*, Santa Maria, Escritório Regional da EMATER/RS, n. 2/3, 2003. 2 p. (mimeo).

²⁹ EMATER/RS. *Relatório de Gestão: 1999-2002. Op. cit.*, 2002.

³⁰ O conceito de ecologização aqui utilizado está inspirado na perspectiva adotada por Buttel, como a introdução de valores ambientais nas práticas agrícolas, na opinião pública e nas agendas políticas para a agricultura (BUTTEL, F. H. Environmentalization and greening: origins, processes and implications. *In: HARPER, S. (ed.). The greening of rural policy international perspectives*. London: Belhaven Press, 1993. p. 12-26. BUTTEL, F. H. Transiciones agroecológicas en el siglo XX: análisis preliminar. *Agricultura y Sociedad*, n. 74, p. 9-37, ene./mar. 1994). Ver também: CAPORAL, F. R. *La extensión agraria del sector público ante los desafíos del desarrollo sostenible: el caso de Rio Grande do Sul, Brasil*. Córdoba, 1998. 517 p. (Tese de Doutorado) Programa de Doctorado en Agroecología, Campesinado e Historia, ISEC-ETSIAN, Universidad de Córdoba, España, 1998. COSTABEBER, J. A. *Acción colectiva y procesos de transición agroecológica en Rio Grande do Sul, Brasil*. Córdoba, 1998. 422 p. (Tese de Doutorado) Programa de Doctorado en Agroecología, Campesinado e Historia, ISEC-ETSIAN, Universidad de Córdoba, España, 1998. CAPORAL, F. R. & COSTABEBER, J. A. *Agroecología e desenvolvimento rural sustentável: perspectivas para uma nova Extensão Rural. Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 16-37, jan./mar. 2000.

respectivamente, 675 Kg/ha e 1.029 Kg/ha nas áreas com manejo ecológico, contra 673 Kg/ha e 858 Kg/ha nas áreas com manejo convencional²⁸, evidenciando produtividades superiores no sistema de produção ecológica em relação ao sistema de produção convencional, assim como aumento da renda para os agricultores, melhoria do meio ambiente e oferta de alimentos com melhor qualidade biológica.

Tabela 2: Produção de grãos: número de agricultores e área em transição agroecológica em cinco cultivos selecionados (Safra 2001-2002)

Culturas	Agricultores assistidos (n.º)			Área assistida (hectares)		
	Estágios			Estágios		
	Convencional Racionalização	Transição Substituição	Transição Redesenho	Convencional Racionalização	Transição Substituição	Transição Redesenho
Arroz	2.445	626	581	31.643	4.153	453
Feijão	13.870	5.115	1.525	15.986	5.100	1.524
Milho	59.458	14.360	2.238	254.956	51.068	7.456
Soja	28.013	6.554	995	338.832	65.089	7.188
Trigo	6.979	2.186	161	58.164	14.895	655

Ainda, dados do mesmo relatório indicam que, no final de 2002, havia, no Rio Grande do Sul, 138 feiras semanais de produtos ecológicos, com participação de 880 feirantes.²⁹ Na mesma época, os extensionistas rurais assessoravam 4 cooperativas ecológicas e 354 grupos de agricultores ecológicos, com quase 4.000 participantes, o que reforça a possibilidade de ecologização dos sistemas agrícolas.

Ecologização e riscos associados

O enfoque agroecológico, baseado nas noções de ecologização³⁰ e de transição agroecológica, vem apoiando o processo de modernização socioambiental da agricultura, de modo a assegurar a produção de alimentos em quantidade e qualidade. Nessa perspectiva, a idéia de ecologização não se limita a obedecer apenas estímulos de mercado, mas incorpora valores ambientais e orientação para a construção de uma nova ética de relação da sociedade com a natureza, conformando a *transição agroecológica*. Transição definida como um processo gradual de mudança, através do tempo, nas formas de manejo dos agroecossistemas, que tem como meta a conversão do modelo agroquímico de produção agropecuária para estilos de agricultura que incorporem princípios, métodos e tecnologias de base ecológica. Esse

CAPORAL, F. R. & COSTABEBER, J. A. Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável: perspectivas para uma nova Extensão Rural. In: ETGES, V. E. (org.). *Desenvolvimento rural: potencialidades em questão*. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2001. p. 19-52.

³¹ CAPORAL, F. R. & COSTABEBER, J. A. *Agroecologia: enfoque científico e estratégico para apoiar o desenvolvimento rural sustentável* (texto provisório para discussão). Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2002. (Série Programa de Formação Técnico-Social da EMATER/RS. Sustentabilidade e Cidadania, texto 5).

