

AGRICULTURA BLOSSALINA: DESAFIOS E ALTERNATIVAS PARA O USO DE ÁGUAS SALOBRAS E SALINAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO



OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

6 ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Meio Ambiente
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

DOCUMENTOS 121

**AGRICULTURA BISSALINA: DESAFIOS E
ALTERNATIVAS PARA O USO DE ÁGUAS SALOBRAS
E SALINAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

*Everaldo Rocha Porto
Luiz Carlos Hermes
Renato Saraiva Ferreira
Henrique Pinheiro Veiga
Alexandre Saia*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio Ambiente
Rodovia SP-340, Km 127,5, Tanquinho Velho
Caixa Postal 69, CEP: 13820-000, Jaguariúna, SP
Fone: +55 (19) 3311-2700
Fax: +55 (19) 3311-2640
<https://www.embrapa.br/meio-ambiente/>
SAC: <https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/>

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente
Ana Paula Contador Packer

Secretária-Executiva
Cristina Tiemi Shoyama

Membros
*Rodrigo Mendes, Ricardo A. A. Pazianotto, Maria
Cristina Tordin, Daniel Terao, Victor Paulo Marques
Simão, Joel Leandro de Queiroga, Vera Lucia
Ferracini, Marco Antonio Gomes*

Revisão de texto
Nilce Chaves Gattaz

Normalização bibliográfica
Victor Paulo Marques Simão, CRB-8/5139

Editoração eletrônica
Silvana Cristina Teixeira

Capa
Luiz Carlos Hermes

1ª edição
2019

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Meio Ambiente

Agricultura bioessalina: desafios e alternativas para o uso de águas salobras e salinas no semiárido brasileiro / Everaldo Rocha Porto ... [et al.]. – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2019.
PDF (38p.) – (Documentos / Embrapa Meio Ambiente, 1516-4691 ; 121).

1. Água salina. 2. Água salobra. 3. Agricultura. 4. Irrigação. 5. Qualidade da água. 6. Região semiárida. I. Porto, Everaldo R. II. Série.

CDD (21.ed.) 631.587

Victor Paulo Marques Simão (CRB-8/5139)

© Embrapa, 2019

Autores

Everaldo Rocha Porto

Engenheiro-agrônomo, doutor em Manejo e Conservação de Solo e Água, consultor em Sistemas Produtivos do Programa Água Doce do Ministério do Desenvolvimento Regional, Brasília, DF.

Luiz Carlos Hermes

Farmacêutico e bioquímico, mestre em Energia Nuclear na Agricultura, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Renato Saraiva Ferreira

Advogado, bacharel em Ciências Jurídicas e Sociais, diretor de Recursos Hídricos e Revitalização de Bacias Hidrográficas do Ministério do Desenvolvimento Regional, Brasília, DF.

Henrique Pinheiro Veiga

Biólogo, mestre em Políticas Públicas e Meio Ambiente, coordenador-geral de Revitalização de Bacias Hidrográficas do Ministério do Desenvolvimento Regional, Brasília, DF.

Alexandre Saia

Engenheiro-civil, especialista em Planejamento e Estratégias de Desenvolvimento, analista do Ministério do Desenvolvimento Regional, Brasília, DF.

Apresentação

O documento aborda alguns desafios e alternativas para o uso de águas salobras e salinas - um dos recursos naturais importantes da região semiárida - por meio da dessalinização, para consumo humano e uso na agropecuária.

Desperta a atenção para a necessidade urgente de desenvolver e praticar uma nova forma de agricultura que se adapte melhor às especificidades microrregionais, especialmente em regiões cujas características edafoclimáticas, econômicas e sociais limitam a utilização de tecnologias produtivas, até mesmo as tradicionais.

As pesquisas em andamento na Embrapa e em outras instituições de pesquisa e ensino, têm gerado resultados que apontam para o uso das práticas apresentadas neste documento, voltadas aos pequenos produtores que ainda praticam a agropecuária dependente de chuva e da caatinga. Alguns cultivos estão sendo irrigados com água salobra pelos pequenos produtores, por falta de alternativas de outras fontes de água. A região semiárida necessita de soluções urgentes para a sua população e especialmente para os seus produtores rurais.

Este documento atende ao Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS) 06, “*Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos*”, e se apresenta como um motivador para que se firme cada vez mais a imagem de que o clima semiárido é viável para a prática produtiva sustentável.

Marcelo Boechat Morandi
Chefe-geral da Embrapa Meio Ambiente

Sumário

Introdução.....	7
Porque o uso de Águas Salobras e Salinas	10
Programa Água Doce como Protagonista do Uso de Águas Salobras e Salinas	13
Qualidade de Água para Irrigação.....	16
Manejo e Práticas Agrícolas ao Usar Águas Salobras e Salinas para Irrigação.....	19
Direcionamento para a Escolha e Preparo da Área a ser Irrigada com Água Salobra e Salina	25
Consideração Finais.....	34
Referências	35

Introdução

O semiárido deve ser entendido como uma estrutura complexa e interconectada, onde os extremos coabitam. O clima sempre foi a característica marcante da região. Ocorrem duas nítidas estações delimitadas pelo regime pluviométrico, a estação das chuvas, chamada inverno e a das secas, chamada verão, cujos inícios e fins são pouco previsíveis e com incertezas associadas à sua distribuição espacial e temporal.

Importante destacar que não chove pouco no semiárido. A precipitação pluviométrica anual é estimada em 700 bilhões de m³, dos quais 642,6 bilhões de m³, ou seja, 92% do volume de água que cai são consumidos pelo fenômeno da evaporação e evapotranspiração. Outros 36 bilhões de m³ (5%) geram escoamento superficial que se desloca para os rios, e destes para o mar, e aproximadamente 22 bilhões de m³, em torno de 3% do volume de chuva que cai, é infiltrado no solo (Oliveira; Silva, 1983). São números significativos, que mostram claramente que o fenômeno da ocorrência de chuvas, por si só, não é o que mais caracteriza o semiárido. A perda de água para a atmosfera através dos fenômenos da evaporação e transpiração tem papel fundamental no equilíbrio do sistema e, devido às altas temperaturas dominantes a evaporação faz com que a água, rapidamente, seja devolvida para atmosfera. Já a transpiração também devolve um grande volume de água para a atmosfera, porém de forma lenta, uma vez que a água participa praticamente de todos os processos físico-químicos, bioquímicos e fisiológicos das plantas. É liberada das folhas para a atmosfera somente após atender às demandas dos diferentes processos. Este processo de liberação tem enormes vantagens sobre a evaporação. A umidade liberada permanece no local por um tempo maior, e cria um microclima favorável à ciclagem de nutrientes pela decomposição da serapilheira formada por folhas, flores, frutos, caules e restos animais. O solo fica recoberto de plantas, a umidade aumenta e o processo de recomposição é reiniciado em função das interações bióticas e abióticas.

Quando não ocorrem chuvas que desencadeiem processos fisiológicos e morfológicos importantes na recuperação do bioma caatinga, bioma exclusivamente brasileiro, predominante no semiárido, as reservas energéticas acumuladas diminuem lentamente, e em períodos de seca prolongada os limites chegam aos extremos.

A movimentação dos animais é maior para buscar alimento, a serapilheira é esgotada, a vegetação nativa quebrada ou mesmo eliminada e o pisoteio dos animais compacta ainda mais a superfície do solo. Quando chegam as chuvas, e muitas vezes de forma intensa, o solo está descoberto, a água não infiltra, evapora, e grande parte segue seu caminho na forma de enxurrada para áreas a jusante acumulando o sedimento em barragens nas áreas mais baixas, e tomando o espaço que seria reservado para a água. Esgota-se o solo, esgotam-se as plantas e esgota-se a água. Esta é uma situação recorrente no semiárido.

Até o momento vários esforços foram realizados na questão da conservação de água na região. O déficit hídrico no semiárido, na maioria das vezes, foi visto sob o ponto de vista quantitativo, o que conduziu a ações que priorizaram a acumulação de água. Grandes barragens e açudes foram construídos. Milhares de pequenos açudes e mesmo barreiros ainda são construídos para aumentar o estoque de água. Mas, infelizmente, como demonstra a situação de seca na região (Martins et al., 2017), mesmo grandes centros urbanos que dependem de grandes açudes já estão em situação de calamidade pública. Pequenos açudes e barreiros salinizaram e/ou secaram. Portanto, o acúmulo de água por si só não é suficiente para mitigar os problemas de escassez hídrica.

Buscar soluções que levem a um caminho mais sustentável, de longo prazo, deve levar em conta a conservação da água, do solo, e da vegetação nativa, de forma integrada, no contexto da bacia de captação onde as relações ocorrem. Diminuir a evaporação e aumentar a transpiração pela formação de biomassa é fundamental. E isto só é possível com a expansão da capacidade de reserva hídrica do solo, intensificando desta forma o potencial biótico do ecossistema, a partir do qual toda a forma de vida tem chance de se (re)estabelecer.

Houve uma melhora significativa nas condições de vida do sertanejo em função de políticas públicas que facilitaram o acesso à água, saúde, educação, moradia e energia (Programa 1 Milhão de Cisternas, Programa Água Doce, Programa Bolsa Família, Programa Minha Casa Minha Vida, e Programa Luz para Todos) (Buainain; Dedecca, 2013). Porém, ainda não se observam mudanças estruturais na prática de produção agropecuária de modo significativo, tanto pelo desconhecimento (e descrédito) da existência de novas tecnologias, quanto pela dificuldade de serem colocadas em prática.

Tecnologias existem e estão disponíveis. Na década de 1950, Duque (1949) e Sternberg (1951) já discutiam e propunham técnicas de conservação de água, solo e planta, ou seja, mostravam uma visão de sistema. A partir da década de 1980 ocorreram mudanças estratégicas na abordagem da convivência com o semiárido. Os modelos de desenvolvimento passaram a se incorporar ao modelo tradicional, sistemas mais intensivos e eficientes, o que torna mais fácil a apropriação de tecnologias estratégicas que contemplem os principais produtos necessários à agricultura explorada pelo pequeno produtor e que lhe assegurem melhoria de renda.

É inviável pensar em recuperar áreas degradadas sem que seja assegurada a capacidade produtiva e a geração de renda. Não se trata simplesmente de buscar aumento de produção ou produtividade, mas encontrar o sistema de produção adequado às características ecológicas e socioambientais de cada região, aliadas às práticas conservacionistas e às tecnologias sociais já disponíveis. Sem produção de renda e de participação no mercado, especialmente o regional, dificilmente a tecnologia será aceita e o ambiente continuará como está. As tecnologias devem, portanto, propiciar atuação em nichos de mercado, e para isso, o acompanhamento técnico sobre os processos é fundamental. Quanto maior for o leque de tecnologias que possam ser disponibilizadas, as possibilidades de serem adotadas serão maiores em relevância e efetividade, o que é socialmente aceitável e economicamente rentável.

Hoje em dia, com o aumento da demanda hídrica, o uso de águas consideradas marginais é uma realidade, quer seja para abastecimento da população, quer seja para a indústria ou para a agricultura. São milhões de pequenos produtores utilizando essas águas, mesmo porque não têm outras opções. A preocupação sobre fontes alternativas já era manifestada por Hugo Boyko e Elisabeth Boyko que em 1929 iniciaram seus experimentos com água salobra e água do mar, e observaram que a tolerância das plantas à irrigação com água salgada aumentava conforme intensificava o teor de areia ou cascalho, ao contrário do que ocorria com os solos típicos para a prática agrícola, com alto teor de argila. O principal fato era que outras áreas, e não somente as agriculturáveis, poderiam ser exploradas, aumentando a oferta de alimentos para atender ao crescimento populacional, respeitando os recursos naturais (Boyko, 1967).

