

CAPÍTULO 5

Impactos ambientais da irrigação no Semiárido brasileiro

Luiza Teixeira de Lima Brito
Marcos Brandão Braga
Tarcizio Nascimento

A água é fonte de vida e de prosperidade. É a matéria-prima de quase toda a produção agrícola, industrial, energética; é meio de transporte e componente fundamental dos ecossistemas naturais. Assim, há necessidade de usá-la de forma racional, como preconizado na Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

Rebouças (2006) ressalta que a quantidade total de água na Terra, cerca de 1.386 milhões de quilômetros cúbicos, têm permanecido constante nos últimos 500 milhões de anos. Todavia, esse aparente potencial nem sempre está disponível para consumo humano e desenvolvimento das atividades socioeconômicas, principalmente por causa da distribuição espacial, baixa qualidade e ao aumento da demanda, associados à crescente contaminação as fontes hídricas.

Estimativas indicam que o consumo mundial de água aumentou mais de seis vezes em menos de um século, superando o dobro da taxa de crescimento populacional, o que tem contribuído para aumentar a escassez, principalmente em alguns países da África e do Oriente Médio, atualmente, classificados como hidricamente estressados. São nesses países que se localizam grandes bolsões de pobreza, contendo uma população de 1,2 bilhão de pessoas famintas e sem acesso à água potável (BROWN et al., 2000). Esses autores afirmam que quando o mundo se defrontar com a escassez de água, também, se defrontará com a escassez de alimentos,

uma vez que são necessárias 1.000 t de água para produzir uma tonelada de grãos, isto é, uma relação muito desigual 1000:1; portanto, a competição pela água, provavelmente ocorrerá nos mercados mundiais de alimentos.

Segundo Freitas e Santos (1999), o Brasil detém 13,8% da disponibilidade hídrica mundial, referente à água doce; entretanto, apresenta distribuição interregional bastante heterogênea, tanto em termos de quantidade quanto de qualidade, como de usos preponderantes. No Semiárido brasileiro, essa situação não é diferente; fatores climáticos, geológicos e antrópicos influenciam na renovação das fontes hídricas e na variação da quantidade e da qualidade de suas águas.

No contexto da contaminação ambiental, entre as atividades antrópicas, a agricultura é considerada a principal usuária dos recursos hídricos, como também uma das atividades que mais contamina os recursos naturais, em especial o solo e a água. A salinidade do solo e da água e a contaminação das fontes hídricas por nitrato estão incluídas entre os principais indicadores de poluição ambiental (ONGLEY, 2001; BROWN et al., 2000). Resende (2002) enfatiza que, sob determinadas condições de solo e clima, o uso excessivo ou o manejo inadequado de fertilizantes agrícolas pode acarretar a eutrofização das fontes hídricas, com sérios prejuízos ao ambiente, à saúde humana e a outros seres vivos presentes nesse ecossistema. Dessa forma, são necessárias e urgentes, a implementação de estratégias técnicas, políticas, sociais, culturais, entre outras, voltadas para conscientizar a população em geral sobre as consequências do uso de práticas agropecuárias inadequadas.

Em relação aos recursos hídricos, a qualidade da água é definida por sua composição física, química, biológica e radioativa e, conseqüentemente, pelos efeitos que seus constituintes podem causar ao ambiente. Assim, os padrões de qualidade de água variam em função dos diferentes usos: consumo humano, uso industrial, irrigação, entre outros. No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente (MMA), por meio do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) elaboraram e disponibilizaram a Resolução n°. 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2005). Esta Resolução classifica os corpos de água em quatro categorias em função dos usos preponderantes, inclusive, dependendo do tipo de agricultura.

Em função do uso, uma avaliação criteriosa da qualidade da água deve ser feita mediante a aplicação de técnicas analíticas para determinar os parâmetros físico-químicos, bacteriológicos e hidrobiológicos (SPERLING, 1997), cujas principais características são apresentadas a seguir:

Parâmetros físico-químicos – são aqueles que permitem a identificação de condições ácidas ou alcalinas (pH); temperatura; cor; turbidez; teor salino (condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos); capacidade de tamponamento, isto é, a resistência da água às mudanças no pH (alcalinidade, dureza); presença de nutrientes, em especial, nitrogênio e fósforo; do oxigênio dissolvido; matéria orgânica (demanda bioquímica de oxigênio - DBO, demanda química de oxigênio - DQO); metais pesados; compostos clorados e fosforados, dentre outros, os quais são essenciais para determinar o uso da água sem riscos à saúde do ambiente.

Parâmetros bacteriológicos – são representados, principalmente, pela determinação de bactérias do grupo coliformes totais e fecais. Estas bactérias habitam, normalmente, o trato intestinal de homens e outros animais, classificados como animais de sangue quente. Embora não-patogênicas, estas são utilizadas como excelentes indicadores da presença de contaminação fecal, na maioria das vezes associada à ocorrência de organismos transmissores de enfermidades.

Parâmetros hidrobiológicos – definido pela presença de organismos indicadores da qualidade da água como o plâncton (organismos em suspensão na massa líquida, representados principalmente por algas e bactérias) e o benton (comunidade que habita o fundo de rios e lagos formado essencialmente por larvas de insetos e anelídeos).

Principais impactos ambientais causados pela agricultura irrigada

No âmbito mundial, a agricultura irrigada consome cerca de 70% da água derivada de rios, lagos e aquíferos, que corresponde, à cerca de, 2.664 km³. Os outros 30% estão destinados à indústria, ao uso doméstico e consumo animal (FAO, 2006, citado por CHRISTOFIDIS, 2008). Apesar do grande consumo de água, a irrigação representa uma alternativa eficiente de aumentar e/ou assegurar a produção de alimentos para atender à demanda da população no planeta, principalmente em regiões áridas e semiáridas, à semelhança do Semiárido brasileiro.

No Brasil, os cultivos irrigados representam 16% da demanda de alimentos e 35% do valor da produção, isto significa que cada hectare irrigado equivale a três hectares em produtividade física e a sete em produtividade econômica, quando comparado aos cultivados em condições de agricultura dependente de chuva, ou seja, agricultura de sequeiro. Se por um lado, a irrigação garante maior produção agrícola e desenvolvimento socioeconômico regional, por outro, enfrenta um grande desafio: reduzir as perdas de água dos sistemas de irrigação (CHRISTOFIDIS, 2008), como também a contaminação por agroquímicos, cujos temas estão tratados nos Capítulos 3 e 4. As perdas de água são consideradas significativas e estão relacionadas com sua aplicação nas parcelas irrigadas, no sistema de condução e distribuição, e na infraestrutura hídrica. Assim, a escolha do método de irrigação é essencial, podendo possibilitar o manejo eficiente do sistema solo-água-planta-atmosfera, por meio do uso de práticas voltadas à sustentabilidade desta atividade. Segundo o mesmo autor, o manejo considerado adequado deste sistema, com uso eficiente da água e dos demais fatores de produção, ainda deixa a desejar em muitas áreas irrigadas.

A irrigação modifica o ambiente - a irrigação é uma prática agrícola que tem por objetivo principal fornecer água às plantas no momento certo, na quantidade necessária e de maneira adequada. Essa prática pode modificar o meio ambiente local ou mesmo regional, principalmente pela necessidade da captação e da construção de reservatórios para armazenamento de água, canais, adutoras e drenos.

De acordo com a FAO (1997), a prática da irrigação pode causar impactos ambientais positivos e/ou negativos. Os impactos positivos são incontestáveis, como a intensificação da produção de alimentos para o consumo humano e animal nas terras mais favoráveis, possibilitando reduzir a pressão nas terras marginais, que já estão em processo de degradação, principalmente, relacionado à salinização. Os impactos potencialmente negativos advindos da agricultura irrigada estão relacionados principalmente ao uso inadequado e a qualidade da água, degradação do solo, em especial, salinização e contaminação dos produtos de origem agrícola. Estes impactos podem ocorrer fora ou dentro da área de produção. Fora desta área, o efeito pode acontecer à montante, onde significativo volume de água é represado para fins de uso na irrigação, reduzindo a vazão para áreas a jusante, neste caso, aplicado para as fontes hídricas, a exemplo de rios. Também, a água proveniente desta área, seja escoada na superfície e/ou percolação profunda, pode conter concentrações elevadas de sais, dejetos orgânicos, organismos patogênicos e resíduos de agroquímicos

diversos, os quais podem causar sérios impactos ambientais. Dentro da propriedade, o efeito também pode ocorrer na forma de escoamento superficial, percolação profunda, lixiviação de agroquímicos, salinização e encharcamento do solo, em escala que varia de acordo com o método de irrigação utilizado, manejo praticado, tipo e topografia do terreno.

A região Nordeste do Brasil possui cerca de 70.000 represas, com 37 bilhões de m^3 de água, aproximadamente. É considerado o maior volume de água represado em regiões semiáridas do mundo. Porém, dada às condições climáticas desfavoráveis, ocorrem significativas perdas por evaporação. Nestas condições, as perdas de água por evaporação, em reservatórios de água, dependem basicamente do tamanho do espelho d'água formado. No Submédio do Vale do São Francisco, no Estado da Bahia, encontra-se o maior lago artificial da América Latina, o Lago de Sobradinho, que possui área superficial (espelho d'água) de aproximadamente 4.214 km^2 e está localizado em uma região de elevada demanda hídrica, tanto para geração de energia como para irrigação. Neste lago, as perdas por evaporação são estimadas em $200 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

No Alto do Vale do São Francisco, o reservatório de Três Marias, com área de 1.100 km^2 , as perdas por evaporação equivalem à cerca de $20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Esses valores mostram que há diferença da evaporação em duas regiões com condições climáticas distintas dentro do mesmo vale. A perda do Lago de Sobradinho é corresponde a 10% da vazão regularizada do rio e supera à máxima vazão prevista para o projeto de “transposição” do rio São Francisco ($127 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), idealizado pelo Governo Federal e em implantação da infraestrutura necessária. Vale ressaltar que estes valores podem ser maiores em decorrência das perdas por infiltração nos reservatórios. Portanto, toda estrutura hídrica construída pode afetar o estado natural do ambiente, seja em escala local e/ou regional.