³² ALTIERI, M. *Op. cit.*, 1989; 1995; 2001.

complexo processo, que vem sendo experimentado em vários lugares e que aqui foi exemplificado com resultados obtidos no Rio Grande do Sul, mostra que é possível caminhar em busca da segurança alimentar e nutricional sustentável, sempre que seja adotada a Agroecologia como enfoque científico e estratégico para apoiar o processo de mudança.³¹

Porém, vale lembrar que hoje existem várias correntes disputando o conceito de agricultura sustentável e adotando distintos métodos e tecnologias. Pelo menos duas grandes correntes do desenvolvimento sustentável se apresentam como alternativas para orientar estratégias rumo à agricultura sustentável. A *ecotecnocrática* parte de um *otimismo tecnológico*, relacionado à capacidade de uma *substituição sem fim* dos recursos naturais não renováveis por novas tecnologias e novos materiais. Na agricultura estaria representada pela *intensificação verde* que, embora manifestando um certo tipo de *ecologização*, continuaria muito próxima ao padrão tecnológico dominante. Já a corrente *ecosocial* recomenda a *prudência tecnológica*, dada a aceitação de que os recursos naturais necessários para a manutenção da vida sobre o planeta são limitados e finitos. Na agricultura, materializar-se-ia em estilos de produção de base ecológica, aproximando conhecimentos ambientais, econômicos e sócio-culturais e conformando assim a transição agroecológica.³² O imediatismo e a orientação das decisões baseadas apenas na busca de resultados econômicos têm feito com que muitas *agriculturas alternativas* não estabeleçam as condições necessárias para a sustentabilidade no médio e longo prazos, até porque nem sempre seguem os princípios da Agroecologia. Ademais, considerando o recrudescimento que se percebe nas estratégias ecotecnocráticas da sustentabilidade (a ecologização sob a forma de *intensificação verde*), no intuito de implementar uma *Nova Revolução Verde*, que busca resultados econômicos de curto prazo e coloca a fome como um problema de mercado, corre-se o risco de que o modelo atualmente hegemônico venha a ser mantido e, portanto, não se criem as condições para resolver o problema da oferta de comida e da melhoria da qualidade dos alimentos no Brasil.

Nessa ótica, cabe alertar que, embora constituindo um imperativo socioambiental de interesse de toda a sociedade, a construção de estilos de agricultura sustentável exige que sejam tomados cuidados especiais para que se evite a emergência de riscos associados ao processo de

ecologização em curso. Evidências empíricas estão mostrando o surgimento de novos fenômenos, ainda pouco estudados, tais como: *a)* uma nova onda de diferenciação social no campo, motivada pela variável ecológica; *b)* uma expansão na oferta de alimentos limpos apenas para consumidores melhor informados e com maior poder aquisitivo; *c)* um incremento gradual na exportação de alimentos orgânicos, destinando-se os produtos de categoria inferior ao consumo interno; *d)* o privilégio de prestação de serviços de assistência técnica e extensão rural para os novos adotadores precoces, ou seja, aqueles que se destaquem na adoção de *tecnologias verdes* derivadas de uma nova onda difusionista; *e)* o aparecimento de novos e sofisticados *pacotes tecnológicos verdes*; *f)* a consolidação de mercado de insumos orgânicos e de novas formas geradoras de dependência, a exemplo da importação de insumos industriais alternativos; *g)* a aceitação de perdas ambientais de longo prazo como contrapartida para ganhos econômicos de curto prazo, derivados da implantação de monoculturas orgânicas; e *h)* a exploração da mão-de-obra e a degradação do trabalho para viabilizar certas formas de produção orgânica em escala.³³

³³ COSTABEBER, J. A. & CAPORAL, F. R. Possibilidades e alternativas do desenvolvimento rural sustentável. In: VELA, H. (org.). *Agricultura Familiar e Desenvolvimento Rural Sustentável no Mercosul*. Santa Maria: Pallotti, 2003. p. 157-194.