No caso da região nordeste do Brasil, o balanço hídrico, além das condições climáticas, sofre influência direta do contexto geológico (Audry; Suassuna, 1995). No semiárido, em especial, onde o desequilíbrio entre oferta e demanda de água é mais crítico, a geologia de quase toda a região está embasada no cristalino, constituindo-se em mais um agravante. Formado por rochas ígneas

e metamórficas de idade pré-cambrianas, praticamente impermeáveis, são responsáveis pela formação de solos pouco profundos. Por esta razão não existem lençóis expressivos no cristalino. Por outro lado, em virtude de apresentarem volumes escassos, as águas desses bolsões passam facilmente por processos de concentrações salinas, em função dos sais solúveis liberados pelas rochas, que estão permanentemente em contato com elas. Estimativas contabilizam uma capacidade de extração de água subterrânea no cristalino da ordem 250 milhões de m³ (Rebouças; Marinho, 1972).

Considerando que metade desse manancial seja reservada para a dessedentação animal (125 milhões de m³), e a outra seja dessalinizada para o consumo humano, poderão ser produzidos 62,5 milhões de m³ de água de boa qualidade. Este volume de água seria suficiente para atender uma população aproximada de 17 milhões de pessoas, numa proporção de dez litros por pessoa ao dia. Para fechar esse balanço, ainda restariam 62,5 milhões de m³ de concentrado salino gerado pelo processo de dessalinização, que poderia ser usado na irrigação de aproximadamente 15.000 hectares de forragens halófitas, com aplicações de lâminas totais de 400 mm. Em um cálculo simples, essa produção de forragem seria suficiente para alimentar setecentos mil caprinos e ovinos durante todo um ano.

Para atender a demanda de água de boa qualidade na região, a partir da utilização de água salobra e salina, foi elaborado o Programa Água Doce coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), hoje coordenado pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) em parceria com instituições federais, estaduais, municipais e sociedade civil. O Programa é desenvolvido em comunidades isoladas do semiárido e, por meio da utilização de dessalinizadores, possibilita o acesso à água de boa qualidade onde a disponibilidade é restrita. Sistemas de dessalinização de pequeno porte têm baixa eficiência na produção de água potável, sendo o subproduto gerado, o concentrado salino ou rejeito da dessalinização, o maior volume produzido (entre 60 a 70%) (BRASIL, 2017).

Esse material apresenta maiores teores de sais do que a água que lhe deu origem, acrescidos de agentes químicos usados no processo (anti-incrustantes, antifouling, etc). Pesquisas foram publicadas sobre o uso deste material para irrigação de plantas halófitas, como a erva-sal (*Atriplex nummulária*. Lindl) (Porto et al., 2006). Estudos preliminares apontam que é possível a produção de outras plantas forrageiras irrigadas com água salobra de poços e de rejeito de dessalinizadores. Entre elas estão a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*), gliricídia (*Gliricidia sepium*, Jacq.), leucena (*Leucaena leucocephala*), capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) e o sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) (Hermes et al., 2014). Existem muitas outras plantas que podem apresentar esse potencial de produção em ambientes em condições de estresses biótico e abiótico, produzindo mecanismos de defesa que possibilitam que o sal, presente no solo e na água de irrigação, se torne um recurso importante na formação de reservas forrageiras estratégicas durante o período de seca.

O momento é de repensar o bioma caatinga como principal fornecedor de forrageiras para o rebanho, mesmo porque sua capacidade de suporte está praticamente esgotada (Araújo Filho et al., 1998). O uso de reservas forrageiras formadas por plantas halófitas e plantas tolerantes ao estresse salino, irrigadas com água salobra de poços ou de rejeito de dessalinizadores, não deve ser entendido apenas como um componente de produção, mas sim como um processo maior, um componente fundamental na revitalização do ecossistema com ganhos sensíveis ao produtor e ao ambiente.

Porque o Uso de Águas Salobras e Salinas

Cenário Mundial

A escassez de água representa uma das grandes preocupações enfrentadas pelo mundo contemporâneo, não só em termos de quantidade, mas também em qualidade, com impactos diretos no bem-estar dos povos, no funcionamento dos ecossistemas e no desenvolvimento socioeconômico. A população mundial continua crescendo, e assim aumentando a demanda por água para seus diversos usos - consumo humano, agricultura, saneamento e indústria. Segundo a FAO (2011), a população mundial está em torno de 7 bilhões de habitantes e a estimativa é que seja de 9 bilhões em 2050. Para compensar este aumento da população serão necessários um acréscimo de 1 bilhão de toneladas de cereais e 200 milhões de produtos pecuários todos os anos.

Para fundamentar estas estatísticas existe o reconhecimento que a demanda por alimentos está sendo acelerada a uma velocidade bem maior que a produção agrícola; e que, cientistas e políticos estão tomando consciência da real e urgente necessidade da criação de novas alternativas estratégicas para a produção agrícola em todo mundo (Ladeira, 2012). No último século, a agricultura irrigada cresceu substancialmente e desempenhou um papel importante no aumento da produção de alimentos.

A irrigação é responsável por 15% de toda a produtividade agrícola no mundo e contribui com 75% do total de alimentos para consumo humano (Munns, 2002). Por outro lado, para atender o aumento da demanda de alimentos, esta atividade deveria crescer a uma taxa de 2,25% ao ano (Rhoades et al., 1992). Neste aspecto, a demanda por alimentos será mais severa nas próximas décadas e a taxa de crescimento da produção agrícola não está chegando a 1,5% (FAO, 2011).

Ao mesmo tempo em que é observado o aumento da demanda por água e alimento, as mudanças do clima geram alterações no ciclo hidrológico, com consequências diretas na disponibilidade hídrica. Segundo o IPCC, há a possibilidade de aumentar a temperatura média do planeta entre 3,5° e 4,5° até 2100 (Ambrizzi; Araújo, 2014). Esta elevação poderá trazer mais impactos com consequências econômicas e sociais, podendo agravar ainda mais a escassez hídrica e a produção de alimentos.

De acordo com os dados apresentados, evidencia-se a necessidade urgente de desenvolver alternativas estratégicas para a agricultura irrigada, principalmente para os países com zonas áridas e semiáridas. Os cenários observados pelos pesquisadores evidenciam menores ofertas e maiores demandas para os recursos hídricos, e aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, desequilibrando o já fragilizado ciclo hidrológico (Marengo, 2008; Ambrizzi; Araújo, 2014). Daí a importância das águas salobras e salinas como estratégia para o enfrentamento de crises hídricas.

Caso do Semiárido Brasileiro

Caracterizada por suas especificidades climáticas, constituídas pela escassez e distribuição irregular das chuvas, a região semiárida brasileira é uma das mais povoadas do mundo, com uma população em torno de 23 milhões de habitantes. São cerca de 1,7 milhões de estabelecimentos em 1.133 municípios (Buainain et al., 2014). Nestes, a atividade agrícola predominante é a agricultura dependente de chuva, pouco diversificada (feijão e milho, basicamente), associada a uma pecuária voltada, principalmente, para a subsistência.

A água para o consumo humano sempre foi uma das grandes limitações para a população da região. No atual quadro da escassez hídrica, em virtude da maior seca na região no período de 2012 a 2017, as questões referentes ao acesso a água a partir de poços preexistentes, predominantemente de qualidade salobra ou salina, surgem como um elemento de inovação. Utilizam a tecnologia de dessalinização para adequá-las às condições qualitativa e quantitativa de consumo, orientadas pelo Ministério da Saúde e pela Organização Mundial da Saúde. Neste aspecto, o Departamento de Revitalização de Bacias Hidrográficas e Recursos Hídricos do Ministério do Desenvolvimento Regional, que atualmente coordena o Programa Água Doce (PAD) tem o objetivo de estabelecer uma política pública permanente de acesso a água de qualidade para o consumo humano. Incorpora aspectos técnicos, ambientais e sociais na implantação, recuperação e gestão de sistemas de dessalinização de águas salobras e salinas, promovendo o uso sustentável da água e contribuindo para a adaptação às mudanças do clima (BRASIL, 2017).

Até o momento 580 comunidades do semiárido brasileiro são atendidas por sistemas de dessalinização implantados pelo PAD, que utilizam o processo de osmose inversa para a obtenção da água potável. No entanto, nesse processo de dessalinização, aproximadamente metade da água que entra na máquina se transforma em um concentrado com a salinidade superior ao da água do poço. Por outro lado, na maioria dos casos, esse concentrado apresenta potencialidade para ser usado como insumo na atividade agropecuária, quer para dessedentação animal, quer para irrigação de cultivos específicos.

Sistemas Produtivos Locais e a Capacidade de Suporte das Propriedades

Na zona rural do semiárido brasileiro predomina o minifúndio composto de mais de 1 milhão de propriedades que possuem áreas inferiores a cinco hectares (Buainain et al., 2014). Os sistemas de produção agropecuária praticados nesta região são o sequeiro e o irrigado. A agricultura de sequeiro é a mais extensiva em área, correspondendo a 90 milhões de hectares. Socialmente ela é significativa em função da quantidade de pessoas envolvidas na atividade.

Em geral, esse sistema inclui não só atividades agrícolas e pecuárias, mas também o uso da vegetação nativa, transformação de produtos de origem local, artesanato e aluguel de mão de obra humana e animal. Algumas dessas atividades são competitivas e totalmente dependentes do regime pluviométrico. Para a maioria desses produtores, ainda predomina a utilização de práticas inadequadas baseadas no uso intensivo dos recursos naturais, através da exploração de sistemas de cultivos espoliativos, do superpastejo da vegetação nativa (caatinga) e do extrativismo predatório.

Nos últimos anos, a interação entre o homem e o ambiente tem sido tema de suma importância. Em decorrência, o conceito de sustentabilidade surge como estratégia de desenvolvimento. Neste contexto, é necessário que o processo produtivo leve em conta as limitações e as potencialidades impostas pelos recursos naturais; busque uma produção que garanta as condições básicas necessárias a uma vida com dignidade e, ao mesmo tempo objetive a conservação do meio ambiente.

No semiárido brasileiro a pecuária representa uma das mais importantes atividades para os produtores dessa região, em especial a caprinocultura e a ovinocultura com 90% e 35% dos respectivos rebanhos do País. Isto se deve à grande resistência destes animais às altas temperaturas, a pouca exigência de aplicação de recursos financeiros, a combinação de hábitos alimentares com a baixa disponibilidade hídrica e à flora da região, e a existência de um mercado demandante de carne e pele (Oliveira, 1996).

O sistema de cria é extensivo e o rebanho é formado principalmente por bovinos, caprinos e ovinos. As principais dificuldades experimentadas pelos produtores na condução do sistema estão relacionadas à escassez de água e forragem para alimentar o rebanho durante todo o ano, em especial nos períodos de estiagem. Isto faz com que o desempenho produtivo dos animais seja reduzido e o quadro se torna muito crítico em anos de seca fazendo crescer, acentuadamente, o índice de mortalidade que incide sobre os rebanhos.

Para avaliar a criticidade do problema, as instituições de pesquisa e desenvolvimento da região estimam que a capacidade de suporte da vegetação de caatinga situa-se entre 10 e 13 hectares, apenas para a manutenção de uma unidade animal (bovino de 450 kg) (Castelletti et al., 2004). Em levantamentos realizados com produtores do sequeiro, o tamanho médio do rebanho por propriedade rural é de 8 unidades animais (UA). Para atender a demanda alimentar de tal rebanho, sendo a base alimentar a caatinga, o tamanho da propriedade deveria ser entre 80 e 104 hectares. No entanto, 60% das roças têm menos de 5 hectares, como já mencionado.

Em decorrência destes fatos, 20 milhões de hectares apresentam processos acentuados de degradação ambiental. Como a região vem passando por uma sequência de seis anos de secas intensas, a caatinga já não tem condição de suportar ainda mais este desgaste. Grande parte de suas espécies estão desaparecendo e sendo ameaçadas de extinção (Araújo Filho, 2013; Martins et al., 2017).