Uso inadequado dos recursos hídricos na agricultura - tem causado degradação ambiental em vários locais do mundo, no que se refere tanto à baixa eficiência do uso de água na agricultura, quanto na exploração excessiva deste recurso. Um caso bastante discutido pela comunidade científica é a degradação ambiental ocorrida na bacia do Mar de Aral, que ganhou notoriedade mundial como uma das maiores degradações ambientais do século 20, causadas pelo homem. O Mar de Aral era um lago terminal alimentado por dois rios principais (Sirdaria e Amudaria), que formava uma fronteira natural entre os países Casaquistão e Uzbequistão. Em 1960, o mar de Aral era considerado o quarto maior lago do mundo, com volume de água estimado em mais de 1.000 km^3 e 68 mil km^2 de área.

Em 1998 sua superfície estava reduzida a 29 mil km² e o volume a 220 km³. Neste período, a salinidade da água subiu proporcionalmente de 10 gL⁻¹ para 45 gL⁻¹ de água. Esta degradação pode ser melhor compreendida observando-se as imagens registradas pelo satélite entre os anos de 1977 e 2006, em que apresenta a retração da superfície do lago, que na imagem de 2006 tinha apenas 11 mil km² (Figura 1). Neste ano, a área era de apenas 10% da original e a salinidade atingiu 100 gL⁻¹ de água (APOLO 11, 2010).

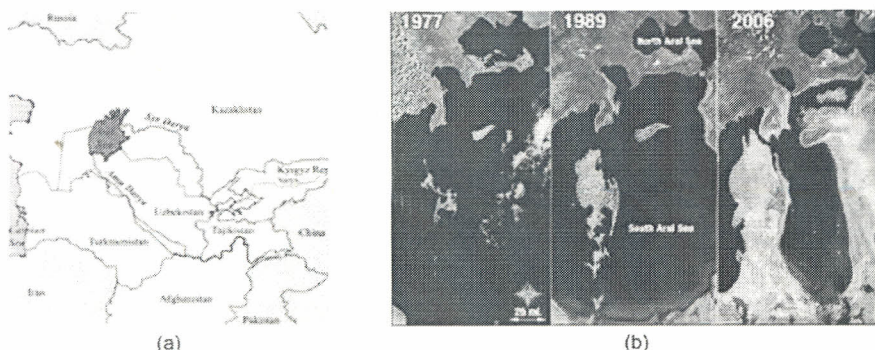


Figura 1. Mapa de localização do Mar de Aral (a) e a redução no período de 1977 a 2006 da superfície e do volume de água (b). Fonte: Apolo 11 (2010).

A degradação deste lago é um dos péssimos exemplos de uso inadequado dos recursos hídricos, que ocorreu, principalmente, por causa de projetos de irrigação instalados a montante do lago, muitas vezes de forma inadequada, destinados à produção de algodão e arroz, com consumo de mais de 90% da vazão natural de ambos os rios. O uso descontrolado da água desses rios conduziu a perdas graves no equilíbrio entre as fontes naturais de água nos ecossistemas e a utilização da água na irrigação. A salinidade deste mar era controlada pela grande quantidade de água doce proveniente dos rios e, à medida que suas águas foram sendo desviadas para irrigação, houve diminuição drástica do volume de água do lago, aumento da salinidade e, conseqüentemente, morte de fitoplanctons e peixes.

No Brasil, o crescimento desordenado das cidades, o uso intensivo da água pela irrigação e a construção de usinas hidrelétricas já criam situações de conflitos, como ocorre no Rio Paracatu, em Minas Gerais, que é o afluente com maior contribuição de água para o rio São Francisco. A partir da década de 1970, como consequência da expansão da área irrigada nesta bacia, surgiram sérios conflitos pelo uso das águas. Esse mesmo fato vem ocorrendo em outras regiões, como na bacia do Rio Salitre, na Bahia,

também afluente do Rio São Francisco e no Tietê, em São Paulo (PRUSKI et al., 2007). No âmbito global, problemas relativos à competição pela água podem se tornar cada vez mais grave à medida que o aquecimento global, o crescimento populacional e a poluição reduzem sua disponibilidade.

No contexto das fontes hídricas subterrâneas, Postel (2000) observou que entre os fatores de vulnerabilidade que caracterizam a agricultura irrigada, atualmente, nenhum desponta com maior destaque do que a exaustão dos aquíferos subterrâneos, cuja situação é generalizada na China, Índia, Paquistão, parte ocidental dos Estados Unidos, África do Norte, Oriente Médio e Península Árabe. O mesmo autor ressalta, ainda, que além de restringir a produção de alimentos, o excesso de bombeamento da água subterrânea está contribuindo para aumentar as desigualdades sociais, vez que os mais pobres não podem pagar o preço de uma tecnologia para buscar água a grandes profundidades. Fato semelhante vem ocorrendo há alguns anos no Município de Mossoró, RN, onde a quase totalidade das áreas agrícolas é irrigada com água subterrânea. Em anos com baixa precipitação, o uso de água de poços para irrigação tem ocasionado rebaixamento do lençol freático até um limite em que o total de chuva não é suficiente para reabastecê-lo, dificultando o acesso à água aqueles agricultores que possuem poços pouco profundos situados nas proximidades de grandes propriedades irrigadas. Este contexto, também afeta o abastecimento de água da população e da indústria que utilizam esta fonte hídrica.

Atualmente, a eficiência de uso da água de irrigação aproxima-se de 38% em todo mundo. Isso mostra a necessidade de desenvolvimento tecnológico que seja capaz de aumentar sua eficiência, como também, conhecimentos metodológicos que permitam melhor gestão da água, principalmente a utilizada na irrigação. Para isso, há necessidade, também, de mudança de hábitos e costumes, que incluem mudanças estruturais e gerenciais, visando à melhoria dos serviços a todos os usuários, o que nem sempre é tão fácil.

Nos últimos anos, houve reconhecido avanço no que se refere à compreensão da importância do uso da água tanto por seu valor econômico, como por sua dimensão social, religiosa, cultural e ambiental.

Nesse contexto, o conceito de equidade relativo ao uso e à gestão da água está bem mais estabelecido, como também, a noção da necessidade de otimizar seu valor, por meio dos usos múltiplos, promovendo ao mesmo tempo, o acesso equitativo e a disponibilidade adequada (FAO, 1997).

Portanto, para atenuar o desperdício ou mau uso ocasionado pelo consumo inadequado da água, devem ser adotadas práticas de uso sustentadas, obedecendo à lei do uso múltiplo das águas e, também, adotar sistemas de irrigação mais eficientes.

No Brasil, ainda não existem normas ou leis que possam obrigar empresas e produtores que trabalham com agricultura irrigada a aumentar a eficiência do uso da água. Isto não é observado em perímetros públicos irrigados onde, muitas vezes, a eficiência é bastante baixa. Porém, já existem países que possuem política pública para uso racional dos recursos hídricos, como exemplo, a Espanha, onde o produtor irrigante que usa água com eficiência é beneficiado com pagamento de menores taxas.

Contaminação dos recursos hídricos

De um lado, a contaminação dos recursos hídricos pode resultar de fontes pontuais e não pontuais, denominadas de fontes difusas de poluição (MEYBECK; HELMER, 1997). Segundo Manoel Filho (1997), as fontes pontuais dão origem a concentrações elevadas de poluentes, normalmente, em forma de plumas que podem permanecer estratificadas em um aquífero por longo tempo. Exemplos deste caso são os resíduos orgânicos degradáveis e qualidade sanitária. Por outro lado, as fontes não pontuais ou difusas tendem a criar uma estratificação regionalizada e os mananciais de superfícies e subterrâneos produzem uma mistura contaminada e não contaminada em proporções crescentes, e estão relacionadas ao tempo, temperatura elevada, salinidade, erosão, sedimentação, microelementos tóxicos e agroquímicos. Neste último caso, destaca-se a contaminação por nitrato advinda da aplicação excessiva de nutrientes.

Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) efetua rigoroso controle na manutenção dos cursos de água. Para isso, monitora o sistema que permite a emissão de descargas de poluentes de fontes pontuais. Contudo, a agricultura não está incluída nesta categoria de fontes, portanto, torna-se mais difícil de ser controlada. Na Tabela 1, observam-se alguns impactos diretos na qualidade das águas, decorrentes de práticas agrícolas inadequadas, de acordo com a FAO (1996), citado por Brown et al. (2000).

Tabela 1. Impactos do uso de práticas agrícolas inadequadas sobre a qualidade das águas.

Atividade	Impactos nas fontes hídricas	
	Superficiais	Subterrâneas
Preparo do solo	Sedimentação/Turbidez: sedimentos carreiam fósforo e pesticidas adsorvidos nas partículas	
Fertilizantes	<i>Runoff</i> de nutrientes, especialmente P, causando eutrofização e alteração no gosto e odor nas águas; crescimento excessivo algas, desbalanceamento de O ₂ e morte de peixes	Lixiviação de nitrato para as águas subterrâneas; níveis excessivos constituem-se em ameaças à saúde pública
Pesticidas	<i>Runoff</i> de pesticidas contaminam as águas e a biota; impacto na saúde pública pelo consumo de peixes contaminados; disfunção dos sistemas ecológicos pela perda de inimigos naturais por causa da inibição do crescimento e morte	Alguns pesticidas podem lixiviar, atingir e contaminar as águas subterrâneas
Irrigação	<i>Runoff</i> de sais, salinizando as fontes superficiais de água; runoff fertilizantes e de pesticidas — altos níveis de elementos traços podem ocorrer, causando sérios prejuízos ao meio ambiente	Enriquecimento das águas subterrâneas com sais e nutrientes, especialmente nitratos

Fonte: Adaptado de Ongley (1996).