Estes riscos, hipoteticamente associados ao processo de ecologização (mas que não são inerentes à Agroecologia enquanto ciência que pretende orientar a construção de estilos de agricultura sustentável e a elaboração de estratégias de desenvolvimento rural também sustentável), parecem coincidir com a crescente influência das determinações de mercado e de preços diferenciados como estímulo a diferentes tipos de produção ecológica, o que poderia levar a novas formas de exclusão e dominação. Cabe alertar que a simples adoção de técnicas *orgânicas* para a produção de produtos ecológicos não é condição suficiente para se alcançar a segurança alimentar na perspectiva da sustentabilidade de longo prazo, podendo levar, inclusive, ao surgimento de outros fenômenos socioambientais indesejáveis, além dos já citados. Portanto, as hipóteses mencionadas pretendem servir como um alerta no sentido de que a busca da segurança alimentar e nutricional sustentável, à luz da dimensão ética, inclui a necessidade de oferta de alimentos limpos e saudáveis *para todos*, o que não se obtém com a simples adoção de certas estratégias de *agricultura orgânica* ou de *substituição de insumos* dirigidas pelo mercado e cuja produção resulta acessível apenas a uma pequena e privilegiada parcela da população.

Notas finais

Ao contrário do processo de co-evolução sociocultural e ecológico que vigorou ao longo de mais de 10.000 anos de agricultura, os últimos 100 anos têm se caracterizado por um crescente processo de artificialização da natureza. Esta mudança é comandada pela adoção maciça de tecnologias industriais, rompendo a dinâmica de manutenção dos equilíbrios ecológicos em favor de uma vigorosa busca de maior produtividade física, em detrimento da *longevidade*³⁴ dos sistemas de produção agrícola. Isso se agravou na medida em que as chamadas tecnologias modernas, ao serem incorporadas como conhecimento nas matrizes culturais dos grupos sociais envolvidos, quase sempre determinaram o rompimento de estratégias tradicionais, reduzindo drasticamente a sustentabilidade socioambiental dos agroecossistemas e causando uma crescente perda na qualidade e diversidade dos alimentos e matérias-primas produzidas. Adicionalmente, observa-se que o modelo convencional de desenvolvimento agrícola levou a uma debilidade crescente na relação entre as populações rurais e seus territórios, entre a produção de alimentos e as necessidades básicas das populações, devido, especialmente, ao rompimento do processo de co-evolução sociedade-natureza.

A erosão sociocultural e a perda de valores que antes orientavam as estratégias de produção e consumo e que asseguravam a manutenção de certos equilíbrios ecológicos, como parte dos mecanismos de reprodução social, causaram, também, a perda da qualidade alimentar e nutricional, como conseqüência do estreitamento da variabilidade genética. No limite desse processo, os agricultores e a sociedade em geral passaram a ter uma dieta menos diversificada, a consumir alimentos contaminados por agrotóxicos e com menor qualidade biológica. Inclusive no meio rural, a insegurança alimentar de muitas famílias de agricultores está presente e se expressa numa crescente dependência aos mercados para a aquisição de alimentos básicos, o que também tem como causa a redução da diversificação da produção. A realidade indica a existência de milhões de famintos que devem ser incluídos no Programa Fome Zero, e isto exigirá um aumento na produção de alimentos básicos e, portanto, o fortalecimento da agricultura familiar, além de novas políticas de apoio à produção e comercialização dos produtos agrícolas da cesta básica.

³⁴ ODUM, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1986.