Por outro lado, o aproveitamento das fontes de águas salobras e salinas para a pequena irrigação pode ser uma alternativa capaz de mitigar a crise no abastecimento de água e forragem. São mais de 314 mil poços cadastrados pelo Serviço Geológico do Brasil, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, apenas na região semiárida, na maioria com águas salobra e salina (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, 2019).

Nesta perspectiva, a utilização das águas salobras e salinas pelos produtores da região semiárida brasileira contribui para melhorar as condições socioeconômicas das comunidades que praticam agricultura familiar, como também serve de grande alívio para diminuir o superpastejo da caatinga, criando condições para sua recuperação e conservação. Em todos os estados da região semiárida, o uso dessas águas está se popularizando. A tendência é de se intensificar ainda mais em função dos impactos advindos das mudanças do clima, tornando uma importante medida de adaptação. No entanto, esses produtores, de uma forma geral, estão atuando sem a orientação técnica devida, sem conhecimento da qualidade da água e do tipo de solo em que ela poderia ser utilizada (Figura 1).



Foto: L. C. Hermes, Embrapa Meio Ambiente

Figura 1. Plantio de capim-elefante em propriedade rural do município de Petrolina, com sinal de toxidez por sais.

Programa Água Doce como Protagonista do Uso de Águas Salobras e Salinas

O Governo Brasileiro, através do Conselho Nacional de Meio Ambiente — CONAMA, fixou pela Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986, nove classes para as águas superficiais brasileiras, sendo cinco para águas doces, duas para as águas salinas e duas para as águas salobras (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1986). Na Resolução, as águas salobras são diferenciadas das águas salinas em função do teor de sais dissolvidos, expresso em partes por milhão (ppm), isto é, miligramas por litro (mg L^{-1}), ou em partes por mil (‰), ou seja é, grama por litro (g L^{-1}). Águas salobras foram consideradas para fins de classificação como aquelas com salinidade $\geq 0,5$ partes por mil (‰) e < 30 partes por mil (‰), e águas salinas aquelas com salinidade ≥ 30 partes por mil (‰). De acordo com Ayers e Westcot (1985), a salinidade traduz o teor de sais dissolvidos ou em suspensão, dentre os quais podem se destacar os cloretos de sódio, magnésio e cálcio, os sulfatos de magnésio, potássio e cálcio e os carbonatos e nitratos de cálcio e magnésio.

O Programa Água Doce (PAD) foi formulado em 2003, de forma participativa, com a contribuição de diversas entidades que tratam do tema e teve como missão contribuir com o acesso à água de qualidade para o consumo humano em comunidades rurais do semiárido, por meio do aproveitamento sustentável dos mananciais subterrâneos, incorporando cuidados ambientais e sociais na gestão de sistemas de dessalinização.

A partir de 2010 as ações estão sendo orientadas pelos Planos Estaduais de Implementação e Gestão do PAD, iniciadas a partir dos municípios mais críticos de cada Estado e naquelas áreas mais susceptíveis ao processo de desertificação. Para isso, foram definidos critérios técnicos

para atender prioritariamente a quem mais precisa. Assim, os municípios com menores Índices de Desenvolvimento Humano (IDH), altos percentuais de mortalidade infantil, baixos índices pluviométricos e com dificuldades de acesso aos recursos hídricos foram os primeiros a serem contemplados pelos planos. Oficinas de treinamento são realizadas junto às comunidades sobre a manutenção e cuidados para manter a qualidade da água dessalinizada e o monitoramento da qualidade ambiental com foco na salinidade do meio. Até o momento, mais de 3.000 comunidades foram diagnosticadas e 480 sistemas de dessalinização foram implantados, beneficiando cerca de 190 mil pessoas, com o potencial de produzir 1,9 milhão de litros de água de qualidade por dia.

Unidade de Aproveitamento do Concentrado

Estudos recentes têm mostrado que é possível obter bons desempenhos vegetal e animal com água de condutividade elétrica (CE) de até 11 dS.m^{-1} . Sem dúvida, para os próximos anos, o aproveitamento das águas salobras e salinas será de vital importância como componente essencial do complexo dos recursos hídricos, em especial para as regiões áridas e semiáridas de todo o mundo, por assegurar mais uma alternativa como recurso para o desenvolvimento, principalmente em anos de seca. No caso do semiárido brasileiro, as previsões sinalizam alterações climáticas com tendência a estiagens mais frequentes (Marengo, 2008; Ambrizzi; Araújo, 2014).

Confirmando-se este cenário, a disponibilidade hídrica para o consumo humano e animal da região será reduzida ainda mais. Isto terá grandes impactos na sociedade nordestina, particularmente para os pequenos produtores que vivem da agropecuária dependente de chuva. Diante deste fato, o aproveitamento de águas subterrâneas tem sido uma das principais alternativas para o abastecimento hídrico em comunidades rurais estabelecidas na região.

Atualmente, centenas de dessalinizadores são recuperados e instalados pelo PAD (Ferreira et al., 2017). Pelo princípio da precaução, o PAD tem como norma a contenção do efluente do sistema de dessalinização, denominado concentrado, com salinidade superior a da água do poço, em tanques revestidos com películas impermeáveis, evitando assim a salinização de outras fontes de água ou do solo. Para as comunidades o acúmulo e a não utilização desse concentrado é considerada um desperdício de recurso. De fato, com base na literatura internacional recente (Saxena; Gupta, 2004; Dagar et al., 2014; Sharma; Singh, 2017; Saqib et al., 2019) a utilização de águas salobras e salinas para irrigação e dessedentação animal se apresenta como uma nova alternativa para a produção agrícola (Figura 2).



Figura 2. Esquema do sistema de dessalinização implantado pelo Programa Água Doce. Ilustração: Brasil, 2012.

Os sistemas produtivos têm como objetivos utilizar tecnologias adequadas, desenvolvidas pelas instituições de pesquisa e desenvolvimento, para o aproveitamento do concentrado (efluente do dessalinizador) em sistemas produtivos locais, e promover o uso sustentável dos recursos hídricos. As unidades de aproveitamento do concentrado são representadas pelas Unidades Demonstrativas (UD) de Sistemas de Produção.

A UD nada mais é que um Sistema de Produção Integrado onde são realizadas visitas, exposições, aulas e demonstrações do processo produtivo, usando o concentrado, com o objetivo de replicar o modelo. Este sistema foi desenvolvido pela Embrapa Semiárido para se tornar uma alternativa ao uso adequado do concentrado da dessalinização, minimizando os impactos ambientais e contribuindo para a segurança alimentar das comunidades que praticam agricultura familiar. O sistema é constituído por dois subsistemas integrados: criação de tilápia e produção de forragens para os ruminantes.

Com base em pesquisas desenvolvidas nos campos experimentais da Embrapa (Porto et al., 2006; Hermes et al., 2014), ficou comprovado que a conjugação da criação de tilápia utilizando o concentrado e o uso deste meio para irrigar a erva-sal produz benefícios. Através da criação da tilápia o concentrado como meio líquido é fertilizado com os dejetos do peixe diretamente na água, principalmente pelos teores de fósforo e nitrogênio oriundos da ração usada na aquicultura, além de gerar renda com a produção do pescado.

Todavia, no processo de criação de peixe há necessidade de uma troca de água diária, correspondente a 10% do volume total do reservatório. Assim sendo, essa água já fertilizada propicia um excelente meio líquido para uso na irrigação da erva-sal, que é uma forragem com grande potencial na alimentação de pequenos e grandes ruminantes. Por sua vez, a erva-sal, planta classificada botanicamente como halófito, comporta-se como uma fitorremediadora, que retira os sais do solo que foram incorporados pela irrigação com o concentrado (Figura 3).



Foto: Arquivos do Programa Água Doce

Figura 3. Sistema produtivo implantado pelo PAD em uma comunidade no estado do Rio Grande do Norte.

Além das pesquisas desenvolvidas, a Embrapa disponibiliza tecnologias para a região semiárida brasileira no contexto do PAD. São sistemas de grande flexibilidade em termos de adaptabilidade aos diferentes espaços do semiárido, capazes de elevar os níveis de produtividade a patamares de viabilidade econômica, em harmonia com a preservação ambiental. A transferência dessas tecnologias para o seguimento produtivo para fins de validação *in situ* e de demonstração dos seus potenciais benefícios tem sido uma estratégia definida em parceria com o PAD em complementação às Unidades Demonstrativas. Ressalta-se que o conjunto dessas tecnologias auxilia a convivência com a seca e incorpora o conhecimento das populações locais, denominadas pela Embrapa como “Vitrine Tecnológica” (Figura 4).



Foto: Arquivos do Programa Água Doce

Figura 4. Dia de Campo Demonstrativo das vitrines tecnológicas.

O sistema produtivo sugerido pela Embrapa é o resultado de muitos anos de pesquisa e experimentação. Em geral, os sistemas produtivos têm também limitações que precisam ser avaliadas, não só pelos pesquisadores, mas também pelos próprios produtores. Atualmente, com o avanço do PAD e a geração de novas tecnologias é necessário que novas alternativas de sistema de produção, com uso do concentrado salino, sejam incorporadas ao Programa.

Qualidade de Água para Irrigação

A agricultura salina aparece como uma estratégia inovadora para o uso de recursos naturais até então considerados marginais, cuja estratégia não é recente. De acordo com Glenn et al. (1998), Hugo Boyko e sua equipe, em 1949, fizeram o paisagismo do recém iniciado estado de Israel com o objetivo de atrair colonos que usavam água do mar vermelho. Segundo o autor, por falta de água doce, e ao bombear águas marginais de poços e diretamente do mar, Boyko mostrou que algumas plantas podem crescer usando águas com salinidade acima da normalidade estabelecida.

Atualmente, vários países fazem uso de águas com elevados teores de sais na produção agrícola em virtude de não terem água de qualidade suficiente para atender à crescente demanda de produtos agropecuários. Dentre eles podem ser citados os Emirados Árabes, Paquistão, Índia, Austrália, Holanda, Siri Lanka e até mesmo os Estados Unidos. Em Dubai, há mais de duas décadas, está em operação o “International Center of Biosaline Agriculture” (ICBA).

Os resultados conseguidos pelas instituições de pesquisa desses países demonstram que o sucesso no uso de água salina, na irrigação, depende da espécie a ser cultivada e do manejo da irrigação a ser usado. Segundo Rhoades (1998), não existe um único caminho para esta combinação. Muitas alternativas de práticas culturais e de manejo da irrigação podem ser combinadas no intento de obter resultado de produção satisfatório e da sustentabilidade da atividade. A combinação apropriada vai depender de alguns fatores, tais como solo, salinidade da água de irrigação e do clima. É neste contexto que o Programa Água Doce se insere, onde o concentrado salino produzido no processo de dessalinização, uma vez considerado rejeito, passa a ser um recurso para produção.

Do ponto de vista da irrigação, o uso de águas de qualidade inferior requer planejamento cuidadoso, práticas de manejo mais complexas, e procedimentos de controle mais rigorosos quando comparados ao uso de águas consideradas apropriadas para tal fim.

Salinidade é um problema inerente a zonas semiáridas e áridas de todo o mundo. Quando ocorrem as chuvas, estas dissolvem os sais e os transportam tanto para o perfil do solo, como para outras áreas através dos fluxos de água. No caso do semiárido brasileiro, o halomorfismo, processo de formação de solos rasos, faz parte do processo pedogenético que naturalmente são desenvolvidos na região.

De acordo com a literatura, os fatores mais importantes para a definição da adequabilidade da água para a irrigação são o total de sólidos dissolvidos (TDS), também mencionados como salinidade total, e a relação de adsorção do sódio (RAS). Este processo foi estabelecido ainda na década de 1950 pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (Richards, 1954), sendo até hoje o critério mais usado em todo o mundo. No caso das comunidades diagnosticadas pelo PAD, as informações existentes permitem a avaliação destes parâmetros.