O uso excessivo de agroquímicos nos sistemas agrícolas vem causando sérios problemas de contaminação de águas por resíduos e metais pesados. O manejo inadequado destes insumos, associado ao mau uso da água na irrigação, faz com que alguns elementos sejam transportados por processos de escoamento superficial e percolação, e sejam carregados para as fontes hídricas superficiais e subterrâneas, causando impactos negativos ao ambiente, em especial ao homem. Além disso, devem ser considerados os problemas relacionados com a erosão dos solos e o assoreamento dos

corpos d'água. Esta situação se agrava pela insuficiente proteção das fontes e dos mananciais que, muitas vezes, inviabiliza o aproveitamento dessa água para outros usos ou onera seu custo para tratamento em virtude da necessidade de tratamento específico que, em última instância, será tributado à comunidade.

No Brasil, cerca de 50% da área irrigada utiliza os sistemas de sulco e de inundação no cultivo de arroz, destacando-se os estados do Rio Grande do Sul e Tocantins. Caso semelhante ocorre na bacia do Rio São Francisco com o cultivo de hortaliças (cebola, melão, melancia, tomate), frutíferas (manga, coco, uva, goiaba) e cana-de-açúcar. Na maioria dessas áreas há excesso na aplicação de água, e podem ocorrer os problemas já citados, causando assoreamento das fontes hídricas, a eutrofização e a contaminação das águas e, consequentemente, impactos sobre os seres vivos, com risco para toda cadeia alimentar.

Salinização dos solos e da água

A salinização do solo é, provavelmente, um dos maiores impactos relacionados com a agricultura irrigada. Segundo a FAO e a UNESCO, metade da área irrigada no mundo, que corresponde a aproximadamente 250 milhões de hectares, está seriamente afetada pela salinidade e pelo encharcamento; e 10 milhões de hectares irrigados são abandonados anualmente, em consequência da degradação dos solos (RHOADES et al., 1990, 1999; UNESCO, 2003). Estes números são bastante significativos quando se considera a necessidade de aumentar a produção agrícola para atender à grande demanda por alimentos.

No Brasil, cerca de 25% da área irrigada está salinizada ou em processo de salinização, sendo que, a quase totalidade (90%) encontra-se em perímetros irrigados (SILVA, 1997). No Nordeste brasileiro cerca de nove milhões de hectares possuem problemas de salinidade e/ou alcalinidade. Segundo Fageria e Gheyi (1997), nos estados da Bahia (44%) e do Ceará (25,5%) encontram-se as maiores áreas salinizadas. O avanço da salinidade do solo em consequência da atividade antrópica em perímetros irrigados é preocupante. Entre estes, se destaca o perímetro irrigado de São Gonçalo, PB, que no final de 1980 possuía cerca de 40% da área irrigada afetada por sais (CORDEIRO et al., 1988). No Estado de Pernambuco, o problema da salinização do solo, em sua maioria, atinge áreas irrigadas às margens do Rio São Francisco (SILVA, et al., 2005).

Na agricultura irrigada, o conhecimento da qualidade da água e dos solos é essencial, pois, pode inviabilizar técnica e economicamente o empreendimento, ou ainda causar danos às culturas, com consequências negativas para a produção. Neste contexto, as águas e os solos destinados à irrigação devem ser monitorados sob aspectos relacionados aos riscos de provocar salinidade, sodicidade e toxicidade de íons (RHOADES et al., 1990; 1999; AYERS; WESTCOT, 1999).

Salinidade - A origem da salinidade dos solos pode estar associada ao material de origem, à água de irrigação, à altura do lençol freático e/ou aos fertilizantes e corretivos aplicados ao solo de forma inadequada. A elevação do lençol freático é um dos problemas mais frequentes nas áreas irrigadas. A baixa eficiência da irrigação, em torno de 30%, em algumas áreas, destaca-se com uma das principais causas. Segundo recomendações da Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID), o aumento da eficiência de aplicação para 50% poderá reduzir, significativamente, a elevação do lençol freático.

Embora a fonte principal e mais direta relacionada à presença de sais encontrados no solo seja a intemperização das rochas, raros são os exemplos em que a mesma tenha provocado, de forma natural, problemas de salinidade no solo em grande escala. Normalmente, tais problemas estão associados à ação antrópica, como a prática inadequada na agricultura de irrigação. Os sais da água de irrigação podem ser provenientes das fontes primárias como a rocha e o solo, como também da água de drenagem e intrusão salina.

No contexto da agricultura, em solos salinos ocorre a redução da disponibilidade de água para as plantas, decorrente da redução do potencial osmótico e, assim, redução do potencial total de água no solo. As consequências dessa redução são diferentes e variam de acordo com as espécies vegetais, visto que, nem todas são igualmente afetadas pelo mesmo nível de salinidade. Determinadas espécies são mais tolerantes que outras e podem extrair água do solo com mais facilidade, como as halófitas, a exemplo da *Atriplex nummularia*. Também deve-se considerar que certos sais podem ser especificamente tóxicos à algumas espécies de plantas e causar desbalanceamento nutricional, se presentes em quantidades excessivas. Com isso, os efeitos da salinidade são manifestados na perda de estande, redução da taxa de crescimento das plantas e redução significativa da produtividade.

Regiões de alta demanda evaporativa, baixa precipitação e solos rasos, como ocorre no Semiárido brasileiro, apresentam características propícias para salinização ao longo do tempo, mesmo quando irrigado com água de boa qualidade, como é o caso da água proveniente do Rio São Francisco. Neste caso específico, analisando a água deste rio, considerada de excelente qualidade para uso na irrigação, com uma concentração de sais em torno de $0,05 \text{ g L}^{-1}$, a demanda evapotranspirométrica, em média de 6 mm dia^{-1} , e uma cultura hipotética, com ciclo de irrigação de 80 dias, tem-se uma demanda de água 480 mm no ciclo produtivo.

Considerando, ainda, uma área de um hectare, o consumo de água será de 4.800 m^3 , o que acarretaria na incorporação de 240 kg de sais por hectare, por ciclo de cultivo. Caso ocorram dois ciclos de cultivo por ano, este solo receberá uma carga de 480 kg de sais por hectare. Exemplificando para Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho (PISNC), localizado em Petrolina, PE, com aproximadamente, 15.000 hectares irrigados com culturas diversas, como manga, uva, banana, melancia, melão etc., e, supondo os mesmos dados do exemplo anterior, seriam acrescidos aos solos em torno de 45 t dia^{-1} de sais e, em um ano, 16.425 t. Estes valores podem ser maiores ou menores a depender da demanda hídrica das culturas, da eficiência do sistema de irrigação utilizado e, principalmente, da existência de drenagem na área das parcelas e todo perímetro. A Agrovale, empresa que cultiva cerca de 15.000 ha com cana-de-açúcar no perímetro irrigado de Curaçá, BA, 90% da área é irrigada por sulcos. A quantidade de sais adicionada ao solo pela irrigação será maior, comparativamente, à quantidade do PISNC, considerando a mesma demanda hídrica diária (6 mm dia^{-1}).

O Semiárido brasileiro, com características climáticas de alta demanda evaporativa e baixa precipitação (400 mm ano^{-1}), solos rasos ($<1 \text{ m}$) e com baixa drenagem natural, a consequência ao longo do tempo será a salinização, mesmo sendo irrigado com água de baixa salinidade. Estes sais se acumulam na zona radicular a cada irrigação, a menos que sejam removidos pela lixiviação ou lavagem. A drenagem, a precipitação e a substituição de uma cultura por outra mais tolerante são práticas que podem minimizar o impacto de acumulação de sais em longo prazo. No entanto, também deve-se considerar práticas como irrigações mais frequentes, aplicação de fertilizantes e métodos de semeadura adequados. A melhor maneira de controlar a salinidade do solo e da água é praticar uma irrigação eficiente com lixiviação e drenagem adequada.

Sodicidade - A sodicidade é determinada pela razão de adsorção de sódio (RAS) da água de irrigação e refere-se ao efeito do sódio (Na) presente na água em relação aos teores de cálcio e magnésio, que tendem a elevar a porcentagem de sódio trocável no solo (PST), afetando, de um lado, as características físicas do solo, principalmente a velocidade de infiltração; por outro lado, elevados valores de RAS diminuem a velocidade de infiltração. A redução na velocidade normal de infiltração da água de irrigação ou de chuva depende também de fatores do solo, tais como: textura, estrutura, teor de matéria orgânica, grau de compactação e características químicas, como da qualidade de água. Normalmente, essa redução é decorrente do uso de água com alto teor de sódio e, geralmente, ocorre nos primeiros centímetros da camada superficial do solo, onde o Na é adsorvido pelas micelas de argila ou pelos agregados, que se dispersam quando umedecidas e obstruem os poros do solo, reduzindo seu tamanho, afetando de maneira significativa as suas propriedades físico-hídricas.

Segundo Holanda e Amorim (1997), o efeito específico de certos íons sobre as plantas, pode afetar seu rendimento, independente do efeito osmótico. Quando se trata da irrigação localizada, é necessária a inclusão de alguns parâmetros para prevenir o entupimento de emissores. As diretrizes para avaliar a qualidade da água de irrigação encontram-se na Tabela 2 (AYERS; WESTCOT, 1999).