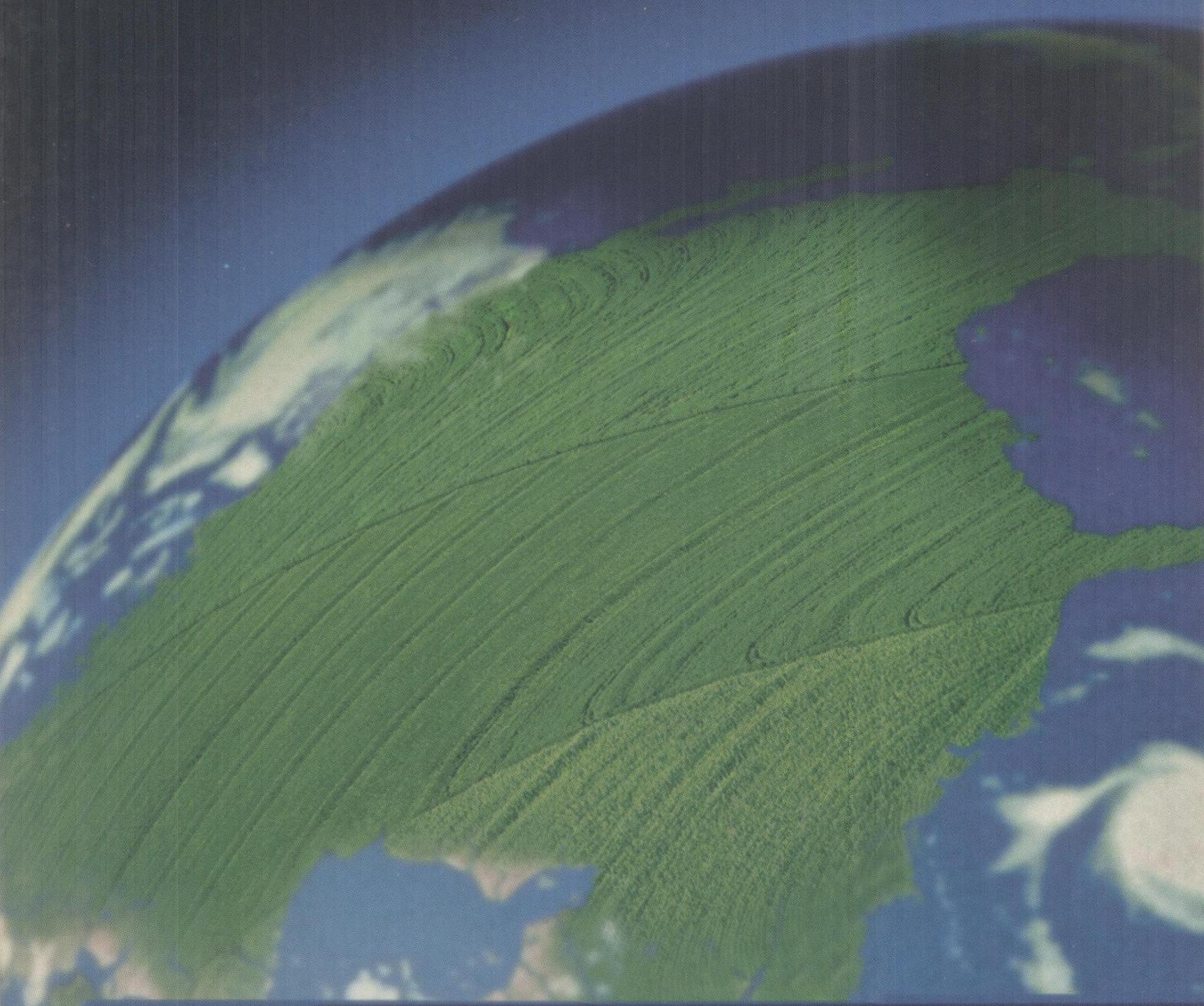
Sem querer dar conta dos inúmeros obstáculos conjunturais e estruturais que barram o alcance da segurança alimentar e nutricional sustentável, não há como negar o óbvio: são necessários novos e urgentes avanços científicos e tecnológicos que considerem a heterogeneidade e a diversidade biológica e sociocultural presentes no meio agrícola e rural. As projeções mostram que o combate à fome no Brasil, através de programas do tipo Fome Zero, requer não apenas o aumento do poder aquisitivo dos consumidores, mas também o incremento da produção de alimentos básicos, o que exige avanços no campo técnico-agronômico, como forma de garantir capacidade produtiva e sustentabilidade dos sistemas de produção.

De igual modo, a reforma agrária e o fortalecimento da agricultura familiar devem fazer parte das estratégias de desenvolvimento rural, pois têm a potencialidade de contribuir, de forma decisiva, para a produção de alimentos básicos em quantidade e qualidade. A consolidação desses avanços requer a democratização do conhecimento, o que coloca nas mãos de universidades, escolas agrárias e institutos de pesquisa uma importante parcela da responsabilidade que tem o Estado de promover estilos de agricultura sustentável, com base em princípios ecológicos. Decididamente, a segurança alimentar e nutricional sustentável não poderá ser alcançada sem a construção de uma agricultura também sustentável.

Francisco Roberto Caporal e José Antônio Costabeber são engenheiros agrônomos, doutores em Agroecologia e extensionistas rurais da EMATER/RS-ASCAR, Regional Santa Maria.
caporal@emater.tche.br
costabeber@emater.tche.br

70% água. 30% AGCO.

DEZ PROPAGANDA



MASSEY FERGUSON



Soluções em Agricultura de Precisão



AGCO

Onde tem terra, tem **AGCO**. Líder na América Latina e uma das líderes mundiais no setor, a **AGCO** é hoje sinônimo de tradição e alta tecnologia quando o assunto é produção rural. Além disso, é responsável pela geração de milhares de empregos só no Brasil e merecedora dos selos ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18000 e do Troféu Ouro no Prêmio Qualidade RS. E não estamos falando de uma empresa, mas de uma corporação. Afinal, a **AGCO** é formada por mais de 20 marcas que atuam em diversos segmentos e desenvolvem produtos específicos para as diferentes necessidades do campo. Portanto, não importa em que parte do planeta você está agora: pode ter certeza de que tem **AGCO** por perto.