Salinidade Total (TDS)

A qualidade da água usada para a irrigação pode influenciar alguns fatores, tais como, disponibilidade de água para as plantas, toxicidade de íons específicos, além de outros componentes relacionados ao comportamento hidráulico do solo. Como o Programa Água Doce utiliza águas subterrâneas de aquíferos fraturados como fonte hídrica, é importante ressaltar que as águas desses mananciais apresentam níveis elevados de CE. Por serem meios heterogêneos, as águas encontradas neste tipo de formação apresentam valores de condutividade variáveis. Para utilizar essas águas na irrigação é necessário um manejo adequado, assim como a utilização de plantas tolerantes aos níveis de salinidade dessa água. Neste caso, o uso de indicador da salinidade permite acompanhar possíveis alterações.

A tentativa de se estabelecer critérios sobre limites de salinidade para a água de irrigação data dos primeiros decênios do século vinte (Allison, 1966). Nesse período, ficou estabelecido o limite de 4 dS.m⁻¹ para a salinidade máxima da água a ser usada para irrigação. De lá para cá, este limite tem sido alterado pela demonstração de resultados conseguidos com águas de salinidades bem superiores. Atualmente, em função da escassez de recursos hídricos de boa qualidade, o questionamento que a pesquisa tenta responder tem sido: que uso é possível dar para uma determinada água?

Os estudos e práticas que têm sido executados em muitas regiões áridas do mundo demonstram que águas, classificadas como demasiadamente salinas para o uso agrícola, têm sido usadas com êxito na irrigação de vários cultivos, conforme descrito por Rhoades et al. (1992). No referido estudo, os limites estabelecidos para a classificação da água quanto à salinidade tiveram como base os trabalhos publicados pela literatura internacional e as experiências desenvolvidas na região semiárida brasileira (Tabela 1). É importante ressaltar que os dados de classificação publicados proporcionam uma base para predizer, com razoável confiança, o efeito geral da água quando usada na irrigação, sobre o solo e nos cultivos. Todavia, esta classificação aqui apresentada é uma tentativa aproximada e deverá ser usada como um guia geral.

Tabela 1. Classificação e valor limite da salinidade (dS m⁻¹) da água de irrigação.

CLASSIFICAÇÃO	VALOR DA SALINIDADE (SAL.) dS.m ⁻¹
BAIXO	SAL. ≤ 4
MODERADO	4 > SAL. ≤ 6
ALTO	6 > SAL. ≤ 10
MUITO ALTO	SAL. > 10

Fonte: Adaptada de Rhoades et al. (1992).

Na tomada de decisão sobre o uso de águas salinas e salobras para irrigação, deve-se considerar que a sua qualidade tem efeito sobre os seguintes componentes da interação solo-clima-água-planta, tais como: (1) solo – propriedades físicas e químicas, e estrutura; (2) clima – evapotranspiração, precipitação e temperatura; (3) água – manejo da irrigação, e (4) planta – tolerância à salinidade total, injúrias na folha, toxidez a determinados íons e rendimento total da cultura.

Estudos recentes nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe mostram que numa amostragem de 1.000 poços, a salinidade média encontrada foi de 3.523 mg L⁻¹, e de 150 açudes e barreiros, a salinidade média foi de 6.740 mg L⁻¹ (Brasil, 2017). Esta diferença significativa entre os poços, açudes e barreiros demonstra o efeito da evaporação nas águas superficiais, com o aumento progressivo dos sais nos intervalos entre tempo chuvoso e seco.

Relação de Adsorção de Sódio (RAS)

Dependendo da concentração salina, o desempenho dos cultivos pode ser inferior ao seu potencial produtivo, principalmente se estes sais se concentram na zona radicular da cultura. Quando a água apresenta alta concentração de sódio (Na⁺) em relação ao cálcio (Ca⁺⁺) e magnésio (Mg⁺⁺) há possibilidade do solo se tornar sodificado em virtude do sódio deslocar o cálcio e o magnésio adsorvidos aos colóides do solo (Cordeiro, 2001a).

À semelhança do que ocorre com a salinidade da água de irrigação, o processo de sodificação também interage com fatores, tais como: qualidade da água usada na irrigação, propriedades físicas e químicas do solo, tolerância do cultivo à salinidade, clima, paisagem do terreno - incluindo a geologia e hidrologia, e o manejo de solo e água a ser usado. Para medir o seu risco, utiliza-se a relação de adsorção de sódio (RAS). Portanto, a sodificação é um processo que degrada as principais propriedades do solo fazendo este mais dispersivo e susceptível à erosão, tanto hídrica

como eólica, restringindo, assim, a penetração de água no solo como resultado da redução da sua condutividade hidráulica. Este fato limita a lixiviação no perfil do solo, permitindo, portanto, a acumulação de sais ao longo do tempo na superfície do solo. Prejudica, também, a aeração da camada em contato com o sistema radicular do cultivo.

A relação de adsorção de sódio (RAS) é calculada através do quociente entre o teor de sódio e a raiz quadrada da soma dos teores de cálcio mais magnésio dividido por dois (equação 01). Para realizar o cálculo, os teores desses elementos devem ser dados em miliequivalentes por litro, usando a seguinte equação:

$$\text{RAS} = \text{Na} / [(\text{Ca} + \text{Mg}) / 2]^{1/2} \quad \text{(equação 01)}$$

Em relação ao risco de sodificação dos solos, mediante a concentração de sódio, as águas se classificam em quatro classes: baixo, médio, alto e muito alto, o qual depende dos valores do RAS (Allison, 1966). De acordo com esse autor, para águas com salinidade superior a 2,25 dS.m⁻¹, os valores limites do RAS para as classes são os constantes na Tabela 2.

Tabela 2. Risco de sodificação do solo em função da relação de adsorção de sódio da água de irrigação.

CLASSIFICAÇÃO	VALOR DO RAS
BAIXO	RAS < 4
MÉDIO	4 ≥ RAS < 9
ALTO	9 ≥ RAS < 14
MUITO ALTO	RAS ≥ 14

Fonte: Allison (1966).

Manejo e Práticas Agrícolas ao Usar Águas Salobras e Salinas para Irrigação

O objetivo da atividade agrícola é obter o máximo de rendimento com o mínimo de custo para que o lucro seja otimizado, principalmente ao se tratar de agricultura irrigada com água de qualidade. Isto pode ser conseguido com práticas e manejos convencionais, já do conhecimento dos produtores. Todavia, quando se trata de águas marginais onde há restrições sobre a sua qualidade, mais especificamente, quando esta é salobra ou salina, as práticas de manejo necessitam ser mais específicas e intensivas.

Algumas práticas, tais como o requerimento de água para cada cultivo e a sua específica taxa de lixiviação precisam ser definidas com precisão e aplicadas no momento correto. A maioria dos requerimentos de água para compensar a evapotranspiração é determinada em ambientes não salinos. Entretanto, o consumo pela planta é reduzido em função da salinidade da água. O acúmulo de sais no perfil de solo é uma variável dependente da concentração da salinidade, da quantidade

de água aplicada e a que permanecerá após ter sido atendido o requerimento da espécie. Portanto, com a aplicação da água salina através da irrigação é evidente que o perfil ocupado pela zona radicular ficará também salino no decorrer do tempo.

A produtividade dos cultivos, em geral, vai depender de sua sensibilidade à salinidade e da qualidade da água que é irrigada. Quando o acúmulo de sais na zona radicular ultrapassa os limites aceitáveis pela cultura explorada, seu rendimento pode ser parcialmente comprometido. Para compensar esta possível redução, técnicas de manejo e práticas devem ser adotadas para remover os excessos de sais da área explorada pelo sistema radicular da cultura e seus impactos no solo, proporcionando sustentabilidade ao sistema de exploração. A seguir são apresentadas as principais técnicas de manejo e práticas agrícolas que devem ser adotadas.

Sistema e Frequência de Irrigação

Estudos mostram que o sistema de irrigação tem influência no desempenho dos cultivos, especialmente quando a água usada na irrigação é salobra e salina. De acordo com Shalhevet (1994), três fatores importantes devem ser considerados ao escolher o sistema de irrigação a ser usado: (1) a distribuição dos sais no perfil de solo; (2) a tolerância das folhas do cultivo quanto ao molhamento com água salobra e salina; e (3) com que rapidez o aumento dos potenciais osmótico e matricial podem ser alcançados.

A distribuição de sais na zona do perfil de solo ocupado pelo sistema radicular é influenciada pela fração de lixiviação, pelo formato de extração de água da cultura, pela posição da cova de plantio ou semeadura, e pelo método de aplicação da água de irrigação (Oster et al., 1984). Na irrigação por gotejamento, a menor concentração de sais se localiza na zona de solo logo abaixo e ao redor do gotejador. À medida que o bulbo molhado vai se avolumando, a zona mais concentrada vai se distanciando para a sua periferia. Outra grande vantagem deste sistema é que permite a aplicação de pequenos volumes de água com muita eficiência.

Para um bom desempenho da cultura, a umidade do solo na zona ocupada pelo sistema radicular deve ser mantida em um nível ótimo. É fato que, a água de irrigação sendo salobra ou salina, a planta terá que desprender mais energia para superar a pressão osmótica da solução do solo. Neste caso, as irrigações devem ser mais frequentes. Isto alivia o esforço despendido pela planta na retirada da água necessária ao seu bom desempenho. Frequentes irrigações aumentam o tempo médio para que haja o aumento da concentração salina na solução do solo. Mais uma vez, o sistema de gotejamento é recomendado.

Métodos de Irrigação

Os métodos testados experimentalmente e demonstrados em campo usando água salobra e salina na irrigação são o uso sequencial, a mistura de águas e o uso cíclico. Diferem em função de quando e como a água salina é aplicada, e se há inclusão de água não salina no processo de produção.

No uso sequencial, inicialmente a área a ser irrigada é subdividida em subcampos de acordo com as culturas a serem implantadas, sempre observando a sequência dos cultivos menos tolerantes para os mais tolerantes à salinidade. Neste caso, a água salina bombeada do poço é usada para a irrigação do primeiro subcampo. Depois, a água que foi aplicada em excesso vai drenar, e em seguida é novamente bombeada para irrigar o segundo subcampo, e assim sucessivamente.

A desvantagem é que à medida que o processo segue, a água vai se tornando cada vez mais concentrada.

No processo mistura de águas, é necessário que existam fontes de água no campo com baixo teor de sais. A água salina é misturada com a água não salina. A quantidade da água não salina a ser usada vai depender do nível de salinidade desejada para os cultivos específicos a serem irrigados. Neste caso, as experiências têm demonstrado que, não necessariamente este método aumenta a eficiência no uso da água (Grattan; Rhoades, 1990), tampouco é economicamente viável (Dinar et al., 1986). Em caso de uso deste método, é recomendado avaliar os conceitos de eficiência e economicidade definidos pelo nível de salinidade e da cultura. De antemão, a literatura recomenda que a utilização deste método não é viável se o uso da água salina for inferior a 25% do total de água a ser usada.

Já no método de uso cíclico, a salinidade do perfil de solo é propositadamente reduzida pelo uso da água não salina. Com esta estratégia é possível manter a salinidade do perfil em menor nível que as duas anteriormente citadas, principalmente nas camadas superiores do perfil ocupado pelo sistema radicular. Em termos práticos, o método funciona tirando proveito das primeiras chuvas para realizar o plantio. Isto propicia um melhor desempenho da planta nas fases de germinação e início de seu desenvolvimento, que são as fases mais críticas com respeito a tolerância à salinidade do meio. Em seguida, para completar o ciclo da cultura, são aplicadas algumas irrigações de salvação, com água salina. Este método se assemelha ao que foi utilizado na recuperação das áreas dos experimentos realizados na Embrapa Semiárido.