Tabela 2. Principais parâmetros para interpretar a qualidade da água para irrigação

Problema potencial	Unidades	Grau de restrição para uso		
		Nenhum	Ligeiro a moderado	Severo
Salinidade				
CE _a	dS m ⁻¹	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
SDT	mg L ⁻¹	<450	450 - 2000	> 2000
Velocidade de infiltração				
RAS = 0 - 3 e CE _a =		< 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
RAS = 3 - 6 e CE _a =		< 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
RAS = 6 - 12 e CE _a =		< 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
RAS = 12 - 20 e CE _a =		< 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
RAS = 20 - 40 e CE _a =		< 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9
Toxicidade de íons específicos				
Sódio (Na)				
Irrigação por superfície	RAS	< 3	3 - 9	> 9
Irrigação por aspersão	meq L ⁻¹	< 3	> 3	
Cloreto (Cl)				
Irrigação por superfície	meq L ⁻¹	< 4	4 - 10	> 10
Irrigação por aspersão	meq L ⁻¹	< 3	> 3	
Boro (B)	meq L ⁻¹	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
Outros				
Nitrogênio (NO ₃ -N)	meq L ⁻¹	< 5,0	5,0 - 30	> 30
Bicarbonato (HCO ₃)-aspersão	meq L ⁻¹	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
pH		Faixa normal: 6,5 - 8,4		

Fonte: Ayers e Westcot (1999).

A condutividade elétrica (CE) é o parâmetro mais utilizado para expressar a concentração de sais solúveis, por ser um método rápido e preciso em sua determinação. A CE de uma solução é proporcional à sua concentração iônica, e permite conhecer a salinidade da água (CE_A) ou da solução do solo (CE_S). A CE depende fundamentalmente da temperatura, a qual é ajustada para 25 °C, na sua determinação. Além da temperatura, a CE depende de outros fatores, como: número de espécies iônicas presentes na solução; cargas das espécies iônicas; mobilidade de cada íon; área efetiva dos eletrodos e distância entre eletrodos (FERREIRA, 1997). Este autor afirma, também, que a CE_S, por si só, não é suficiente para expressar o estado de

salinidade do solo e que a textura e a estrutura do solo são muito importantes porque afetam a capacidade de retenção de água no solo, a um dado potencial matricial.

Águas de alta salinidade requerem maiores volumes de água para lixiviar os sais acumulados no solo aumentando, conseqüentemente, o risco de elevação do lençol freático, tornando praticamente impossível manter, por longo tempo, a agricultura irrigada, sem adequado sistema de drenagem. Se a drenagem for suficiente, o controle da salinidade exigirá simplesmente manejo adequado para assegurar a água necessária às culturas e a lixiviação dos sais, dentro dos limites de tolerância das plantas.

Toxicidade - A toxicidade refere-se ao efeito de alguns íons sobre as plantas; entre eles, citam-se: cloreto, sódio e boro que, em concentrações elevadas, podem causar danos às culturas reduzindo sua produtividade. Íons de cloreto (Cl) causam necroses na ponta das folhas que se acentuam ao longo das bordas à medida que a toxicidade se torna severa, ocasionando desfolhamento prematuro das plantas. Íons de sódio (Na) causam necroses, inicialmente ao longo das bordas das folhas mais velhas, espalhando-se progressivamente na área internervural até o centro da folhas. Estes íons podem ocasionar desordem nutricional pelo antagonismo como, por exemplo, alta concentração causa deficiência de K e reduz a absorção de Ca e Mg. Também, podem elevar o pH da solução do solo, reduzindo a disponibilidade de muitos micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn) para as plantas, além de causar supressão no crescimento por causar desequilíbrio hormonal.

Alta concentração de carbonatos (CO_3), bicarbonatos (HCO_3) e sulfatos (SO_4) no solo pode provocar precipitação do Ca, reduzindo a disponibilidade deste íon na solução do solo, aumentando, assim, a relação de adsorção de sódio.

Íons de boro causam manchas amarelas ou secas nas bordas e ápice das folhas mais velhas, que se estendem pelas áreas internervurais até o centro das folhas, tornado-se tóxico quando ultrapassa níveis de 1 mg L^{-1} a 2 mg L^{-1} . Água rica em CO_3 , HCO_3 e SO_4 formam no solo compostos como CaCO_3 , MgCO_3 , CaHCO_3 , MgHCO_3 , CaSO_4 e MgSO_4 , que têm baixa solubilidade e que reduzem os teores de Ca e Mg na solução, aumentando proporcionalmente os efeitos do Na.

As principais características visuais de solos com problema de salinidade são crostas brancas na superfície, manchas desnudas ou sem vegetação e

plantas com folhas verde-azuladas e espessas, cerosas e queimaduras marginais. Com relação à sodicidade, os principais sintomas são: manchas enegrecidas ou escuras na superfície; estrutura do solo em colapso; textura aparentemente grossa e quebradiça na superfície; camada extremamente compacta a poucos centímetros da superfície; condutividade hidráulica drasticamente reduzida e, quando secos, ocorrem rachaduras de 2-3 cm na superfície e fica completamente compacto. Quando úmidos, tornam-se extremamente pegajosos.

Richards (1954) propôs um diagrama para classificação das águas quanto à salinidade e sodicidade. Este diagrama pressupõe que, quanto maior a salinidade, maior o risco de sodicidade, ou seja, maior o risco do Na causar redução da infiltração da água e, em geral, ocorre de modo inverso, ou seja, quanto maior a salinidade menor é o risco de o sódio causar redução na infiltração no solo. Apesar dessa controvérsia, este diagrama continua sendo usado.

A razão de adsorção de sódio (RAS) pode influenciar significativamente a infiltração de água no solo, ou seja, quanto maior o RAS, menor a infiltração de água no solo. A classificação do solo de acordo a salinidade e a sodicidade pode ser vista na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação usada no Brasil para definir quanto à salinidade e a sodicidade dos solos.

Classificação	CE _s (dS m ⁻¹ a 25 °C)		PST (%)	pH _{ps}
	Richards (1954)	Proposta		
Solos normais	< 4	< 2	< 15	< 8,5
Solos salinos	> 4	> 2	< 15	< 8,5
Solos salinos-sódicos	> 4	> 2	> 15	< 8,5
Solos sódicos	< 4	< 2	> 15	> 8,5

*Limites defendidos pela comunidade científica internacional e brasileira.

O manejo da irrigação em áreas salinas é muito complexo, por causa do aumento do potencial osmótico da água no solo e, conseqüentemente, mudança no potencial total de água, ou seja, à medida que aumenta a concentração de sais no solo, mais água será necessária para que o teor de umidade atinja o valor requerido pelas culturas. Uma vez salinizado, os custos para recuperação do solo são elevados. Para isso, é necessário conhecimento sobre a classificação da salinidade, ou seja, se o solo é salino, salino-sódico ou sódico que, dependendo do caso, existem estratégias diferenciadas para sua recuperação. Além disso, deve-se instalar sistema de drenagem para auxiliar no carreamento dos sais do perfil do solo.

Em caso de solos salinos, muitas vezes, apenas a lavagem é suficiente para reduzir os índices de salinidade para níveis adequados, porém, é importante que a água seja de boa qualidade. Para solos salino-sódico e sódico, além da lavagem, é necessário utilizar corretivos. Um dos corretivos mais usados é o gesso agrícola, onde o cálcio (Ca) troca de lugar com o sódio (Na) adsorvido pelas partículas do solo, liberando-o para ser carregado pela água de lavagem. Como na maioria das vezes a prática de recuperação de solos salinizados é economicamente inviável, recomenda-se agir preventivamente adotando-se o uso racional de água e fertilizantes, além da implantação de sistemas de drenagem eficientes.

Souza et al. (2000) reforçam que, em áreas irrigadas, o processo de salinização pode acontecer mesmo em solos com boas características físicas, em especial nas situações em que não existe manejo de solo e água adequados. No Vale do Rio São Francisco, onde existem diversos perímetros públicos irrigados, como Jaíba, no Norte de Minas Gerais, Formoso A, Mandacarú, ambos, na Bahia, Senador Nilo Coelho, Bebedouro e Brígida, em Pernambuco, entre outros. Nestes perímetros, algumas áreas possuem sistemas de drenagem, porém, sua eficiência é baixa, principalmente por falta de manutenção, o que possibilita a elevação do lençol freático e, conseqüentemente, afeta o potencial produtivo das culturas. Quanto ao manejo do solo, no Capítulo 2 são descritas práticas conservacionistas que podem contribuir com a redução dos impactos causados pela agricultura.

Impactos sociais e econômicos

O manejo racional da água de irrigação é uma prática que demanda conhecimento além do sistema solo-água-planta-atmosfera, pois deve, também, considerar os aspectos sociais, econômicos e ecológicos. Em relação aos aspectos ecológicos, entende-se que a ausência da valorização dos impactos ambientais não é benéfica ao desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada. Portanto, devem-se aglutinar esforços no sentido de obter indicadores confiáveis que permitam quantificar a magnitude do impacto ambiental ocasionado pela irrigação, de modo que este seja considerado tanto por ocasião da implantação quanto no manejo dos projetos irrigados.

A agricultura irrigada proporciona aspectos positivos, tais como, menor pressão para aumento da área cultivada, diante da possibilidade de obtenção de mais de uma colheita por ano em uma mesma área; aumento

da produtividade das culturas (2 a 3 vezes) em relação ao cultivo em condições dependente de chuva; aumento de emprego e renda, principalmente em regiões áridas e semiáridas, à semelhança do polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA; proporciona maior eficiência no uso de fertilizantes; permite escalonar a produção e cultivos; introduzir culturas com maior valor econômico e diminuir riscos do investimento. Segundo Bernardo (1997), outro aspecto importante é o papel social na fixação do homem no meio rural, o que minimiza a pressão populacional nas periferias das grandes cidades. Antes de se instalar um projeto de irrigação, é essencial realizar uma análise conjunta dos fatores citados e tomar medidas para amenizar ou mitigar os possíveis impactos ambientais negativos causados pelo empreendimento. Somente assim, será possível a sustentabilidade da agricultura irrigada, principalmente no Nordeste do Brasil.

