

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 carregados 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: EPAGRI*, 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.