Controle da salinidade na Zona Radicular pela Lixiviação

A questão mais importante ao se tratar do uso de águas salobras e salinas para a irrigação de cultivos é manter todo o excesso de salinidade, não suportável pela cultura, fora da zona ocupada pelo sistema radicular, ou seja, manter os excessos de sais abaixo da zona radicular da cultura. Isto se consegue através do processo chamado lixiviação de sais, que nada mais é do que um processo de lavagem do perfil de solo. De acordo com a literatura este é o processo mais efetivo para a remoção do excesso de sais da zona radicular (Cordeiro, 2001b).

A lâmina de água correta para esta lavagem depende do nível de tolerância da cultura à salinidade e da quantidade de sais existentes na água de irrigação. Quanto maior a tolerância da cultura à salinidade, menor será a lâmina de lixiviação. Por outro lado, para o mesmo nível de tolerância da cultura, quanto maior a salinidade da água, maior a lâmina de lixiviação. Como regra prática, uma unidade de lâmina de água aplicada, em geral, remove 80% de igual unidade na profundidade do perfil de solo (Abrol et al., 1988). Por exemplo, a aplicação de uma lâmina de 30 cm (300 mm) de água deverá remover 80% dos sais presentes nos primeiros 30 cm do perfil de solo.

De acordo com Grattan e Oster (2003) o requerimento da lixiviação é um conceito atrativo, mas apresenta limitações. Primeiro, a evapotranspiração é independente da salinidade presente na zona radicular. Por conseguinte, o requerimento de água para atender a evapotranspiração será maior quando a salinidade na zona radicular for maior que o valor limite tolerável pela cultura (Letey; Dinar, 1986). Segundo, o requerimento da lixiviação é baseado numa condição de equilíbrio estável, o que não acontece no início da salinização na zona radicular. Finalmente, é difícil aplicar uma lâmina exata de água uniformemente em todo o campo que corresponda à fração ou taxa de lixiviação. Mesmo com estas limitações, o requerimento da fração de lixiviação é necessário para o controle do nível de salinidade, tanto para o solo como para a cultura explorada.

Para uma recuperação eficaz do perfil de solo, com salinidade acima da tolerada pelo cultivo, é importante ter conhecimento sobre: a concentração real de sais na zona radicular; até que profundidade do perfil se deseja recuperar; qual a salinidade tolerável pelo cultivo; e quais as características físico-químicas do solo em questão. Quanto a este último ponto, ao escolher uma área a ser irrigada com água salobra ou salina, é importante que o solo apresente pelo menos 70% de areia e um perfil não inferior a 1,0 m de profundidade (Brasil, 2012). Outra recomendação importante é fazer a lixiviação quando o solo estiver seco com aplicações de lâminas de água pequenas e irrigações intermitentes para que o sal não atinja a raiz.

Considerando a irrigação convencional, após várias irrigações sucessivas na mesma área, a concentração salina no perfil de solo tentará entrar em equilíbrio, a depender da taxa de lixiviação. Por sua vez, a fração ou taxa de lixiviação pode ser calculada pela fórmula definida por Ayers e Westcot (1985) (equação 02). Segundo eles,

$$FL = CE_{ai} / CE_{zr}$$

equação 02

em que, FL = fração de lixiviação (adimensional); CE_{ai} = salinidade da água de irrigação e CE_{zr} = salinidade na zona radicular tolerável pela cultura (ambas salinidades dadas em $dS.m^{-1}$). Com a definição da fração de lixiviação, o próximo passo é calcular a lâmina total de água a ser aplicada em cada irrigação. No caso da irrigação convencional, para calcular esta lâmina são necessárias estimativas do requerimento de água real da cultura e da eficiência da irrigação. Sugere-se trabalhar com o conceito de “irrigação de salvação”. Com base neste conceito, o objetivo da irrigação é salvar o cultivo, conforme se refere o termo, ou seja, são irrigações mínimas em complementação ao período chuvoso; não necessariamente a pretensão é obter o rendimento máximo potencial que o cultivo pode produzir. Para o caso de águas salobras e salinas, a lâmina total de irrigação recomendada deve ser de no máximo igual à média anual de precipitação da localidade; neste caso, a média de chuva é considerada como lâmina de lixiviação.

No caso da irrigação de salvação, os conceitos básicos da irrigação convencional não estão sendo respeitados, estes teriam que atender toda a demanda da cultura e aplicar uma lâmina extra para a lavagem dos sais em excesso. Com isto, a planta terá condições de desempenhar todo o seu potencial produtivo. Por outro lado, à medida que se aplica água salobra e salina em um perfil de solo, embora ocorra uma maior lavagem, sua salinidade será incrementada em todo o seu conjunto. Bastos (2004), ao avaliar o efeito de lixiviações completa e incompleta, usando água salina, concluiu que as distribuições de sais em ambos os processos foram similares. Assim, o manejo mais adequado foi a lixiviação incompleta, considerando a complementação da lavagem dos sais pela precipitação pluviométrica. Resultados positivos sobre a lavagem dos sais pela chuva também foram encontrados por Platts e Grismer (2014), na Califórnia, em região cuja precipitação média anual foi de 330 mm.

No caso do Semiárido brasileiro, a Tabela 3 apresenta o comportamento da salinidade do perfil do solo de uma área irrigada por quatro anos consecutivos (1998–2001), durante e após o encerramento do cultivo. Entre 2000–2004 a área ficou em pousio. Apresentam-se, também, os totais anuais de chuvas ocorridas na área de plantio durante todo o período da atividade agrícola. De 2005–2007 novas amostras de solo foram coletadas, os dados apresentados são da área experimental da Embrapa Semiárido em Petrolina/PE, e o cultivo explorado foi a erva-sal.

Tabela 3. Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, antes, durante e após o cultivo irrigado de *Atriplex numulária* durante quatro anos.

Prof. Solo (cm)	Condutividade Elétrica (dS.m ⁻¹)									
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
0-30	0,42	12,87	14,10	15,03				1,03	1,50	0,32
30-60	0,30	16,27	14,67	12,84				1,54	1,30	0,19
60-90	0,52	18,04	15,12	12,87				1,65	1,56	0,34
Precipitação (mm/ano)	394,9	493,6	642,2	403,4	427,7	393,3	786,5	525,1	367,2	266,6

Fonte: Dados experimentais não publicados - Embrapa Semiárido.

No exemplo apresentado na Tabela 3, as irrigações efetuadas durante os quatro anos corresponderam a uma lâmina total de 4.320 mm e água com salinidade de 11,4 dS.m⁻¹. Por sua vez, o total de chuva ocorrido entre 1999 e 2007 quantificou 4.305 mm. As irrigações ocorreram até o final do ano de 2001. Portanto, este montante foi suficiente para proceder à lixiviação do excesso de sais do perfil, como mostra os dados da eletrocondutividade do extrato de saturação de amostras de solo das diferentes camadas. A textura média do solo em apreço foi de 70% de areia e o perfil apresentou 1,0 m de profundidade.

Infiltração e Uso da Matéria Orgânica e do Gesso na Correção da Relação de Adsorção de Sódio (RAS)

A água de irrigação com teores elevados de sais contribui para o acréscimo da concentração salina no solo, e o processo de lixiviação é o mais apropriado para a remoção de parte destes sais. Esta técnica assume, em princípio, que os sais presentes no solo são solúveis e que toda água aplicada no processo de lixiviação será infiltrada no perfil de solo. No entanto, a qualidade da água de irrigação pode provocar reduções na velocidade de infiltração do solo.

Por definição, a velocidade de infiltração se refere à facilidade com que a água atravessa a superfície do solo. Já o deslocamento dessa água no interior do perfil tem relação com a permeabilidade do solo. Segundo Ayers e Westcot (1985), uma velocidade de infiltração de 3 mm h⁻¹ é considerada baixa, enquanto acima de 12 mm h⁻¹ é alta. Além disto, esta velocidade de entrada de água no solo é influenciada não só pela salinidade da água de irrigação, mas também pela textura do solo e pelas características dos cátions trocáveis.

A utilização de matéria orgânica tem demonstrado efeitos diretos nas propriedades físicas e químicas do solo, aumentando, principalmente, a capacidade de infiltração de água no perfil explorado pelo sistema radicular da cultura. No processo de decomposição deste material há liberação de grande quantidade de compostos orgânicos que ajudam na agregação das partículas do solo aumentando sua permeabilidade. Por outro lado, durante a decomposição, os microrganismos liberam dióxido de carbono (CO₂), que ao combinar com a água, forma o ácido carbônico (H₂CO₃), que solubiliza os sais de cálcio precipitados no solo (Cordeiro, 1991).

A RAS tem influência na velocidade de infiltração, e em geral, a infiltração aumenta com a salinidade e diminui com a sua redução ou com o aumento do teor de sódio em relação ao cálcio (Ca⁺⁺) e magnésio (Mg⁺⁺). Em outras palavras, a destruição da estrutura do solo ocorre quando o teor de sódio é superior à soma do cálcio e magnésio.

O procedimento usado para a detecção de possíveis problemas de infiltração é a utilização do cálculo da RAS. O sódio é um dos cátions que faz parte da salinidade da água e permanece todo o tempo solúvel e em equilíbrio com o sódio trocável do solo. Já o cálcio e o magnésio, ao contrário, não se mantêm totalmente solúveis todo o tempo, mas sim variando continuamente até entrar em equilíbrio (Ayers e Westcot, 1985).

A recuperação de solos afetados por problemas de infiltração inclui a adição de corretivos, como o gesso, para modificar a composição química do solo ou da água. Devido à dissolução do gesso, ocorrem variações no teor de cálcio solúvel na solução do solo, ou geralmente, sua precipitação em forma de carbonato de cálcio (CaCO_3). Com isto aumenta o teor de cálcio e reduz a proporção de sódio em relação a outros cátions, o que favorece a diminuição do valor da RAS. Por outro lado, o gesso eleva a salinidade das águas de baixo teor de sais, melhorando assim a infiltração. A correção com o gesso é recomendável quando a água tem o valor de RAS maior ou igual a 4,0.

Por ser abundante no nordeste brasileiro, o gesso é o corretivo de sodicidade mais empregado, tanto na água como no solo. Segundo Ayers e Westcot (1985), para recuperar solos sódicos, o gesso, em forma granular, deve ser espalhado e incorporado ao solo em quantidade que oscila entre 5 e 30 t ha⁻¹. Aplicações anuais superiores a 10 t ha⁻¹, em geral, dão respostas rápidas, permitindo que as plantas explorem, através de seus sistemas radiculares, perfis mais profundos de solos. As aplicações leves e frequentes são mais eficientes na resolução de problemas de infiltração provocados pela salinidade da água de irrigação.

CÁLCULO DA QUANTIDADE DE GESSO PARA CORREÇÃO DA SODICIDADE

Em solos com elevadas concentrações de sais e pH superior a 7,0 geralmente o excesso de sódio é dominante. Este excedente se torna tóxico para muitos dos cultivos, além de provocar a desfloculação dos agregados do solo. Neste caso, o gesso agrícola é muito utilizado para promover a lixiviação do sódio trocável com redução da sodicidade do solo. O gesso agrícola possui óxido de cálcio (CaO) e por esta causa o ocorre um aumento do cálcio trocável no solo.

De acordo com a legislação brasileira, Instrução Normativa Nº 35 de 2006 (Brasil, 2006), o gesso agrícola se enquadra como corretivo de acidez. Além disto, a legislação exige o cumprimento de algumas especificações para o produto ser enquadrado como corretivo de sodicidade, tais como: 16% de cálcio; 22% de óxido de cálcio e 13% de enxofre. Existem algumas recomendações de cunho prático para definir quanto aplicar, e também fórmulas para determinações exatas.