Finalmente, o maior desafio a ser enfrentado no âmbito da agricultura irrigada é encontrar caminhos para melhorar e manter a produção de alimentos, fazendo uso sustentável dos recursos disponíveis, dentro e fora da parcela agrícola, principalmente em áreas onde a água é o fator limitante. Sendo assim, é fundamental focar estudos no aumento da produtividade da terra para conservação do solo e da água, os quais identificam e adotam práticas de manejo agrícola que alcancem maior produtividade por unidade de volume de água aplicado, atualmente denominado como “produtividade da água”. Nesta perspectiva, deverão ser consideradas: a seleção de culturas ou variedades que consumam menos água; maior eficiência das práticas de preparo de solo e na aplicação de agroquímicos. Devem-se criar programas de capacitação dos irrigantes em práticas de manejo eficiente da água de irrigação e estabelecer incentivos para aqueles que obtiverem aumento significativo na eficiência do uso da água.

Recomendações para minimizar os impactos da irrigação

Durante a instalação de uma área irrigada, há necessidade de licenciamento ambiental, que deve ser solicitado ao Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), órgão responsável pelo controle e fiscalização de uso dos recursos naturais (água, flora, fauna, solo, etc.) e pela realização de estudos para liberação das licenças ambientais de empreendimentos no âmbito nacional. O licenciamento ambiental é um procedimento pelo qual o órgão competente, seja no âmbito federal, estadual ou municipal, autoriza a localização, instalação, ampliação e operação de empreendimentos e atividades

utilizadoras de recursos ambientais, e que possam ser consideradas efetivas ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental. Com este instrumento busca-se garantir que as medidas preventivas e de controle adotadas nos empreendimentos sejam compatíveis com o desenvolvimento sustentável.

Atualmente, para a implantação de novos empreendimentos de irrigação é exigido seguir a Lei Ambiental, realizando-se a Análise de Impacto Ambiental (AIA) e Relatório de Estudos de Impacto Ambiental (RIMA), indicando-se os índices de impacto causado e as medidas compensatórias para minimizá-los.

Outro tipo de estudo necessário para diminuir os impactos causados em rios, lagos e poços de captação de água para uso na irrigação é o estudo da demanda hídrica exigida pelo empreendimento. Este estudo fornece subsídios aos órgãos públicos ou agências reguladoras, a exemplo da Agência Nacional de Águas (ANA), na concessão ou não da outorga d'água para o devido fim, com a preocupação de manter vazões e volumes mínimos de água necessários à sobrevivência da flora e fauna no ambiente, além de aplicar a legislação do uso múltiplo da água.

No contexto do manejo adequado da irrigação, há necessidade do uso de medidas que contribuam para aumentar a produtividade hídrica e agrícola, as quais podem estar ajustadas ao clima, cultura, hidrologia, solo, entre outros. As estratégias mais bem sucedidas para melhoria da produtividade da água na agricultura, quase sempre envolve a sinérgica de diferentes medidas (Tabela 4). A redução do impacto da agricultura irrigada no ambiente deve considerar o manejo da água e uso de sistemas mais eficientes com a substituição, em alguns casos, da irrigação por superfície pela irrigação pressurizada, especialmente pela localizada.

Tabela 4. Medidas para melhoria da produtividade hídrica na agricultura irrigada.

Categoria	Medidas
Técnica	Sistematização dos solos para melhoria da uniformidade de aplicação e redução de vazões na irrigação por superfície Irrigação sob pressão para melhorar a distribuição da água Uso de aspersores mais eficientes e com melhor uniformidade de aplicação, com aplicações mais precisas e menores pressões, reduzindo tanto as perdas por evaporação como as decorrentes de velocidades de ventos elevadas Criação de bacias de indução à infiltração da água no solo e redução do escoamento superficial
Gerencial	Melhoria na distribuição de água nos canais de maneira a atender a calendários pré-determinados por setor Aperfeiçoamento das operações no sistema de irrigação para programação no fornecimento de água Aplicação da água conforme o estágio de desenvolvimento de cada cultura com a observação da chuva efetiva Culturas conservadoras de água e adoção do plantio direto e de métodos de conservação de água Melhoria na manutenção dos canais, tubulações, reservatórios e equipamentos, reciclagem de água dos drenos e dos trechos finais, com adequado manejo e controle de salinidade Reciclagem da água de drenagem e de descarga
Institucional	Implantação de organizações par a maior envolvimento dos usuários da água e cobrança de taxas Redução nos preços da água de irrigação e adoção de preços para a água que induzam sua conservação e valorização Implantação de estrutura jurídica para mercados hídricos eficientes e equitativos Fomento à infraestrutura rural para disseminação de tecnologias eficientes via setor privado Melhoria na capacitação, treinamento em serviço e dos métodos de disseminação de tecnologia
Agrônômica	Seleção de variedades agrícolas com alto rendimento por litro de água transpirada Intercultivo para maximizar o uso da umidade do solo Melhoria genética na adequação dos cultivos para as condições climáticas regionais e em relação à qualidade da água disponível Sequenciamento de plantio para maximizar a produção em condições de solos e água salinas (Semiárido) Seleção de culturas resistentes à seca, onde a água for escassa ou não confiável Cultivo de variedades de culturas eficientes em termos hídricos

Fonte: Adaptado de Vickers (1999), citado por Postel (2000).

A Tabela 5 apresenta os principais impactos que podem ocorrer durante e após a instalação de um projeto de irrigação, com sugestões de medidas mitigadoras. Ressalta-se que estas medidas podem ser pertinentes a cada situação específica, ficando a critério do técnico o uso do bom senso para sua aplicação.

Tabela 5. Principais impactos negativos resultantes do uso não sustentado da agricultura irrigada e algumas medidas mitigadoras.

Problemas	Medidas mitigadoras
Degradação de terras irrigadas Salinização e alcalinização	Melhorar o manejo da água e a drenagem de modo a estabelecer quando e quanto, irrigar e drenar Prever drenagem, incluindo a eliminação da água para bacias de evaporação ou para o mar se a qualidade do fluxo de água do rio for afetada negativamente pela água de drenagem Fazer manutenção em canais para prevenir infiltração e reduzir ineficiências resultantes de assoreamento e ervas daninhas. Permitir acesso aos canais para manutenção de sua forma
Saturação do solo	Fornecer caminho para que a água seja retirada da área saturada, com uma operação específica, ou seja, drenagem da área
Acidificação do solo	Configurar ou ajustar o manejo da infraestrutura de irrigação com o propósito de garantir a máxima eficiência dos sistemas de irrigação e drenagem Fazer análises periódicas de solo e acompanhar as alterações de modo que eventuais problemas possam ser manejados correlatamente
Redução das condições socioeconômicas Incidência de doenças relacionadas com água O aumento da desigualdade Fraca infraestrutura comunitária	Gerenciar o manejo da água, fertilirrigação e a drenagem para evitar a propagação de doenças Programa de educação sobre as causas de doenças Melhorar os serviços de saúde e educação Aplicar tempo e dinheiro suficientes para a extensiva participação do público, garantindo a participação de todas as camadas da sociedade afetada, levando-se em consideração as instituições locais que sustentam a agricultura irrigada, particularmente a respeito da terra e da água Considerar mercados, serviços financeiros e de extensão agrícola, em conjugação com as alterações propostas de irrigação e drenagem Assegurar que a intensificação da agricultura não exclua outras atividades econômicas ou de subsistência, tais como: artesanatos e forragem ou cultivo de árvores para lenha Fornecer suporte monetário de curto prazo e /ou qualificações para os agricultores que vivem da agricultura de subsistência, nos casos em que projetos de irrigação removam esse tipo de agricultor
Baixa qualidade da água	Definir e manter esforços para retornar aos índices de qualidade da água (incluindo o monitoramento)
Redução da qualidade da água de irrigação	Manter sistema de controle de desenvolvimento industrial, com intuito de os esgotos serem devidamente tratados antes de serem lançados nos mananciais
Problema da qualidade da água para os usuários à jusante, causado pela qualidade do fluxo de retorno	Designar terreno para armazenamento de água salina e construir, separadamente, canais de deposição Educar quanto ao uso de pesticidas e sobre os perigos de contaminação Monitorar a qualidade da água
Degradação ecológica Redução da diversidade biológica na área do projeto de irrigação Danos ao ecossistema à jusante decorrentes da redução da quantidade e qualidade da água Rebaixamento da água subterrânea	Definir exigências ecológicas Operar barragens para atender às exigências a jusante e incentivar a vida selvagem em torno de reservatórios Designar terra (na lei e apoiada por instituições de proteção) para planícies de inundação; áreas úmidas; bacias de água de drenagem; corredores de rios Definir e fazer cumprir leis e regulamentos que possibilitem o controle do uso das águas subterrâneas pela agricultura

Clyma et al. (2003) relatam que a melhoria do manejo da irrigação implica em aumento de produtividade, redução dos impactos ambientais e aumento da disponibilidade de água, acompanhado de conservação ambiental. Argumentam, ainda, que o manejo sustentável da água implica no monitoramento da salinidade, visando limitar seu impacto e deve ter como foco a capacitação do agricultor com o objetivo de aplicar o volume adequado de água na produção de alimentos.

Estudo de Caso: Impactos da irrigação em escala de produção

No Submédio do Vale do Rio São Francisco, os solos são favoráveis à lixiviação de produtos químicos, podendo causar contaminação do lençol freático, em consequência da aplicação de insumos e manejo inadequado nos sistemas de produção. Estudos realizados pela Embrapa Semiárido em diferentes parcelas irrigadas identificaram aumentos nos teores de sais no solo e na água de drenagem, como também, foram observados elevados níveis de metais pesados nos sedimentos depositados, o que provavelmente está associado ao uso indiscriminado de fertilizantes e da irrigação (BRITO et al., 2004).

Este estudo de caso foi conduzido no Campo Experimental de Bebedouro, pertencente à Embrapa Semiárido, em Petrolina, PE, em um parreiral de uvas sem sementes, cultivar Superior Seedless, com 5 anos de idade, irrigado por gotejamento. No parreiral, estavam instalados 12 lisímetros de drenagem, nos quais foi realizado manejo diferenciado da água de irrigação em apenas em seis; destes, três sem intermitência do tempo de irrigação (I_1) e os outros com três intermitências (I_3).