Na correção de solos sódico ou salino-sódico, a determinação da quantidade de corretivo a ser aplicado pode ser calculada através de fórmulas tendo como elementos básicos os resultados das análises químicas do solo. Com base na capacidade de troca de cátions do solo, da percentagem de sódio trocável (PST) que se deseja substituir, da área e profundidade do perfil a ser explorado pelo sistema radicular do cultivo, e da percentagem de sódio trocável final que se deseja deixar no solo, Cordeiro (2001b) sugere-se a seguinte fórmula (equação 3):

$$N.C. = [(PSTa - PSTd) / 100] \times CTC$$

equação 03

Em que:

N.C. = necessidade de corretivo por 100 gramas de solo em miliequivalentes; PSTa = porcentagem de sódio trocável quando da amostragem inicial no solo; PSTd = porcentagem de sódio trocável que se deseja deixar no solo para o cultivo a ser implantado; CTC = capacidade de troca de cátions, em miliequivalentes por 100 gramas de solo. Para facilitar o entendimento, Cordeiro (2001b) apresenta o exemplo de cálculo a seguir. Calcular a quantidade de corretivo (gesso) para recuperar um hectare de solo que apresenta as seguintes características: porcentagem de sódio trocável atual (PSTa) = 40, porcentagem de sódio desejável (PSTd) = 10, e capacidade de troca de cátions (CTC) = 25 meq. / 100g de solo.

Cálculos:

$$\text{N.C.} = [(40 - 10 / 100)] \times 25 = 7,5 \text{ meq} / 100 \text{ g. de solo}$$

$$\text{Volume total de solo a ser recuperado (Vt)} = 10.000 \text{ m}^3 \times 0,3 \text{ m} = 3.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

Para expressar a quantidade de corretivo por hectare é preciso conhecer a densidade aparente do solo e a profundidade do perfil que se deseja recuperar. Neste exemplo, a densidade aparente é de 1300 kg m^{-3} de solo e a profundidade a ser recuperada é de 0,3 m.

$$\text{Peso total deste volume de solo (Pt)} = 3.000 \text{ m}^3 \times 1.300 \text{ kg m}^{-3} = 3.900.000 \text{ kg ha}^{-1}.$$

Considerando que para cada 100 g de solo são necessários 7,5 meq, em 1,0 kg são necessários 75,0 meq. Para finalizar os cálculos, é preciso saber a quantidade de miliequivalentes por tonelada do corretivo. Este valor é dado em tabelas para cada corretivo (Cordeiro, 2001b). No caso do gesso, em 1.000 kg o valor da Tabela é $11,6 \times 10^{-6}$.

$$\text{Se para } 1,0 \text{ kg de solo são necessários } 75,0 \text{ meq, para } 3.900.000 = 3,9 \times 10^6 \times 75$$

$$\text{ou} = 292,5 \times 10^{-6} \text{ meq. ha}^{-1}$$

Portanto, para fazer a correção são necessárias $292,5 \times 10^{-6} / 11,6 \times 10^{-6} = 25,2$ toneladas de gesso, isto se considerar que a pureza do corretivo é de 100 %.

Direcionamentos para a Escolha e Preparo da Área a ser Irrigada com Água Salobra e Salina

Adequação da Área

Um dos principais fatores determinantes na segurança do uso de água salobra e salina está na escolha da área a ser utilizada para plantio. Alguns princípios devem ser observados, tanto para a fonte hídrica como para o talhão de solo. Quanto à fonte hídrica, deve-se avaliar a qualidade da água por análise físico-química, aferir a vazão do poço e definir o uso da água pela comunidade. Já para o solo, deve-se, de preferência, escolher uma área devoluta, no caso de instalação de UD's, em que o perfil apresente um mínimo de 1,0 metro de profundidade e que a granulometria tenha não menos que 65% de areia. Amostras de solo devem ser coletadas e analisadas nas profundidades de 0 - 30, 30 - 60 e 60 - 90 centímetros. O tamanho da área a ser usada vai depender da disponibilidade e da vazão da fonte hídrica. Tanto a água como o solo devem ser avaliados quanto ao pH, condutividade elétrica e análise de fertilidade, incluindo o cátion Na^+ .

Preparo do Solo

Considerando-se o princípio da precaução, a primeira providência a ser tomada é o isolamento de toda a área a ser usada para irrigação. Este isolamento é feito pela abertura de uma valeta circundando todo o perímetro da área, e a profundidade é determinada pela camada impermeável do perfil. Em seguida é colocada uma manta plástica no sentido vertical da valeta (Figura 5). Após a colocação da manta, a valeta deve ser fechada com o solo retirado na escavação.



Foto: Everaldo Rocha Porto, Consultor Técnico do Programa Água Doce

Figura 5. Detalhes da aplicação da manta impermeável para o isolamento da área a ser irrigada.

É recomendável que a área total seja dividida ao meio, formando dois subcampos. Neste caso, a linha divisória deverá receber o mesmo processo de isolamento. O objetivo da criação de dois subcampos é facilitar a recuperação do solo quando este atingir o nível de salinidade superior ao desejado. Quando isto ocorrer entrará em pousio até a sua completa recuperação pela lixiviação com chuva, enquanto a outra passa a ser cultivada.

Dando continuidade ao processo de preparo do solo, toda a área deve ser arada, gradeada e sulcada. O espaçamento entre sulcos deverá estar em conformidade com o espaçamento recomendado para a cultura selecionada para o plantio. No caso de plantio de mudas de erva-sal, leucena e gliricídia, após o sulcamento, serão abertas as covas de acordo com o espaçamento recomendado entre plantas na mesma linha de plantio. Cada cova deverá ter a profundidade de 20 a 25 cm.

Sistema de Irrigação

Em geral, o sistema de irrigação a ser usado é do tipo xique-xique, um sistema de gotejamento artesanal. O orifício de saída da água é um pouco maior do que o gotejador convencional para evitar seu entupimento pelos sais contidos na água. Para reduzir a pressão de saída da água colocou-se um pequeno pedaço de tubo cobrindo o orifício (Figura 6). Todavia, outros sistemas de gotejamento também são usados pelos produtores, como o sistema suspenso do solo para facilitar os tratos do cultivo (Figura 7).



Foto: Everaldo Rocha Porto, Consultor Técnico do Programa Água Doce

Figura 6. Modelo de sistema de irrigação denominado xique-xique.



Foto: Luiz Carlos Hermes, Embrapa Meio Ambiente.

Figura 7. Vista do sistema de irrigação por gotejamento usado por produtores.

Possíveis Alternativas de Cultivos com Salina e Salobra

Com vista ao enfrentamento da escassez de água no semiárido brasileiro, vêm sendo desenvolvidas pesquisas pelas Unidades da Embrapa há mais de dez anos, como também pelas universidades e demais instituições de ciência e tecnologia que atuam na região. Sem dúvida, para os próximos anos, o aproveitamento das águas salobras e salinas serão de vital importância como componente essencial da matriz hídrica, em especial para as regiões áridas e semiáridas de todo o mundo, por assegurar mais uma alternativa como recurso para as atividades agropecuárias, principalmente, em anos de seca.

A seguir, serão apresentadas algumas sugestões de espécies vegetais com potencial para a agricultura biohalófila, não como sistema de produção com todos os seus parâmetros definidos, mas como alternativas que estão sendo experimentalmente avaliadas. São elas: erva-sal; palma forrageira, quinoa, leucena, gliricídia, capim elefante, melancia forrageira e sorgo forrageiro.

Erva-sal (Figura 8) – Dentre as halófitas cultiváveis para fins de forragem, as espécies do gênero *Atriplex* L. merecem destaque especial, em função de sua rusticidade e capacidade de crescimento em áreas altamente salinas e com baixos índices pluviométricos (Porto; Araújo, 1999). Têm sido introduzidas com sucesso em solos com altos níveis de salinidade, em condições de irrigação com águas de fontes naturalmente salobras ou salinas, ou ainda com dejetos de águas salinizadas por aquicultura ou processos industriais, sem prejuízo de suas qualidades forrageiras, especialmente úteis na alimentação de caprinos, ovinos e bovinos. É uma forrageira arbustiva, de porte médio e perene. Seu nome deve-se à particularidade de que é capaz de absorver sal pelo sistema fisiológico, tendo, portanto, o sabor salgado. Esta planta requer sódio como elemento essencial em sua nutrição por meio de seu sistema radicular desenvolvido e outros mecanismos que regulam o armazenamento e a utilização das reservas nutritivas, tanto para sobrevivência como para produção, atingindo as camadas mais profundas do solo (Porto et al., 2006). Na folha podem ser encontrados valores aproximadamente de 25% de proteína bruta. Como a planta tem preferência por sódio, o teor nas folhas e em outras partes aéreas, usadas na alimentação do rebanho, é um benefício na nutrição dos animais, o que dispensa a suplementação de sódio.



Figura 8. Erva-sal (*Atriplex numulária*) irrigada com água salina.

Palma forrageira (Figura 9) - *Opuntia ficus-indica* é uma embriófita perene, de porte alto, pertencente à família das Cactáceas. É uma cultura nativa do México, sendo hoje encontrada em todo o mundo. No gênero *Opuntia* já foram identificadas cerca de 300 espécies, distribuídas desde o Canadá até a Argentina. Existem controvérsias sobre a chegada da palma no Brasil (Simões et al., 2005). Há relatos que a planta foi cultivada inicialmente pelo Frei José Mariano da Conceição na cidade do Rio de Janeiro e que ele tinha interesse na produção de carmim. Só no início do século XX a palma foi introduzida no nordeste do Brasil, sendo disseminada por ordem governamental após a seca de 1932 (Lima et al., 2001). No entanto, ela só se popularizou em função da observação dos produtores, que repararam que as pequenas plantações, já estabelecidas, eram insistentemente procuradas, não só pelos bovinos, mas também, por caprinos e ovinos. É considerada uma das plantas mais eficientes no uso da água, pois apresenta o processo fotossintético conhecido como Metabolismo Ácido das Crassuláceas (MAC). Neste processo, ela absorve o CO_2 no período noturno e o transforma em biomassa pela luz solar. Enquanto uma planta C_3 (por exemplo, uma leguminosa) necessita de 600 a 800 kg de água para produzir 1,0 kg de matéria seca, e uma C_4 (gramínea) necessita de 300 a 400 kg, a palma, por ser uma planta MAC, necessita de apenas 50 a 100 kg para a mesma produção. Dados de Reis Filho e Oliveira, (2015) demonstraram que com 4.000 m^3 de água por ano, que representa quase 11.000 litros/ha/dia, ou ainda $1,1 \text{ mm dia}^{-1}$, é possível obter 800 t/hectare/ano de matéria verde de palma forrageira. Levando em conta estes números, é possível estimar que um poço tubular com vazão de 500 litros de água por hora seria suficiente para irrigar 0,5 ha de palma, com rendimento de 400 t de matéria verde, sendo este montante de forragem suficiente para alimentar 40 animais adultos por um período de 200 dias. O sistema de plantio recomendado é o de fileira dupla observando os seguintes espaçamentos: 1,5 X 0,30 X 0,30 m.



Foto: Luiz Carlos Hermes, Embrapa Meio Ambiente

Figura 9. Palma forrageira irrigada com água salobra.

Quinoa (Figura 10) – *Chenopodium quinoa* é uma das espécies da família Amaranthaceae, sendo considerada pelas Nações Unidas como um dos alimentos mais completos. Nativa da região dos Andes, tem se adaptado às mais diferentes regiões do planeta. Existem documentos históricos que evidenciam seu cultivo há mais de 7.000 anos. Possui em sua constituição ômega 3 e 6, o que reduz o colesterol ruim e aumenta o colesterol bom. Apresenta boa produtividade em regiões com precipitação média entre 100 e 200 mm. Irrigada com água de 40 dS.m^{-1} apresentou rendimentos superiores a 3.000 kg ha^{-1} (Bazile et al., 2015).



Foto: Luiz Carlos Hermes, Embrapa Meio Ambiente

Figura 10. Plantio de quinoa (BRS piaburu) irrigada com água salobra.

Leucena (Figura 11) – A *Leucaena leucocephala* é uma leguminosa arbustivo/arbórea perene, originária da América Central. É considerada uma das forrageiras mais promissoras para o semiárido, com ótima adaptação às condições edafoclimáticas do Nordeste, e apresenta grande aceitação pelo rebanho e excelente qualidade nutritiva (Drumond; Ribaski, 2010). Tem ótimo crescimento em solos de baixa fertilidade. É cultura de excelência para formação de banco proteico ou “legumineira”, em consórcio com gramíneas, podendo ser utilizada como pastejo direto sobre plantas, forragem verde, produção e/ou enriquecimento de silagem, feno e adubação (Drumond, 2001). Pode ser também usada como madeira para queima, carvão vegetal, e por ser leguminosa pode ser considerada para melhoramento do solo. É uma planta de alta palatabilidade para ruminantes e mantém-se verde mesmo durante a seca. O sistema radicular é profundo o que possibilita a reciclagem de nutrientes e absorção de água das camadas profundas do solo. Os valores nutritivos da leucena são comparados aos da alfafa, com teores similares de aminoácidos, minerais e proteína, o que a torna de suma importância durante o período de seca em que outras plantas nativas estão secas. Porém, deve ser utilizada em mistura com outras plantas devido à presença de molécula tóxica “mimosina”, um aminoácido não proteico que provoca a queda dos pelos em ruminantes e não ruminantes, ainda não adaptados a ela (Porto et al., 2017). A introdução da alimentação aos animais deve ser sempre em mistura, e começando gradativamente, não ultrapassar os 50% de leucena. Acima deste valor são grandes as chances de aparecerem os efeitos tóxicos.



Foto: Everaldo Rocha Porto, Consultor Técnico do Programa Água Doce

Figura 11. Plantio de leucena (*Leucaena leucocephala*), irrigada com água salobra.

Gliricídia (Figura 12) – A *Gliricidia sepium* é uma leguminosa perene de porte arbóreo, pertencente à família Fabaceae, nativa da América do Sul e Central (Reis et al., 2012). São características importantes dessa planta: crescimento rápido e enraizamento profundo, conferindo-lhe tolerância à seca, sendo seu plantio recomendado para a região semiárida brasileira (Carvalho Filho et al., 1997). É importante contextualizar que esta espécie apresenta interesse econômico em toda região nordeste do Brasil, em especial devido a seus usos múltiplos, tais como: adubação verde, fixação biológica de nitrogênio, reflorestamento de áreas degradadas, cerca viva, ciclagem de nutrientes, melhoria das condições físicas e biológicas do solo, componente de sistemas agrossilvipastoris e forrageira. Suporta cortes periódicos como consequência da sua alta capacidade de rebrota (Barreto; Fernandes, 2001). Cresce bem em quase todos os tipos de solo, com exceção de solos compactados, a exemplo dos vertissolos. Toler a solos ácidos, porém o pH na maioria de suas áreas de distribuição natural é de 5,5 a 7,0. A Figura 12 mostra um dos plantios de gliricídia irrigado com o concentrado da dessalinização de água salina, na Embrapa Semiárido. O espaçamento recomendado é de 1,5 X 1,5 m.

Foto: Luiz Carlos Hermes, Embrapa Meio Ambiente



Figura 12. Glicíndia e capim elefante irrigados com água salobra.

Capim elefante (Figura 12) - *Pennisetum purpureum* Schum. é uma gramínea de origem africana introduzida no Brasil na década de 1950, e considerada de grande importância nos aspectos científico e econômico, quando se trata da alimentação de ruminantes. Mais recentemente tem sido objeto de estudos para obtenção de biocombustíveis. Apresenta grande número de variedades como: Napier, Mercker, Porto Rico, Albano, Mineiro, Mole de Volta Grande, Gigante de Pinda, Roxo, entre outras. Recentemente a Embrapa lançou a variedade BRS Capiáçu (Pereira et al., 2016), que apresenta cerca de 50 toneladas de matéria seca por hectare ano⁻¹, aproximadamente 30% a mais de matéria seca que as cultivares tradicionais, além de um menor custo em relação ao milho e à cana de açúcar. É uma boa opção para o semiárido (Carvalho, 1985). Tem como principal atributo a sua alta produção de forragem quando submetida à adubação e irrigação seguidas de cortes frequentes. É um material que apresenta alta eficiência fotossintética (planta de metabolismo C₄), e resulta na formação de teores elevados de matéria seca por unidade de área, e bom valor nutritivo quando colhidos a intervalos de colheita mais frequentes. O aumento da idade de corte resulta em incrementos na produção de matéria seca, porém, paralelamente, ocorre declínio no valor nutritivo da forragem produzida, devido ao aumento do teor de lignina, pela diminuição da relação folha/colmo e do teor de proteína bruta. Apresenta alto grau de adaptação às variações climáticas, sendo que é um dos materiais mais difundidos para o uso na pecuária brasileira. Estas forrageiras são indicadas para cultivo de capineiras. No período da seca pode ser fornecida para os animais, picada verde no cocho ou como silagem.

Melancia forrageira (Figura 13) – A *Citrilus lanatus* cv.citroides, também conhecida como melancia do mato, melancia de cavalo ou melancia de porco é um cucurbitácea da África que se adaptou bem às condições climáticas do semiárido brasileiro. Trazida pelos escravos, adaptou-se e difundiu-se através de cruzamentos naturais com outras espécies. Possui polpa branca e consistente, baixo teor de sacarose, comprovada resistência ao oídio e tolerância ao vírus PRSV-W, não sendo, entretanto,

plenamente aceita para consumo humano. Existem referências de que a melancia forrageira, há muito tempo, tem sido utilizada como forragem em pequena escala por pequenos produtores do Nordeste. Durante o longo período de seca de 1990 a 1994 o seu uso se intensificou na alimentação animal, com bons resultados, visto que os criadores conseguiram manter os rebanhos nas propriedades (Oliveira; Bernardino, 2000).



Foto: Everaldo Rocha Porto, Consultor Técnico do Programa Água Doce

Figura 13. Plantio de melancia forrageira (*Citrillus lanatus* cv. *citroides*), irrigada com água salobra.

Sorgo Forrageiro (Figura 14) – O *Sorghum bicolor* L. Moench é uma cultura que se apresenta como substitutiva ao plantio do milho. Pode ser utilizado em rações para aves, suínos e ruminantes, na forma de silagem como ração verde, uma vez que seu valor nutritivo apresenta aproximadamente de 85 a 90% do valor do milho e tem menor custo de produção. Trata-se de uma planta de clima quente, de características xerófilas, plantas adaptadas aos climas seco ou semi-árido, que apresenta alta capacidade de adaptação quando submetida a estresses abióticos, sendo uma boa opção de forragem em situações de déficit hídrico e solos com baixa fertilidade. O sorgo forrageiro, em função de suas características bromatológicas semelhantes às do milho, possibilita que ocorra a fermentação adequada para formação de silagem com elevados teores de proteína bruta. Da mesma forma que o milho, existe grande diversidade genética entre o sorgo forrageiro, que proporcionaram o desenvolvimento de um grande número de híbridos com características agrônômicas e nutritivas diferentes entre plantas (Magalhães, 2010). Estas merecem ser avaliadas quanto a seu comportamento em condições de estresse hídrico e salino, típicos na região. Um exemplo é a variedade de sorgo BRS-Ponta Negra lançado pela ENPARN, em parceria com a Embrapa Milho e Sorgo (Santos et al., 2007). Esta variedade apresenta alta produção de biomassa com baixo custo e responde bem na região do semiárido.



Figura 14. Sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* L. Moench), irrigado com água de poço em área de produtor rural no município de Petrolina (PE).

Considerações Finais

Regiões áridas e semiáridas, do mundo inteiro, apresentam limitações de produção e produtividade da maior parte das culturas, normalmente cultivadas em locais clássicos de produção. Apresentam, também, extrema limitação na distribuição e acesso à água, quer seja para consumo humano, quer seja para irrigação. O semiárido brasileiro apresenta algumas características que o diferenciam dos demais. É único na sua composição de fauna e flora, e que tem maior pluviosidade, maior densidade demográfica e sua ocupação é relativamente nova em relação aos demais semiáridos. Mesmo assim, fatores políticos, sociais, econômicos e ambientais que aconteceram ao longo de sua história, o colocam atualmente em situação crítica em sua capacidade de manter as pressões recebidas.

Cultivos de subsistência historicamente adotados como "padrão" para o pequeno produtor, como o milho, feijão e mandioca, estão em risco, pois sua colheita é uma expectativa e, na maioria das vezes, frustrante. Como apontado neste trabalho alternativas existem. O grande desafio para todos os atores envolvidos com o tema é fazer com que elas sejam apropriadas e aplicadas pelos produtores da região, contribuindo dessa forma, para a resiliência dos sistemas produtivos no semiárido.

Referências

- ABROL, I. P.; YADAV, J. S. P.; MASSOUD, F. I. **Salt-affected soils and their management**. Rome: Food and Agriculture Organization of United Nations, 1988. 131 p.
- ALLISON, L. E. **La salinidad y su relacion con el riego**. México: Centro Regional de Ayuda Técnica, 1966. 37 p. Reimpresso de Adelantos em Agronomia, v. 16.
- AMBRIZZI, T.; ARAUJO, M. (Org.). **Primeiro relatório da avaliação sobre mudanças climáticas**: base científica das mudanças climáticas. Rio de Janeiro: UFRJ, COPPE, 2014. (Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas).
- ARAÚJO FILHO, J. A. **Manejo pastoril sustentável da caatinga**. Recife: Projeto Dom Elder Camara, 2013. 195 p.
- ARAÚJO FILHO, J. A.; LEITE, E. R.; SILVA, N. L. Contribution of woody species to the diet composition of goat and sheep in caatinga vegetation. **Pasturas Tropicales**, v. 20, n. 2, p. 41-45, 1998.
- AUDRY, P.; SUASSUNA, J. **A salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação no sertão nordestino**. Recife: CNPq, 1995. 128 p.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. Roma: FAO, 1985. 174 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 29, Rev. 1)
- BARRETO, A. C.; FERNANDES, F. M. Cultivo de *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* em alamedas visando a melhoria do solos dos tabuleiros costeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 10, p. 1287-1293, 2001.
- BASTOS, D. C. de O. **Manejo da salinidade em irrigação localizada**: análise da alternativa de lixiviação incompleta. 2004. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- BAZILE, D.; BERTERO, D.; NIETO, C. (Ed.). **State of the Art Report of Quinoa in the World in 2013**. Rome: FAO, 2015.
- BOYKO, H. Saltwater agriculture. **Scientific American**, v. 216, n. 3, p. 89-96, 1967.
- BRASIL. Instrução normativa SDA Nº 35, de 4 de julho de 2006. Aprova as normas paraas normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 12 jul. 2006. Seção I, p. 32.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Documento base do Programa Água Doce**. Brasília, DF, 2012. Disponível em: <<https://aguadoce.mma.gov.br/anexos/documento-base.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2019.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa Água Doce**: diagnósticos técnicos, sociais e ambientais. 2017. Disponível em: <<https://aguadoce.mma.gov.br/>>_ acesso em 15 de agosto de 2019.
- BUAINAIN, A. M.; ALVES, E.; SILVEIRA, J. M. DA; NAVARRO, Z. **O mundo rural no Brasil do século 21**: a formação de um novo padrão agrário e agrícola. Brasília, DF: Embrapa. 2014. 1182 p.
- BUAINAIN, A. M.; DEDECCA, C. (Org.). **A nova cara da pobreza rural**: desenvolvimento e a questão regional. Brasília: IICA, 2013. 540 p. (Série Desenvolvimento Rural Sustentável, v. 17).
- CARVALHO, L. de. A *Pennisetum purpureum*, **Schumacher**: revisão. Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, 1985. 86p. (EMBRAPA-CNPGL. Boletim de Pesquisa, 10).
- CARVALHO FILHO, O. M. de; DRUMOND, M. A.; LANGUIDEY, P. H. **Gliricidia sepium – leguminosa promissora para regiões semi-áridas**. Petrolina: EMBRAPA CPATSA, 1997. 16 p. (Embrapa-CPATSA. Circular Técnica, 35).
- CASTELLETTI, C. H. M.; SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; SANTOS, A. M. M. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T.; LINS, L. V. (Ed.). **Biodiversidade da Caatinga**: áreas e ações prioritárias para a conservação. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 91-100.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS**. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em: 15 set. 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, 30 jul. 1986. Seção I, p. 11356-11361.