No período de agosto de 2006 a junho de 2007 foram realizadas coletas de água de drenagem (A_D), que correspondem à água dos lisímetros L_{123} e L_{789} , e de irrigação (A_I), como também, amostras de solo nas profundidades de 0–20 cm e de 80–100 cm, dentro destes lisímetros e em solo não cultivado, isto é, solo natural (S_{NAT}) para realização das análises físicas e químicas. As coletas foram realizadas nos períodos entre 15 e 25 dias após a poda (DAP), 40 DAP e 55 DAP, e 70 DAP e 85 DAP, de cada ciclo produtivo. As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Solos, Água e Nutrição de Plantas, da Embrapa Semiárido, segundo recomendações contidas em Embrapa (1997).

Os resultados das análises físico-químicas da água de irrigação (A_I) e de drenagem (A_D) realizadas durante o primeiro ciclo de produção da videira referentes ao cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg), sódio (Na), carbonato (CO₃²⁻), bicarbonato (HCO₃⁻), sulfato (SO₄²⁻), cloreto (Cl⁻), pH, condutividade elétrica (CE), dureza total (DT) e razão de adsorção de sódio (RAS) realizadas nos dois tratamentos com e sem intermitência de irrigação, estão apresentados na Tabela 6. Conforme estes resultados, foi possível observar que os maiores valores de CE da água de drenagem foram: 0,69 dS m⁻¹ na fase de floração, decrescendo para 0,51 dS m⁻¹ aos 80 DAP, alcançando 0,29 dS.m⁻¹ no tratamento I₁₂₃, após o período chuvoso. No lisímetro I₇₈₉, após o período chuvoso, a CE atingiu 1,43 dS m⁻¹. Desta forma, observam-se aumentos nos valores da condutividade elétrica da água de drenagem (A_D) quando comparados com os resultados da água de irrigação (A_I). De modo geral, analisando-se os teores de nutrientes da água de irrigação (A_I) com a água drenada nos lisímetros (L₁₂₃, L₇₈₉), podem-se observar aumentos significativos nos teores de Ca, Mg, Na e K na água de drenagem, principalmente no período de 15-25 DAP; porém, no período de 70-85 DAP ocorreu ligeira redução, o que pode ser explicado pela maior absorção desses nutrientes pela cultura nas fases de frutificação dos frutos.

Tabela 6. Resultados das análises de água realizadas em condições naturais (A_I) e na água de drenagem dos lisímetros L₁₂₃ e L₇₈₉ nas fases de desenvolvimento do primeiro ciclo de produção da videira.

Local	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	pH	CE (dS m ⁻¹)	DT (g L ⁻¹)	RAS
mmol _c L ⁻¹												
15-25 dias após a poda												
A _I	0,5	0,3	0,2	0,07	0,0	1,0	0,05	0,1	7,2	0,12	344	0,32
L ₁₂₃	3,5	0,9	0,52	1,16	0,0	1,5	3,2	1,3	6,8	0,69	220	0,35
L ₇₈₉	3,5	1,0	0,67	1,17	0,0	2,6	2,1	1,5	6,8	0,68	225	0,45
40-50 dias após a poda*												
70-85 dias após a poda												
L ₁₂₃	2,9	0,5	0,43	0,81	0,0	2,3	1,8	0,5	7,1	0,51	170	0,33
L ₇₈₉	2,1	0,5	0,52	0,93	0,0	1,4	1,85	0,7	6,7	0,45	130	0,46
Período de chuva (07/02/2007)												
L ₁₂₃	1,9	0,3	0,28	0,84	0,0	2,9	0,1	0,2	6,9	0,29	110	0,27
L ₇₈₉	6,8	3,9	2,1	4,1	0,0	3,7	6,23	4,3	7,5	1,43	535	0,91

*Faltou de água de drenagem nos lisímetros.

No ambiente solo, os principais resultados obtidos no primeiro ciclo de produção da videira foram referentes aos mesmos elementos da Tabela 6, incluído matéria orgânica (MO), alumínio (Al), alumínio trocável (H+Al), soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação de

bases (V) e densidade real e aparente, os quais estão apresentados na Tabela 7.

De acordo com estes resultados, foram observados aumentos nos valores da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEs) dos lisímetros quando comparados com os resultados do solo da área não cultivada (CE_{NAT}). Quando se considerou a CEs nos lisímetros, constatou-se que os maiores valores obtidos foram 2,50 dS m⁻¹ e 2,15 dS m⁻¹ na camada 80-100 cm nos lisímetros L₁₂₃ e L₇₈₉, respectivamente, no final do ciclo da cultura (70 DAP a 85 DAP), valores muito superiores aos da água de irrigação (0,5 dS m⁻¹) para o mesmo período (Figura 2).

Tabela 7. Resultados das análises de solos para alguns elementos realizadas em condições naturais (S_{NAT}) e nos lisímetros L₁₂₃ e L₇₈₉ durante as fases de desenvolvimento do primeiro ciclo de produção da videira, iniciado em agosto de 2006.

Local	Prof. (cm)	MO g.kg ⁻¹	pH H ₂ O - 1:2,5	C.Es. dS.m ⁻¹	P mg.dm ⁻³	-----cmol _e .dm ⁻³ -----								CTC	V (%)	Densidade (g cm ⁻³)	
						K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	S(bases)	Real			Aparente	
						15-25 dias após a poda											
S _{NAT}	0-20	8,79	6,40	0,26	5,0	0,47	3,00	0,90	0,01	0,05	0,66	4,38	5,04	87,0	2,52	1,52	
	80-100	2,48	6,30	0,15	3,0	0,11	3,60	0,90	0,07	0,05	1,15	4,68	5,83	80,0	2,54	1,42	
L ₁₂₃	0-20	25,65	6,90	1,04	286,0	0,95	4,30	1,50	0,07	0,05	1,32	6,82	8,14	84,0	2,48	1,32	
	80-100	3,31	5,30	0,34	53,0	0,55	2,90	1,00	0,03	0,10	2,14	4,48	6,62	68,0	2,56	1,37	
L ₇₈₉	0-20	24,20	6,70	0,47	203,0	1,00	4,40	1,70	0,06	0,05	1,15	7,16	8,31	86,0	2,52	1,36	
	80-100	4,55	5,90	0,45	37,0	0,57	3,30	1,10	0,05	0,05	1,65	5,02	6,67	75,0	2,56	1,37	
40-50 dias após a poda																	
L ₁₂₃	0-20	13,24	6,30	1,13	143,0	0,73	4,60	1,90	0,17	0,05	1,15	7,40	8,55	86,0	2,50	1,36	
	80-100	2,48	5,30	1,60	14,0	0,71	3,60	1,50	0,07	0,10	1,98	5,88	7,86	75,0	2,49	1,37	
L ₇₈₉	0-20	9,72	6,30	0,65	140,0	0,74	3,40	1,20	0,04	0,05	1,65	5,38	7,03	76,0	2,50	1,41	
	80-100	1,76	5,30	0,83	17,0	0,59	2,80	1,00	0,10	0,10	1,81	4,49	6,30	71,0	2,53	1,36	
70-85 dias após a poda																	
L ₁₂₃	0-20	10,78	6,50	1,14	177,0	0,54	3,90	1,20	0,03	0,05	0,99	5,67	6,66	85,0	2,53	1,25	
	80-100	2,69	5,30	2,50	9,0	0,81	3,40	1,20	0,14	0,05	1,48	5,55	7,03	79,0	2,57	1,37	
L ₇₈₉	0-20	11,07	6,70	1,29	168,0	0,55	4,30	1,50	0,05	0,05	0,82	6,40	7,22	89,0	2,46	1,20	
	80-100	3,62	6,00	2,15	25,0	0,91	3,50	1,30	0,19	0,05	1,48	5,90	7,38	80,0	2,53	1,33	
Período de chuvas (07/02/2007)																	
L ₁₂₃	0-20	11,27	6,10	0,53	260,13	0,78	3,10	1,10	0,08	0,05	1,81	6,06	6,87	74,0	-	-	
	80-100	5,17	5,40	0,32	21,81	0,69	2,10	1,20	0,05	0,05	2,14	4,04	6,18	65,0	-	-	
L ₇₈₉	0-20	10,13	6,50	0,40	162,75	0,65	2,50	1,40	0,06	0,05	1,32	4,61	5,93	78,0	-	-	
	80-100	4,86	4,40	0,29	12,60	0,65	1,80	0,90	0,06	0,20	2,47	3,41	5,88	58,0	-	-	

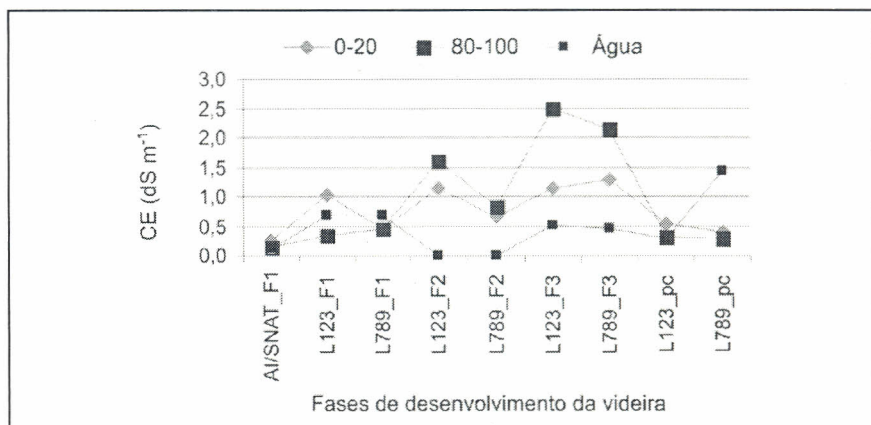


Figura 2. Variação da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo nos lisímetros (CE_s) e no solo não cultivado (CE_{NAT}) nas profundidades de 0-20 cm e 80-100 cm e da água de irrigação (A_i) e de drenagem (CE_{AD}) ao longo das fases de desenvolvimento da videira e no período chuvoso (L_{123_PC} , L_{789_PC}).