CORDEIRO, G. G. **Qualidade de água para fins de irrigação (conceitos básicos e praticas)**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2001a. 13 p. (Embrapa Semiárido. Documentos, 167).

CORDEIRO, G. G. **Salinidade em agricultura irrigada**. 1991. 45 p. Não publicado. Texto preparado para o Curso sobre Salinidade e Drenagem no Nordeste do Brasil. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido.

CORDEIRO, G. G. **Salinidade em agricultura irrigada (conceitos básicos e práticas)**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2001b. 38 p. (Embrapa Semiárido. Documentos 180).

DAGAR, J. C.; YADAV, R. K.; SHARMA, P. C. (Ed.). **Research developments in saline agriculture**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2019. Ebook.

DINAR, A.; LETEY, J.; VAUX JUNIOR, H. J. Optimal ratios of saline and nonsaline irrigation waters for crop production. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, n. 2, p. 440-443, 1986.

DRUMOND, M. A. Uma arbórea de uso múltiplo, para a região semi-árida do nordeste brasileiro. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE CAPTACAO DE AGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO, 3., 2001, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão; Petrolina: Embrapa Semiárido, 2001.

DRUMOND, M. A.; RIBASKI, J. **Leucena (*Leucaena leucocephala*)**: leguminosa de uso múltiplo para o semiárido brasileiro. Colombo: Embrapa Florestas, 2010; Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. 8 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 262; Embrapa Semiárido. Comunicado Técnico, 142).

DUQUE, J. G. Apreciações sobre os solos do Nordeste: conservação da fertilidade e economia da água. **Anais do Instituto do Nordeste**, v. 1, n. 1, p. 141-195, 1949.

FAO. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW)**: managing systems at risk. Rome: FAO, 2011. 285 p.

FERREIRA, R. S.; VEIGA, H. P.; SANTOS, R. G. B. dos; SAIA, A.; RODRIGUES, S. C.; BEZERRA, A. F. M.; HERMES, L. C.; MOURA, A.; CUNHA, L. H. Empowering Brazilian Northeast rural communities to desalinated drinking water access: Programa Água Doce. In: THE INTERNATIONAL DESALINATION ASSOCIATION WORLD CONGRESS, 2017, São Paulo. **Water reuse & desalination "ensure your water future"**: [proceedings]. São Paulo: International Desalination Association, 2017. 13 p.

GLENN, E. P.; BROWN, J. J.; O'LEARY, J. W. Irrigating crops with seawater. **Scientific American**. v. 278, n. 1, p. 76-81. 1998.

GRATTAN, S. R., RHOADES, J. D. Irrigation with saline ground water and drainage water. In: TANJI, K. K. (Ed.). **Agricultural salinity assessment and management**. New York: ASCE, 1990. p. 432-449.

GRATTAN, S. R.; OSTER, J. D. (2003). Use and reuse of saline-sodic waters for irrigation of crops. In: GOYAL, S. S.; SHARMA, S. K.; RAINS, D. W. (Ed.). **Crop production in saline environments: global and integrative perspectives**. New York: Haworth Press, 2003. p. 131-162.

HERMES, L. C.; ARAÚJO, G. L. G.; FAY, E. F.; BOEIRA, R. C. Potencial de uso das águas salobras em sistemas produtivos visando o aumento da capacidade de suporte das comunidades difusas do Semiárido com mínimo impacto ambiental. In: FÓRUM DE APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS DE PESQUISA: AVANÇOS E OPORTUNIDADES, 1., 2014, Jaguariúna. **Anais...** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2014. RE012. 9 p.

LADEIRO, B. Saline agriculture in the 21st century: using salt contaminated resources to crop food requirements. **Journal of Botany**, v. 2012, p. 1-7, 2012. Article ID 310705.

LETEY, J.; DINAR, A. Simulated crop-production functions for several crops when irrigated with saline waters. **Hilgardia**, v. 54, n. 1, p. 1-32, 1986.

LIMA, I. M. M.; GAMA, N. S. Registro de plantas hospedeiras (cactácea) e de nova forma de disseminação de *Diaspis echinocacti* (Bouché) (Hemiptera: *Diaspididae*), cochonilha-da-palma-forrageira, nos estados de Pernambuco e Alagoas. **Neotropical Entomology**, v.30, n.3, p. 479-481, 2001.

- MAGALHÃES, R. T.; GONÇALVES, L. C.; BORGES, I.; RODRIGUES, J. A. S.; FONSECA, J. F. Produção e composição bromatológica de vinte e cinco genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62, p. 747-751, 2010
- MARENCO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias Estratégicas**, v. 27, p. 149-175, 2008.
- MARTINS, E. S. P. R.; MAGALHÃES, A. R.; FONTENELE, D. A seca pluri-anual de 2010-2017 no Nordeste e seus impactos. **Parcerias Estratégicas**, v. 22, n. 44 p. 17-40, 2017.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, n. 2, p. 239-250, 2002.
- OLIVEIRA, J. A. M. Produção de caprinos e de ovinos, aceitação e/ou rejeição de tecnologias recomendadas: o caso das principais regiões produtoras no nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MEDICINA VETERINARIA, 24., 1996, Goiania. **Anais...** Goiania: SOGOVE, 1996.
- OLIVEIRA, F. T. G. de; SILVA, J. B. da. Retorno de Investimento em Pesquisa feita pela Embrapa: contribuição ao controle dos efeitos da seca no Nordeste, IN: QUINTO livro das secas. Mossoró: Escola Superior de Agricultura de Mossoró: Fundação Guimarães Duque, 1983. p. 171-194. (Coleção Mossoroense, v. CXCI).
- OLIVEIRA, M. C.; BERNARDINO, F. A. **Melancia forrageira, um novo recurso alimentar para a pecuária das regiões secas do Nordeste do Brasil**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2000. 18 p. (Embrapa Semi-Árido. Circular Técnica, 49).
- OSTER, J.; D. HOFFMAN, G. J.; ROBINSON, F. E. Management alternatives: crop, water and soil. **California Agriculture**, v. 38, n. 10, p. 29-32, 1984.
- PEREIRA, A. V.; LEDO, F. J. da S.; MORENZ, M. J. F.; LEITE, J. L. B.; SANTOS, A. M. B. dos; MARTINS, C. E.; MACHADO, J. C. **BRS Capiapu: cultivar de capim-elefante de alto rendimento para produção de silagem**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2016. 6 p. (Embrapa Gado de Leite. Comunicado Técnico, 79).
- PLATTS, E. B.; GRISMER, M. E. Rainfall leaching is critical for long-term use of recycled water in the Salinas Valley. **California Agriculture**, v. 68, n. 3, p. 75-81, 2014.
- PORTO, E. R.; AMORIM, M. C. C. de; DUTRA, M. T.; PAULINO, R. L.; BRITO, L. T. de L.; MATOS, A. N. B. Rendimento da *Atriplex nummularia* irrigada com efluentes da criação de tilápia em rejeito da dessalinização de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 97-103, 2006.
- PORTO, E. R.; ARAÚJO, G. G. L. de. **Erva sal (*Atriplex nummularia*)**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 1999. 4 p. (Embrapa Semi-Árido. Instruções Técnicas, 22).
- PORTO, M. R.; MOSCARDINI, A. R. C.; NOVAIS, E. P. F.; CABRAL FILHO, S. L. S.; LIMA, E. M. M.; CASTRO, M. B. Intoxicação natural e experimental por *Leucaena leucocephala* em equinos. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 829-834, 2017.
- REBOUÇAS, A. da C.; MARINHO, M. E. Hidrologia das secas: nordeste do Brasil. Recife. SUDENE, 1972. 126 p. (SUDENE. Hidrologia, 40).
- REIS, R. C. R.; PELACANI, C. R.; ANTUNES, C. G. C. A.; DANTAS, B. F.; CASTRO, R. D. de. Physiological quality of *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. (Leguminosae - Papilionoideae) seeds subjected to different storage conditions. **Revista Árvore**, v.36, n. 2, p. 229-235, 2012.
- REIS FILHO, R. J. C. dos; OLIVEIRA, F. Z. de. **Opções de produção de alimentos para a pecuária de Pernambuco: uso das áreas irrigada**. 2015. Disponível em: <https://www.academia.edu/23514337/Opções_de_produção_de_alimentos_para_a_pecuária_de_Pernambuco_-_Uso_das_áreas_irrigadas>. Acesso em: 09 set. 2019.
- RHOADES, J. D. Use of saline and brackish water for irrigation: Implications and role in increasing food production, conserving water, sustaining irrigation and controlling soil and water degradation. In: INTERNATIONAL EXECUTIVE COUNCIL MEETING. **Proceedings...** Bali: [s. n]: 1998. p. 261-304.
- RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **The use of saline waters for crop productions 1992**. Rome: FAO, 1992. 133 p.

RICHARDS, L. A. (Ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, D.C.: United States Salinity Laboratory, 1954. 160 p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

SANTOS, F. G. dos; RODRIGUES, J. A. S.; SCHAFFERT, R. E.; LIMA, J. M. P.de; PITTA, G. V. E.; CASELA, C. R.; FERREIRA, A. da S. **BRS Ponta Negra**: Variedade de Sorgo Forrageiro. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. 6p. (Embrapa Milho e Sorgo, Comunicado Técnico, 145).

SAQIB, M.; AKHTAR, J.; ABBAS, G.; WAHAB, H. A. Saline agriculture: a climate smart integrated approach for climate change resilience in degraded land areas. In LEAL FILHO, W. (Ed.). **Handbook of climate change resilience**. Cham: Springer International, 2019. p. 1-19.

SAXENA, C.; GUPTA, S. Drip irrigation for water conservation and saline/sodic environments in India: a review. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NATURAL RESOURCES ENGINEERING AND MANAGEMENT AN AGRO-ENVIRONMENTAL ENGINEERING, 2004, Kharagpur. **Proceedings...** New Delhi:[s. n.], 2004.

SHALHEVET, J. Using water of marginal quality for crop production: major issues. **Agricultural Water Management**, v. 25, n. 3, p. 293-297, 1994.

SHARMA, D. H.; SINGH, A. Current trends and emerging challenges in sustainable management of salt-affected soils: a critical appraisal. In: ARORA, S. (Ed.). **Bioremediation of salt affected soils**: an Indian perspective. Switzerland: Springer, 2017.

SIMÕES, D. A.; SANTOS, D. C. dos; DIAS, F. M. Introdução da palma forrageira no Brasil. In: MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. (Ed.). **A palma no nordeste do Brasil**: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2005. p. 13-26.

STERNBERG, H. O. R. Aspectos da seca de 1951, no Ceará. **Revista Brasileira de Geografia**, ano 13, n. 3, p. 327-69, 1951.

Embrapa

Meio Ambiente

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



CGPE - 15486