Entretanto, após este ciclo de produção, em consequência das chuvas que promoveram lavagem no perfil do solo, foi observada acentuada redução na CEs, que atingiu um valor médio de $0,30 \text{ dS m}^{-1}$ na profundidade de 80-100 cm. Mesmo assim, quando se compara este valor com o obtido para o solo não cultivado, cuja CEs foi da ordem de $0,15 \text{ dS m}^{-1}$, verificou-se aumento de 100%, embora, este valor ainda se encontre muito aquém do limite para o solo ser considerado salino, que é de $CEs > 4 \text{ dS m}^{-1}$ (RICHARDS, 1954). Porém, é importante considerar que muitas plantas apresentam sensibilidade à salinidade do solo ou da água de irrigação, como a videira, por exemplo, que a partir de CEs superior a $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ apresenta perdas de até 10% no rendimento potencial, podendo aumentar as perdas do potencial produtivo em condições de CEs mais elevadas e associados a outros fatores de produção (AYERS; WESTCOT, 1999).

O solo em estudo vem sendo cultivado desde 1976 na área experimental da Embrapa Semiárido, mas os níveis de salinidade do perfil estão dentro dos padrões de um solo normal.

O uso do sistema de irrigação por gotejamento utilizado nesta área apresenta, de modo geral, eficiência de aplicação de água em torno de 90%. Assim, as perdas de água por drenagem ou percolação profunda tendem a ser menores, principalmente quando se adota a prática da intermitência de aplicação de água.

As Figuras 3 e 4 apresentam os resultados dos teores de fósforo (P) e de matéria orgânica, respectivamente, obtidos em diferentes profundidades do solo dos lisímetros, ao longo do primeiro ciclo de cultivo da videira. Nestas figuras, é possível observar que o teor de P encontrado na camada superficial do solo (0-20 cm) foi de 286 mg dm⁻³ aos 15-25 DAP. No entanto, nas fases seguintes, que compreendem os períodos de 40-50 DAP e 70-85 DAP, houve redução nos teores de P. Possivelmente, essa redução tenha sido proveniente da maior absorção deste nutriente pelas plantas. Quando se considera a camada de 80–100 cm, pode-se verificar, por ocasião da floração, a partir de 50 DAP, que o teor de P se mantém na faixa de 15 mg dm⁻³ nos lisímetros, porém, com decréscimo gradativo até o final do ciclo fenológico.

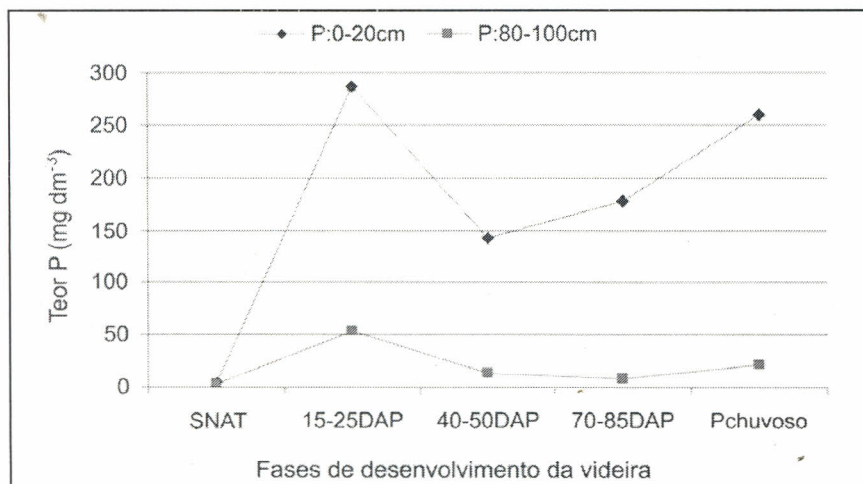


Figura 3. Teores de fósforo (P) no solo não cultivado (SNAT) e nos lisímetros aos 15-25 dias após a poda (DAP), 40-50 DAP, 70-85 DAP e no período de chuvas (Pchuvoso), após a colheita.

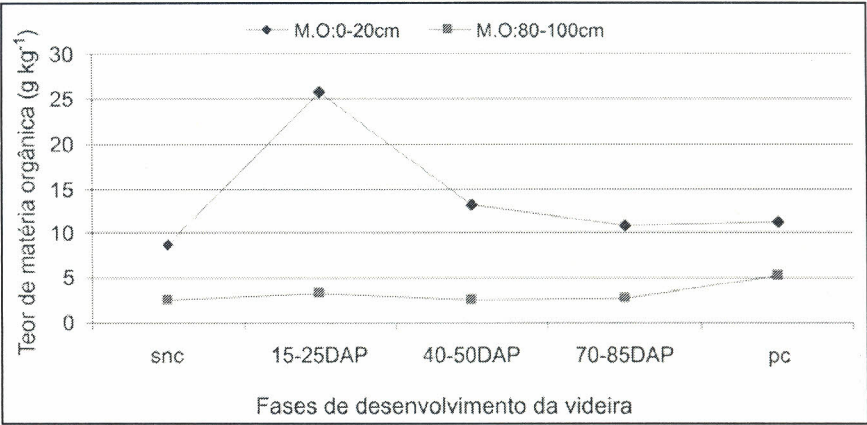


Figura 4. Teores de matéria orgânica (MO) no solo não cultivado (S_{NAT}) e nos lisímetros com videira aos 15-25 dias após a poda (DAP), 40-50 DAP, 70-85 DAP e no período de chuvas, após a colheita (Pchuvoso).

Os resultados das análises físico-químicas da água de drenagem obtidos no segundo período de cultivo da videira e após o período chuvoso, caracterizando a lavagem do solo, estão apresentados na Tabela 8, onde pode ser observado que a CE aumentou consideravelmente após as chuvas, com a lavagem do perfil do solo, o que pode ser indicativo de que, para este tipo de solo, a lavagem dos sais com água de boa qualidade é uma prática que deve ser recomendada.

Tabela 8 Resultados das análises físico-químicas de água de drenagem dos lisímetros L₁₂₃ e L₇₈₉ nas fases de desenvolvimento do segundo ciclo da videira e após o período chuvoso.

Local	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	pH	C.E (dS m ⁻¹)	DT (g L ⁻¹)	RAS
-----mmol _c L ⁻¹ -----												
15-25 dias após a poda												
L ₁₂₃	1,9	0,4	0,35	0,70	0,0	1,60	0,82	0,80	6,7	0,36	115	0,33
L ₇₈₉	2,0	0,4	0,40	0,72	0,0	1,90	0,63	0,80	6,6	0,38	120	0,36
40-50 dias após a poda												
L ₁₂₃	2,6	0,7	0,26	0,88	0,0	2,00	1,21	2,25	7,4	0,40	165	0,20
L ₇₈₉	2,7	1,5	0,39	0,85	0,0	2,50	2,00	1,32	7,3	0,55	210	0,27
Depois do período chuvoso (07/05/2008)												
L ₁₂₃	4,1	1,7	0,75	2,2	0,0	1,1	6,0	0,9	6,5	0,94	290	0,44
L ₇₈₉	3,0	1,1	0,9	1,95	0,0	1,7	3,8	1,0	6,9	0,69	205	0,63

Os resultados das análises físico-químicas do solo, obtidas no segundo período de cultivo da videira, estão apresentados na Tabela 9, onde podemos observar que os valores da CE_s na camada 0-20 cm variavam de 4,97 dS m⁻¹ e 4,90 dS m⁻¹ no período de 40-50 DAP nos lisímetros L₁₂₃ e L₇₈₉, respectivamente. Valores de CE_s maiores que 4 dS m⁻¹ caracterizam o solo como salino (RICHARDS, 1954). Os valores de CE_s obtidos neste segundo ciclo de produção foram significativamente maiores que os obtidos nos mesmos lisímetros e profundidade durante o primeiro ciclo de produção, que corresponderam a 1,13 dS m⁻¹ e 0,65 dS m⁻¹, respectivamente, sinalizando o acúmulo de sais no solo, o que pode afetar a produtividade da videira, cultura que é classificada como moderadamente sensível à salinidade do solo.

A lavagem do perfil do solo pode ocorrer aplicando-se lâminas de irrigação maiores que as determinadas para a cultura, com água de qualidade adequada ou por meio da ocorrência das chuvas. No primeiro ciclo produtivo da videira, durante a ocorrência das chuvas em 2006, realizaram-se coletas de solo e água, observando-se reduções significativas nos valores da CE_s e da água de drenagem (Tabelas 7 e 9). Após o segundo ciclo de produção, foi aplicada uma lâmina de água capaz de promover a lixiviação dos sais no solo, ocorrendo reduções significativas na CE_s, de 4,97 dS m⁻¹ e 4,90 dS m⁻¹ para 0,41 dS m⁻¹ e 0,64 dS m⁻¹, nos lisímetros L₁₂₃ e L₇₈₉, respectivamente, na profundidade de 0-20 cm (Tabela 9).

Tabela 9. Resultados das análises de solos para alguns elementos realizadas nos lisímetros L₁₂₃ e L₇₈₉ durante as fases de desenvolvimento da videira no segundo ciclo de produção, em 2007.

Local	Prof. (cm)	M O	pH	C Es	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	S(bases)	CTC	V	Densidade (g cm ⁻³)	
		g/kg	H ₂ O- 1:2,5	dS m ⁻¹	mg dm ⁻³									(%)	Real	Aparente
15-25 DAP																
L ₁₂₃	0-20	39.6	6,8	3,24	409	1,08	4,9	2,7	0,25	0,05	1,24	8,88	10,1	86	-	-
	80-100	5,43	5,8	0,43	96	0,59	2,1	1,35	0,08	0,05	2,06	4,11	6,17	67	-	-
L ₇₈₉	0-20	18,1	6,7	1,49	304	0,75	3,8	1,55	0,11	0,05	0,74	6,17	6,91	89	-	-
	80-100	6,0	6,0	0,29	63,5	0,57	2,6	1,2	0,05	0,05	2,14	4,42	6,56	68	-	-
40-50 DAP																
L ₁₂₃	0-20	7,14	6,6	4,97	168	1,14	3,7	1,6	0,16	0,05	0,82	6,60	7,42	89	2,54	1,50
	80-100	6,31	5,6	1,40	51	0,81	2,1	1,2	0,10	0,05	2,31	4,21	6,52	85	2,59	1,44
L ₇₈₉	0-20	14,17	6,8	4,99	191	1,16	5,1	2,4	0,15	0,05	1,32	8,81	10,13	87	2,50	1,39
	80-100	2,90	5,5	0,41	5	0,78	2,1	0,9	0,10	0,05	2,14	3,88	6,02	84	2,53	1,42
70-85 DAP*																
Depois do período chuvoso (07/05/2008)																
L ₁₂₃	0-20	13,24	6,6	0,41	236	0,45	4,1	1,6	0,03	0,05	0,99	6,18	7,17	86	2,66	1,40
	80-100	5,27	4,8	0,71	26	0,59	1,8	1,0	0,06	0,3	2,64	3,45	6,09	57	2,69	1,35
L ₇₈₉	0-20	22,96	6,4	0,44	295	0,4	4,8	1,4	0,03	0,05	1,15	6,63	7,78	85	2,62	1,39
	80-100	6,41	6,1	0,64	57	0,6	3,7	1,5	0,07	0,05	1,65	5,87	7,52	78	2,67	1,36

* Não houve drenagem

Considerações finais

Neste capítulo, foram reunidas informações sobre os impactos ambientais causados pela irrigação. Neste contexto, a água foi abordada como um recurso que necessita, em curto prazo, de medidas que reduzam os impactos sobre sua qualidade e disponibilidade, visto que o volume de água usado na agricultura é muito maior do que a somatória dos volumes das demais atividades desempenhadas pela humanidade. Deve-se, assim, ressaltar que o processo de exportação de alimentos incide no da exportação de água e isso tem impacto relevante no ambiente, principalmente, em regiões áridas e semiáridas, à semelhança do Submédio do Vale do São Francisco. Dessa forma, aumentar a produtividade da água nos cultivos é, talvez, o grande desafio das ciências agrárias para o século 21 e, com isso, pode-se aumentar a produção de alimentos utilizando menos água.

Nas regiões semiáridas, a agricultura irrigada é explorada com intensidade e, muitas vezes, com uso indiscriminado de fertilizantes e pesticidas que podem causar sérios impactos aos diferentes componentes ambientais. No solo, vários impactos podem ocorrer como compactação, salinização, desequilíbrio nos teores de nutrientes, perda da matéria orgânica e diminuição da atividade microbiológica, adubações desbalanceadas, contaminação por metais pesados e resíduos de pesticidas, irrigações não controladas e deficiência de drenagem. A interação desses fatores resultará na perda de produtividade agrícola em médio e longo prazos. Na água, tanto superficial como subterrânea, ocorrem sérios impactos negativos, principalmente relacionados à utilização irracional de fertilizantes e pesticidas que podem comprometer sua qualidade e, conseqüentemente, a saúde humana.

Com o objetivo de desenvolver uma agricultura irrigada que cause o menor impacto possível ao ambiente, em especial aos recursos hídricos, como apontado nesse estudo de caso, a Embrapa Semiárido vem realizando pesquisas, desde 1975, em diversas áreas do conhecimento agropecuário. Estas áreas estão relacionadas com o manejo e conservação do solo e água (métodos de preparo do solo, rotação de culturas e cobertura morta), fertilidade do solo (fontes, níveis, modo e época de aplicação de nutrientes, adubação orgânica, adubação verde, calagem e gessagem); irrigação e drenagem (sistemas de irrigação, irrigação não convencional, fertirrigação, relação da altura do lençol freático com as características e manejo do solo e com o manejo da água). Entretanto, a adoção destas técnicas e conhecimentos nem sempre são adotados pelo público-alvo, seja por falta

de recursos ou de sensibilidade e preocupação com a preservação ambiental.

Referências bibliográficas

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

APOLO 11. **Na Ásia, mar de Aral já encolheu 90% e tudo virou deserto**. Disponível em: <www.apolo11.com/meio_ambiente.php?posic=dat_20100406-080407.inc>. Acesso em: 15 ago. 2010.

BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. In: SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F. (Ed.) **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Viçosa: MMA, 1997. 252 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 18 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Lei nº 9.433. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 9 jan. 1997. p. 35.

BRITO L. T. de L.; SRINIVASAN, V. S.; SILVA, A. de S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. de O.; HERMES, L. C. Influência das atividades antrópicas na qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Salitre. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 596-602, 2005.

BROWN, L.; FLAVIN, C.; FRENCH, H. **Estado mundo 2000**. Tradução. H. Mallett. Salvador: UMA Editora, 2000. 288 p.

CHRISTOFIDIS, D. **Água, irrigação e segurança alimentar**. Revista Item, Nº. 77, 1º Trim. Brasília. 2008, p, 16-21.

CLYMA, W.; SHAFIQUE, M.S.; SCHILFAARDE, J. van. Irrigated agriculture: managing toward sustainability. **Encyclopedia of Water Science**, New York, p. 437- 442, 2003.

CORDEIRO, G. G.; BARRETO, A. N.; CARVAJAL, A. C. N. **Levantamento das condições de salinidade e sodicidade do Projeto de Irrigação de São Gonçalo (2ª parte)**. Petrolina: Embrapa-CPATSA, 1988. 57 p. (Embrapa-CPATSA. Documentos, 54).

DOUGHERTY, T. C.; HALL, A. W. **Environmental impact assessment of irrigation and drainage projects**. Rome: FAO, 1995. (FAO. Irrigation and Drainage Papers, 53). Disponível em: < <http://www.fao.org/docrep/v8350e/v8350e00.htm#Contents>>. Acesso em: 8 ago. 2008.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FAO. **Small-scale irrigation for arid zone: principles and options**. Rome, 1997. Disponível em: <www.fao.org/docrep/W3094E/W3094E00.htm>. Acesso em: 8 ago. 2008.

FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. **Melhoramento genético das culturas e seleção de cultivares**. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. M. (Ed.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura**. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. p. 363-383.

FERREIRA, P. A. Aspectos físico-químicos do solo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 26., 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. 1 CD-ROM.

FREITAS, M. A. V. de; SANTOS, A. H. M. Importância da água e da informação hidrológica. In: FREITAS, M. A. V. de. (Ed.). **O estado das águas no Brasil: perspectivas de gestão e informações de recursos hídricos**. Brasília, DF: ANEEL, 1999. p. 13-16.

HOLANDA, J. S. de; PEREIRA, F. A. M.; MENEZES NETO, J. **Adubação em algodoeiro arbóreo de 2º ano**. Caicó: EMBRAPA-UEPAE, 1978. 16 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS RENOVÁVEIS. **Diretrizes ambientais para o setor da irrigação**. Brasília, DF, 1992. 164 p.

MANOEL FILHO, J. Contaminação das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Ed.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, 1997. p. 109-132.

MEYBECK, M.; HELMER, R. An introduction to water quality. In: CHAPMAN, D. (Ed.). **Water quality assessments**. 2 ed. London: Unesco, 1997. cap. 1, p. 1-22.

ONGLEY, E. D. **Controle da poluição da água pelas atividades**

agrícolas. Campina Grande: UFPB, 2001. 92 p. (FAO. Irrigação e Drenagem; 55).

ONGLEY, E. D. **Control of water pollution from agriculture.** Rome: FAO, 1996. (FAO irrigation and drainage, paper 55). Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/w2598e/w2598e00.htm#Contents>>. Acesso em: 8 ago. 2008).

POSTEL, S. Replanejando a agricultura irrigada. In: BROWN, L. R.; FLAVIN, C.; FRENCH, H. (Ed.). **Estado do mundo 2000.** Salvador: UMA Editora, 2000. p. 40-60.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUEZ, R. del G.; NOVAES, L. F. de; SILVA, D. D. da; RAMOS, M. M.; TEIXEIRA, A. de F. Impacto das vazões demandadas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano, na bacia do Paracatu. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 199-210, mar./abr. 2007.

REBOUÇAS, A. da C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Ed.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** São Paulo: Escrituras: USP/ABC, 2006. cap.1. p. 1-34.

RESENDE, A. V. de. **Agricultura e qualidade da água:** contaminação da água por nitrato. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 29 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 57).

RHOADES, J. D.; LOVEDAY, J. Salinity in irrigated agriculture. In: STEWART, D. R.; NIELSON, D. R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops.** Madison: ASA, 1990. p. 1.089-1.142.

RHOADES, J.; CHANDUVI, F.; LESCH, S. **Soil salinity assessment:** methods ad interpretation of electrical conductivity measurements. Rome: FAO, 1999. 150 p. (FAO. Irrigação e Drenagem, 57).

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Washington: USDA, 1954. 160 p. (USDA. Agricultural Handbook, 60).

SILVA, E. F. de F. E. **Avaliação da eficiência de diversos produtos na recuperação de solo salino – sódico e no desenvolvimento e produção da cultura do arroz (*Oriza sativa* L.).** 1997. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

SILVA, B. C. G. da; MACIEL, L. N. de Q.; ARAUJO, M. do S. B. Limitações ao cultivo em áreas irrigadas de Belém do São Francisco, Estado Pernambuco, Brasil. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 2, p. 343-347, abr./jun., 2005.

SOUZA, L. C. de; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R. Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no Semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 35-40, jan./abr., 2000.

SPERLING, E. von. Qualidade de água. In: SILVA, D. D. da; PRUSKI, F.F. (Ed.). **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília, DF: MMAAL, 1997. p. 89-113.

UNESCO. **Água para todos, água para la vida**. Paris, 2003. 36 p.